**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ИМ. Б.Н. ЕЛЬЦИНА**

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Диссертационный совет: Д.05.14.488**

На правах рукописи

УДК 004.932.1, 004.891, 004.42

**ПАВЛЕНКО ПАВЕЛ ФЕДОРОВИЧ**

**Разработка системы адаптивного управления и моделирования транспортных потоков мегаполиса с обработкой информации на основе нечеткой логики**

Специальность 05.13.01 - Системный анализ, управление и

обработка информации

**А в т о р е ф е р а т**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

**Бишкек – 2015**

**Работа выполнена в Институте автоматики и информационных технологий Национальной академии наук Кыргызской Республики**

**Научный руководитель:** Академик НАН КР,

заслуженный деятель науки Кыргызской Республики

**Шаршеналиев Ж.**

**Официальные оппоненты:** доктор физ.-мат. наук, доцент

**Сатыбаев А.Дж.**

( ОшТУ им. М. М. Адышева )

кандидат технических наук, доцент

**Акматбеков Р.А.**

( КГТУ им. И. Раззакова )

**Ведущая организация:**  КНАУ им. К.И. Скрябина

(кафедра организации перевозок и управление на транспорте)

Защита состоится 16 октября 2015г. в 14:00 часов на заседании Диссертационного совета Д.05.14.488 в Институте автоматики и информационных технологий Национальной Академии Наук Кыргызской Республики по адресу: 720071, г.Бишкек, пр. Чуй, 265, ауд. 118.

С диссертацией можно ознакомится в библиотеке Национальной Академии Наук Кыргызской Республики по адресу: 720071, г.Бишкек, пр. Чуй, 265 «а».

Автореферат разослан 14 сентября 2015 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета к.ф.-м.н. Г.К. Керимкулова

# ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность.** Дорожное движение в настоящее время является одной из основных составляющих социального и экономического развития городов и регионов и обуславливает необходимость в постоянном увеличении объема транспортных сообщений, повышении его надежности, качества и безопасности. Все это требует увеличения затрат на развитие транспортной инфраструктуры и создание гибкой и высокоуправляемой транспортной сети.

Одним из элементов решения данных проблем, бесспорно, является разработка и использование интеллектуальных транспортных систем различных уровней. Такие системы, используя современные разработки по регулированию транспортных потоков (ТП) и моделированию транспортных систем, предоставляют конечным потребителям большую безопасность и информативность. А также позволяют качественно повысить уровня взаимодействия всех участников движения по сравнению с типичными транспортными системами.

Разработка и внедрения интеллектуальных транспортных систем способствует снижению количества дорожно-транспортных происшествий, позволяет экономить время, финансы, топливные ресурсы и позитивно отражается на состоянии экологии. Интерес к интеллектуальным транспортным системам появился с возникновением проблем, связанных с дорожными заторами и, как результат - объединения современных технологий моделирования, управления в реальном масштабе времени и использования коммуникационных технологий.

Значительное увеличение количества автомобильного транспорта при малой пропускной способности дорожной сети ведет к образованию большого количества заторов и пробок, что влечет за собой значительные финансовые потери, а также потери времени на пребывание в заторах. В крупных городах Кыргызстана уже существуют проблемы на транспортной сети, связанные с неконтролируемым темпом роста ТП.

Очевидно, что задача сокращения времени простоя автомобилей в пробках приобретает очень большое значение, к тому же в г.Бишкек отсутствует возможность расширения и модернизации улично-дорожной сети. Для решения возникающих проблем требуется использовать современные средства и методы управления ТП, обеспечивающие эффективное и оптимальное функционирование городских автомобильных магистралей.

Для поиска оптимальных стратегий управления и эффективных решений по проектированию дорожной сети необходимо учитывать большой спектр различных характеристик ТП и закономерности влияния различных факторов на динамические свойства этих потоков.

Очевидно, актуальность работ, направленных на создание современных средств информационно-технологического моделирования ТП, прогнозирования, анализа и интеллектуального управления ТП. Разработанные системы адаптивного управления позволяют улучшить безопасность дорожного движения и увеличить эффективность управления ТП, а также существенно снизить негативное воздействие на окружающую среду.

**Цель и задачи исследования.** Целью работы является исследование и разработка адекватной современным условиям дорожного движения системы моделирования и адаптивного управления ТП высокой плотности. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Системный анализ методов, моделей и современных информационных технологий, применяемых при исследовании управления автотранспортными потоками.
2. Разработка функциональной схемы системы интеллектуального управления ТП.
3. Создание алгоритма распознавания состояния ТП на основе видеоданных с использованием технологий компьютерного зрения.
4. Разработка имитационной модели участка дорожной сети с учетом особенностей поведения объектов дорожного движения и создание адаптивной модели управления ТП за счет светофорного регулирования.
5. Создание структуры экспертной системы и наполнение ее базы знаний правилами для реализации интеллектуального управления ТП высокой плотности.
6. Экспериментальная проверка разработанных алгоритмов и адаптивной системы управления ТП различной плотности.

**Методы исследования:** носят комплексный характер. При решении поставленных задач в работе использованыматематическое и имитационное моделирование, элементы теории искусственного интеллекта и системного анализа, теория графов, теория экспертных систем и нечеткой логики, а также теория транспортных потоков. При решении поставленных задач использованы технологии компьютерного зрения (библиотека OpenCV), средства объектно-ориентированного программирования с использованием таких языков как: C++, Java, кросс-платформенная библиотека Qt, программный комплекс для моделирования AnyLogic, доступная для свободного использования электронная карта OpenStreetMap, система управления базами данных MySQL.

**Научная новизна** заключается в:

* Разработке функциональной схемы интеллектуального управления ТП высокой плотности на основе принципов построения интеллектуальной транспортной системы, отличающейся множественностью разнородных входных данных и включением иерархического подхода при адаптивном управлении.
* Разработке алгоритма получения данных о состоянии ТП при помощи технологий компьютерного зрения, позволяющего при невысоких затратах повысить эффективность получения данных о состоянии и характеристиках транспортного потока.
* Использовании упрощающей методики структурного анализа состояния ТП при координированном управлении, что уменьшает уровень сложности при решении задач управления ТП, а также делает систему интеллектуального управления ТП устойчивой к влиянию различных внешних факторов.
* Разработке имитационной модели дорожной сети содержащей децентрализированных программных агентов и модуль адаптивного управления, использующий нечеткую логику при обработке информации, что дает возможность учитывать независимый характер поведения участников движения, а также учитывать неоднородность и нестационарность ТП.

**Практическая значимость полученных результатов:**

Результаты диссертационной работы, при их использовании в разработке ИТС, позволят улучшить эффективность управления дорожным движением мегаполиса благодаря повышению достоверности исходной информации о состоянии ТП, использованию эффективных моделей и алгоритмов, учитывающих специфику действий отдельных разнородных объектов участвующих в дорожном движении.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

* функциональная схема класса устройств для многоуровневого координированного адаптивного управления ТП высокой плотности;
* алгоритм обработки видеопотоков для получения информации о состоянии ТП;
* имитационная модель разнородного ТП содержащая децентрализированных программных агентов;
* структура и база знаний экспертной системы, реализующая методику анализа состояний и управление ТП.

**Личный вклад соискателя.** Все результаты, представленные в диссертационной работе и имеющие научную новизну, получены автором лично и под руководством научного руководителя.

В работах [3, 7, 9] Шаршеналиеву Ж. принадлежат постановки задач.

**Апробация результатов исследования.** Результаты диссертационной работы были представлены на научно-производственном совещании “Современное состояние инновационной деятельности в области транспорта и коммуникаций, проблемы и пути их решения” (Государственная служба интеллектуальной собственности и инноваций при Правительстве Кыргызской Республики,  2013г.), на VII Международном симпозиуме «Фундаментальные и прикладные проблемы науки» (М. РАН 2013г.).

Также результаты работы докладывались на ежегодных научных семинарах Института автоматики и информационных технологий НАН КР (2010-2014 г.).

**Публикации.** Основные научные результаты, полученные в диссертационной работе, опубликованы в 11-и печатных работах в журналах из перечня ВАК, в том числе 3 статьи в соавторстве.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов, заключения, списка литературы и четырех приложений, оформленных в виде отдельного тома. Основное содержание работы изложено на 110 страницах компьютерного текста, имеется 10 таблиц, 68 рисунков, список литературы на 11 страницах содержит 109 наименований.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

**В первой главе** рассмотрены принципы построения, архитектура и история развития интеллектуальных транспортных систем. Проведен анализ существующих моделей ТП, а также преимуществ и недостатков существующих систем адаптивного управления ТП.

«Интеллектуальная транспортная система» (ИТС, англ. Intelligent transportation system) - это комплекс систем, использующий современные исследования в моделировании транспортных систем и регулировании ТП, интегрирующий современные информационные, коммуникационные и телематические технологии. ИТС предоставляет пользователям больше информативности и безопасности, а также качественно повышает уровень взаимодействия участников движения по сравнению с обычными транспортными системами.

Внедрение ИТС позволяет снижать количество дорожно-транспортных происшествий, экономить время, финансы, топливные ресурсы и позитивно отражается на состоянии экологии. Интерес к ИТС появился с возникновением проблем, вызванных дорожными заторами и как результат объединения современных технологий моделирования процессов управления в реальном масштабе времени с использованием коммуникационных технологий.

Мировой опыт показывает, что разработка ИТС в современных условиях является одним из самых оптимальных путей по решению постоянно усложняющихся транспортных проблем.

По виду решаемых задач ИТС можно классифицировать следующим образом:

* Системы централизованного и координированного управления ТП;
* Системы планирования и организации дорожного движения;
* Системы информирования водителей;
* Системы прогнозирования и оптимизации дорожного движения;
* Системы контроля за безопасностью на дорогах;

Создание единой архитектуры ИТС позволяет контролировать следующие направления:

* *Безопасность.* Основной задачей является снижение количества аварийных ситуаций на дорогах, а также мониторинг природных и техногенных катаклизмов.
* *Мобильность.* Оперативный сбор информации о возникших или возникающих пробках в потоке автомобилей и своевременное информирование о заторах участников дорожного движения.
* *Защита окружающей среды*. Снижение ущерба экологии от автотранспорта за счет мониторинга ситуации в реальном времени и своевременного принятия решений.

Важным компонентом при построении интеллектуальной транспортной системы является моделирование ТП.

При моделировании ТП необходимо учитывать следующие особенности:

* Стохастичность ТП, зависящую от состояния дорог, погодных условий, аварий и т.д., что допускает прогнозирование состояния только с некоторой вероятностью.
* Нестационарность ТП, характеристики, которых имеют три цикла: суточный, недельный и сезонный.
* Неполная управляемость потоком, поскольку даже обладая полной информацией о состоянии ТП и возможности информирования водителей о необходимых действиях эти сведения могут носить только информативный характер.
* Множественность критериев качества: средняя скорость движения, время задержки в пути, непрогнозируемое количество ДТП, экологическая оценка по количеству выбросов вредных веществ в атмосферу и т.п.

Модели, применяемые для анализа транспортной инфраструктуры очень разнообразны по решаемым задачам, математическому аппарату, по входным и выходным данным, по степени детализации движения.

Эти модели можно условно разделить на три основных класса:

* Прогнозные модели;
* Имитационные модели;
* Оптимизационные модели;

На Рис.1 приведена блок-схема имитационной модели по разгрузке приоритетных магистралей транспортной сети города. Модель отражает динамику дорожного движения по транспортной сети и имеет целью увеличение пропускной способности заданных дорожных участков. Задачей управления в данной модели является максимальное возможное увеличение средней скорости на заданных прогонах и минимизация заторов транспортных средств по этим магистралям с учетом светофорного регулирования всей системы и факторов, влияющих на другие участки сети.

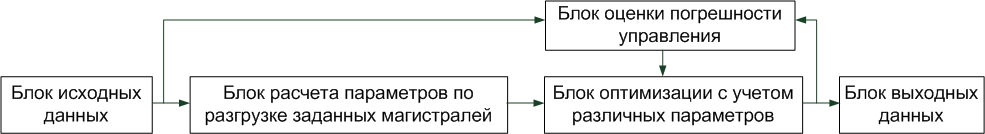


Рис.1. Блок-схема имитационной модели управления ТП

Используя интеграцию статистических, динамических и логических подходов в решении задачи построения оптимального маршрута с учетом прогнозирования динамики ТП, можно создавать довольно точные прогнозные модели ТП. На основе этих прогнозов можно будет оценивать состояние системы в заданной конечной точке ST(t0+T), при известных начальном состоянии S0=S(t0), и промежуточных состояний S1, S2, … Sn в интервале времени [t0, t0+T]. Прогнозирование состояния ТП с учетом управляющего воздействия поможет существенно повысить качество управления. При интеграции навигационных систем с системами прогнозирования дорожной обстановки возможно существенно повысить результативность таких систем

В завершении первой главы сформулирована следующая постановка задачи: разработать эффективную модель системы управления ТП, основанную на адаптивном, координированном управлении, с применением экспертной системы использующей формализмы нечеткой логики для эффективной обработки большого объема различной поступающей информации.

Разработанная новая система позволит решить задачу управления ТП высокой плотности. Управление включает в себя следующие этапы:

* получение и анализ статистических данных;
* имитационное моделирование;
* классификация состояний и структурный анализ ТП;
* анализ и корректировка результатов управления;
* непрямое воздействие на автономные объекты и системы.

На Рис. 2 приведена блок-схема предполагаемой системы адаптивного управления ТП.

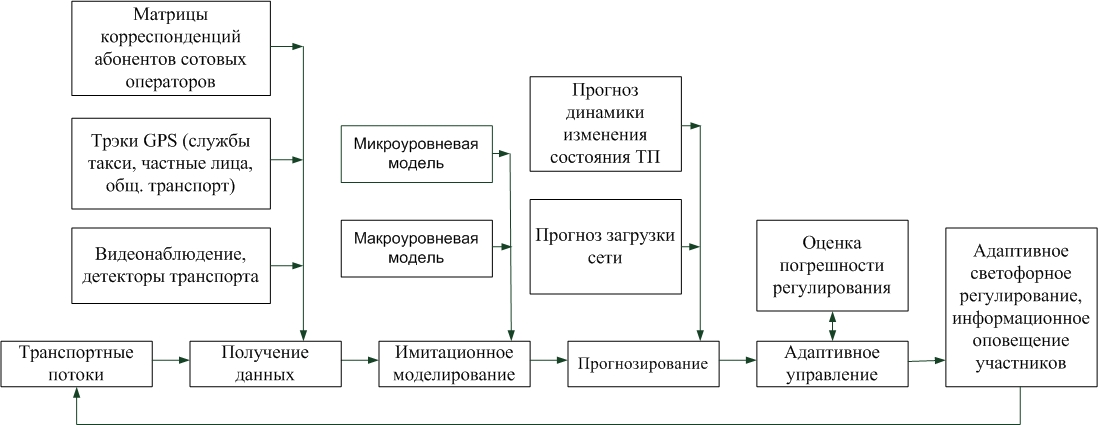


Рис. 2 Блок-схема системы адаптивного управления ТП.

В разработанной системе объектом управления являются ТП {ТПi}, i=1,..,n, распределенные на участках дорожной сети. Вектор состояний ТП V{ТПi} описывает состояние потоков в момент времени t и характеризуется следующими параметрами: ρ – плотность, ʋ – средняя скорость, q – интенсивность потока, tожид – время ожидания.

Получение исходных данных осуществляется от различных дорожных датчиков, систем теле- и видеонаблюдения, напрямую от транспортных средств (GPS/ГЛОНАСС навигация), а также получение обезличенной информации о локации населения от мобильных операторов связи.

На основе получаемых данных производится анализ состояния ТП, построение имитационных моделей, по которым вырабатываются эффективные стратегии и планы управляющих воздействий. Анализ и моделирование производится системой интеллектуальных агентов (координаторов), обслуживающих центр обработки информации. В дальнейшем рекомендации по регулированию передаются на координируемые объекты.

Управляющее воздействие осуществляется по следующим направлениям:

* Светофорное регулирование;
* Использование дополнительных средств воздействия на ТП (перенаправление потоков, реверсивные полосы движения);
* Использование дополнительных информационных ресурсов для координирования (навигационные системы, мобильные приложения, информационные табло, специализированные сайты).

Целью управления разрабатываемой интеллектуальной транспортной системы является улучшение значения критериев качества дорожного движения:

* уменьшение остаточной очереди Lост = L(p,q);
* уменьшение среднего времени ожидания Tср.

Разработка адаптивной системы управления ТП высокой плотности включает в себя следующие этапы:

* разработка функциональной схемы интеллектуального управления ТП;
* разработка методики получения данных о мобильности населения от операторов мобильной связи с использованием графа дорог города;
* анализ состояния ТП (плотность, интенсивность, насыщенность) на основе данных систем видеонаблюдения;
* определение применяемого в системе математического аппарата;
* разработка базы знаний для экспертных систем на основе нечеткой логики с целью управления ТП.
* разработка адаптивной модели регулируемого перекрестка с использованием функционала нечеткой логики.

**В главе 2** представлен алгоритм поиска и анализа динамических объектов (автомобилей) в видеопотоке, структура разработанной «базы знаний» и нечеткого вывода экспертной системы, предложена структура контроллера адаптивного управления ТП на перекрестке с использованием формализмов нечеткой логики. Также в главе приведены подходы по формализации микро и макроуровневых имитационных моделей ТП на участке дорожной сети.

Применение технологий компьютерного зрения в работе позволяет находить и анализировать области движения в видеопотоке в режиме реального времени. Входными данными для решения этой задачи является последовательность кадров *I1, I2,…In* видеопотока *Vs*:

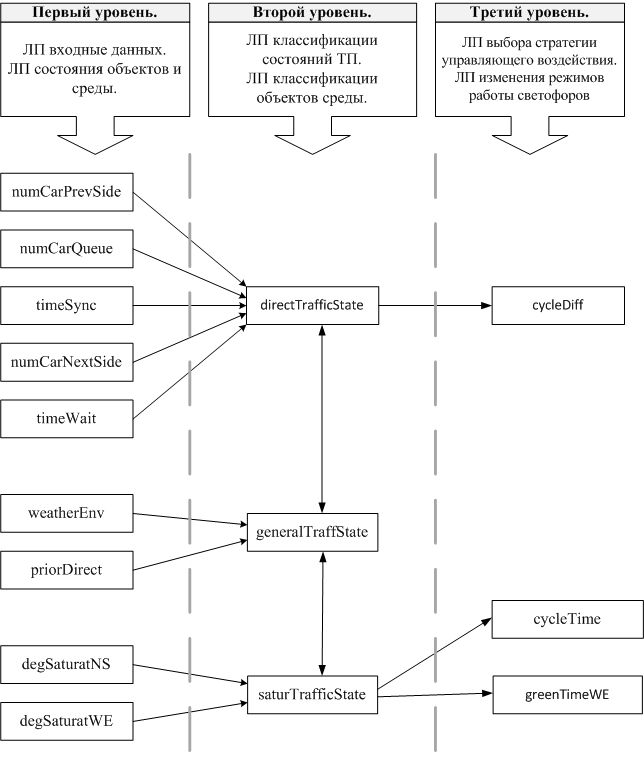
*Ik ={Ik(x,y), 0 ≤ < width, 0 ≤ < height } , k=* (2.1)

где *, -* текущий пиксель, *width* – ширина кадра, *height* – высота кадра, а *Ik(,),*представляет собой в общем случае векторы фиксированной размерности.

Целью решаемой задачи является получение массива динамических областей (объектов) на изображении, при последовательной обработке каждого видеокадра. Разработанный алгоритм поиска и анализа динамических объектов (автомобилей) в видеопотоке представлен на Рис. 3.

Рис.3 Схема работы алгоритма поиска и анализа динамических объектов (автомобилей) в видеопотоке.

Для повышения качества поиска указанные операции дополнены методами по фильтрации кадров исходного потока видеоданных и методом бинарной фильтрации видеопотока. Для удаления шумов применены морфологические операции к полученному отсечению. Если с видеопотока приходит цветное изображение, то его всегда возможно преобразовать в оттенки серого, что уменьшает объем обрабатываемой информации. Качество определения движущихся объектов при использовании алгоритмов вычитания фона во многом зависит от качества полученной модели фона.

Для решения задачи по анализу состояния и адаптивному управлению ТП в данной работе разработана экспертная система использующая аппарат нечеткой логики содержащая набором лингвистических переменных и правил нечеткого вывода. Иерархическая структура нечеткого вывода и лингвистических переменных разработанной экспертной системы представлена на Рис.4.

Ввиду того, что поведение транспортного потока имеет не только стохастический, но и выражено-нелинейный характер использование экспертной системы с заложенным аппаратом нечеткой логики позволяет оперативно и эффективно влиять на состояние ТП. В разработанной экспертной системе получение входной информации о состоянии ТП, классификация состояний ТП и адаптивное управляющее воздействие в представлено виде лингвистических переменных и правилах нечеткого вывода. База знаний разработанной экспертной системы иерархически разделена на три уровня:

Рис.4 Иерархическая структура нечеткого вывода и лингвистических переменных экспертной системы

* уровень входных данных;
* уровень классификации состояния ТП и объектов окружающей среды;
* уровень выработки стратегии управляющего воздействия.

На основании трехуровневой структуры правил базы знаний лингвистические переменные также делятся на три уровня.

Для управления ТП на перекрестках была разработана структура дорожного контроллера, использующего формализмы нечеткой логики (представлена на Рис.5).

****

Рис.5 Общая структура дорожного контроллера с нечеткой логикой

Набор лингвистических переменных разработанной экспертной системы формализован следующим образом:

Lп = { *x* ,T(*x*), X, G, M }, где

* *x* - название лингвистической переменной;
* Т(*x*) - терм-множество, представляющее названия нечетких переменных, областью нахождения которых является универсальное множество Х. Множество T(*x*) является базовым множеством значений лингвистической переменной;
* X - универсальное множество;
* G - синтаксическая процедура, оперирующая элементами терм-множества *x*, в частном случае, генерирование новых термов (значения). Расширенным терм-множеством лингвистической переменной является множество TG(T(*x*)), где G(T(*x*)) - множество сгенерированных термов;
* М - семантическое правило, которое преобразует полученное значение лингвистической переменной, образованной в процедуре G, в нечеткую переменную, то есть формирующая соответствующее нечеткое множество.

Например, лингвистическая переменная определяющая степень насыщения ТП задается следующим образом:

*x* – saturTrafficState (лингвистическая переменная определяющая степень насыщения ТП в определенном направлении на перекрестке);

Т(saturTrafficState) = {«очень низкая», «низкая», «нормальная», «высокая», «очень высокая»};

X = [0, 1];

G – процедура генерирования новых термом c помощью логической связки «ИЛИ»;

M – процедура задания на X множеств, соответствующих термам из Т(saturTrafficState), и образованных с помощью процедуры G.

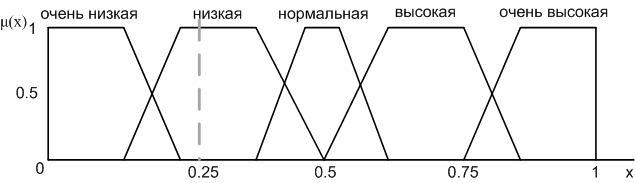


Рис.6 Функции принадлежности лингвистической переменной определяющей степень насыщенности ТП

Для исследования свойств и характеристик ТП при адаптивном управлении необходимы адекватные имитационные модели дорожно-транспортной сети и автомобильных дорог. Для имитационного моделирования ТП в работе реализованы модели двух уровней:

* модели макроуровня;
* модели микроуровня.

Первый класс моделей описывает ТП целиком как совокупность всех транспортных средств. Значимые характеристики данного класса – плотность и интенсивность потока. Область применения – крупные магистрали и шоссе областных масштабов. Второй класс описывает отдельно взятые транспортные средства и взаимодействие между ними. Правила поведения моделей данного класса описываются действиями отдельных объектов дорожного движения с внесением дополнительных характеристик для управления скоростью и ускорением.

Для решения задач по управлению ТП необходимо объединять знания и подходы из различных отраслей науки. Проведенный в этой главе анализ показал, что синтез технологии компьютерного зрения, адаптивной системы управления на основе нечеткой логики и экспертных систем позволяет эффективно решать задачи по управлению дорожным движением в оперативном режиме.

В данной главе решены следующие задачи:

1. Проанализированы подходы и особенности распознавания движущихся объектов в ТП при использовании технологий компьютерного зрения. Разработана схема алгоритма поиска и анализа динамических объектов (автомобилей) в видеопотоке.
2. Разработана и описана структура базы знаний, лингвистические переменные и правила нечеткого вывода экспертной системы.
3. На основе экспертных систем и формализмов нечеткой логики разработан способ структурного анализа состояния ТП.

Разработанный способ:

* позволяет учитывать динамические свойства ТП;
* повышает эффективность оперативного влияния на возникновение внештатных ситуаций (ДТП);
* по сравнению с другими подходами, например использование нейронных сетей, использование нечеткой логики позволяет снизить сложность при решении задач оперативного управления ТП в режиме реального времени.

1. Разработана структура дорожного контроллера с модулем управления использующим формализмы нечеткой логикой.

**В третьей главе** для реализации системы интеллектуального управления ТП предложена, представленная на Рис.9, функциональная схема.

Система, представленная на схеме, работает следующим образом:

* На первом этапе производится получение исходных данных, снятие показаний с различных датчиков и детекторов, систем видеонаблюдения установленных на дорогах, получение информации с устройств GPS и ГЛОНАСС установленных в общественном транспорте, в автомобилях служб такси и частных лиц. А также на данном этапе осуществляется обработка информации о мобильности население на основании обезличенной матрицы корреспонденций абонентов сотовых компаний.
* На втором этапе на основании полученных данных строятся микро- и макроуровневые имитационные модели, в которые вносятся все объекты ТП, а также объекты влияющие на его состояние. Задаются параметры входов, генерирующие агентов-автомобили, параметры работы светофоров и различные условия, влияющие на ТП. Данный этап дает возможность на следующем этапе оценить и классифицировать текущее состояние ТП.
* На этапе проведения анализа, состояние ТП и общее состояние дорожной сети классифицируются на основании сопоставления с различными разработанными “эталонными” шаблонами.
* В блоке прогнозного моделирования составляется прогноз динамики состояния ТП на различные временные интервалы и по различным уровням распределения – прогноз загрузки сети.
* На этапе адаптивного управления решается задача по оптимизации маршрутов городского транспорта и грузовых перевозок, вырабатываются оптимальные стратегии перенаправления ТП с целью устранения возникающих пробок и заторов, уменьшения размера очередей автомобилей перед перекрестками и общего времени ожидания в пути.
* Оценка эффективности управления ТП оценивается как самой системой по ряду параметров, так и визуально операторами в центре наблюдения и управления. Операторы-эксперты при необходимости могут вносить поправки и корректировки работу системы управления ТП.



Рис.9 Функциональная схема интеллектуального управления ТП мегаполиса

Адаптивное регулирование ТП в разработанной системе осуществляется по трем уровням распределения (Рис.10):

* Верхний уровень. Уровень города. Назначаются приоритеты по каждому району в зависимости от цели перемещения и наличия объектов посещения, рассчитывается матрица межрайонных корреспонденций. Назначение приоритетных направлений в различные временные (суточные, сезонные, и т.д.) и событийные периоды.
* Средний уровень. Уровень района. Потоки автомобилей перераспределяются с более насыщенных и нагруженных участок дорог на более свободные и менее востребованные. Управляющие устройства: информационные табло, реверсивные дороги, интерактивные дорожные знаки.
* Нижний уровень. Уровень микрорайона. Непосредственно светофорное регулирование на перекрестках. Устранение возникающих локальных заторов и пробок. Координирование участников движения при помощи информационных табло, навигационных систем и мобильных приложений.

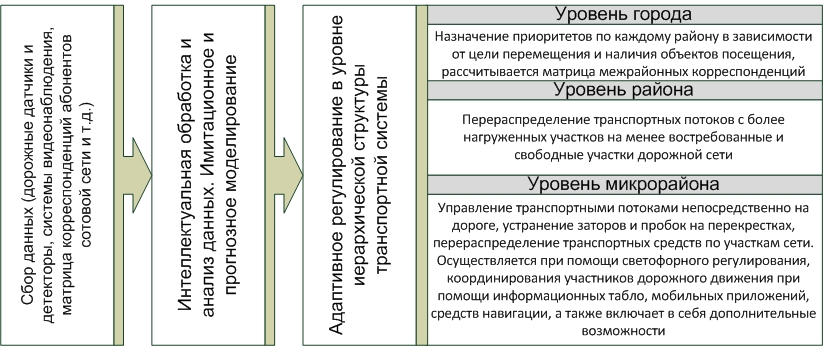


Рис.10 Иерархическая схема управления ТП мегаполиса

В результате разработки и исследования имитационной модели системы управления ТП было получено следующее:

1. Создана функциональная схема интеллектуальной системы управления ТП. В подсистемах данной схемы, осуществляется сбор данных о состоянии ТП и динамике мобильности населения, проводится моделирование поведения объектов дорожного движения, прогнозирование, анализ и адаптивное управление ТП.
2. Разработан алгоритм распознавания характеристик и определения состояния ТП на основе данных видеопотока с использованием технологии компьютерного зрения. Создан аппаратно-программный комплекс, использующий этот алгоритм.
3. Предложен способ анализа динамики ТП с использованием данных о мобильности населения мегаполиса от мобильных операторов связи и графа дорог.
4. Разработана модель интеллектуального светофорного управления ТП с использованием экспертной системы, правил нечеткой логики и регулирования на основе нечеткого вывода.

Далее в заключении главы сделан вывод, что разработанная интеллектуальная транспортная система соответствует сформулированным в первой главе принципам управления ТП города и реализована на основе методик и математического аппарата, описанных во второй главе.

**Глава 4** описывает экспериментальную проверку разработанной системы, которая включает в себя следующие этапы:

1. Экспериментальная проверка предложенного алгоритма определения состояния ТП по анализу видеоданных с использованием технологий компьютерного зрения. Проверка производится сравнением количества автомобилей, зафиксированных ручным способом и при помощи созданного аппаратно-программного комплекса использующим разработанный алгоритм. Ошибка распознавания движущихся объектов ΔP оценена по отношению количества ошибочно определенных или нераспознанных объектов аппаратно-программным модулем к количеству автомобилей, подсчитанному вручную.

ΔP = Nош / Nр \*100, %(4.1)

За достоверные брались результаты ручного способа. В Таблице 1 приведены значения погрешности, рассчитанные по формуле (4.1).

Таблица 1 - Погрешность распознавания на 3 экспериментальных участках

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Период измерения | Погрешность распознавания (%) | | |
| Участок 1 | Участок 2 | Участок 3 |
| Утро (7:00-11:00) | 8 | 9 | 9 |
| День (13:00-18:00) | 8 | 9 | 9 |
| Вечер (18:00-22:00) | 5 | 6 | 4 |

Экспериментальная проверка показала, что погрешность разработанного нами аппаратно-программного модуля по распознаванию состояния и интенсивности транспортного потока не превышает 10%, что отражает довольно высокую достоверность получаемых данных для дальнейшей обработки и использования их в реализации интеллектуальной транспортной системы.

1. Имитационное моделирование системы управления ТП для реального участка транспортной сети г.Бишкек. Временной этап моделирования T составляет – 90 минут. Создание новых агентов-автомобилей происходит для каждого входа с заданной интенсивностью ΔI (автомобилей в минуту). На каждом входе модели, генерирующим агентов-автомобили, агентам задается начальное значение скорости ʋ. Маршрут следования объектов определяется динамически, а интервалы и фазы работы светофоров задаются статически на основании полученной статистической информации на исследуемом участке.
2. Поверка адекватности и эффективности разработанной системы управление ТП, производилась на имитационных моделях реальных перекрестков. Интеллектуальное светофорное регулирование осуществлялось разработанной экспертной системой с обработкой информации на базе нечеткой логики. Моделирование проводилось в два этапа:
   * работа модели с заданными статическими параметрами (длительность фаз и циклов работы светофоров задается константами, берутся текущие значения, используемые на реальных перекрестках), без использования адаптивного управления;
   * работа модели с использованием адаптивного управления (параметры динамически изменяются).

Важными критериями работоспособности разработанной системы управления являются, коэффициент уменьшения времени ожидания Ζt автомобилями в очереди и коэффициент уменьшение остаточной длины очереди ТП ΖL, которые определяются по следующим формулам:

Ζt =

ΖL = ,

где

t*сред*стат - среднее время ожидания без включения режима адаптивного управления,

t*сред*адап - среднее время ожидания с включенным режимом адаптивного управления,

Lстат  - остаточная длина очереди без включения режима адаптивного управления,

Lадап - остаточная длина очереди с включенным режимом адаптивного управления,

за время T проведения эксперимента.

В Таблице 2 содержатся экспериментальные данные, характеризующие эффективность интеллектуального управления ТП, разработанной системой, в зависимости от его плотности в различное время суток. Данные приведенные в Таблице 2 получены при имитационном моделировании реальных участков транспортной сети г.Бишкек.

Таблица 2 - Эффективность управления ТП

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Суточный период | Ζt(%) | ΖL(%) |
| Утро (7:00-10:00) | 4-12 | 7-10 |
| День (11:00-16:00) | 5-17 | 5-15 |
| Вечер (18:00-20:00) | 5-15 | 6-12 |

Сравнение характеристик существующих транспортных систем с разработанной приведено в Таблице 3.

Таблица 3 - Сравнение характеристик транспортных систем

|  | **Поколение** | **Автоматизированное получение данных** | **Анализ ТП** | **Прогнозирование** | **Устройства управления** | **Эффективность управления:**  **Ζt иΖL** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Разработанная система | 3-е | выполняется | выполняется | возможно | Адаптивное координированное светофорное регулирование  информационное оповещение участников движения | Ζt = 5-17%  ΖL = 5-15% |
| Город-М | 1-ое | отсутствует | отсутствует | отсутствует | Статическое светофорное регулирование | Ζt = 4-8%  ΖL = 5-12% |
| ITS ATMS-ATIS | 2-ое | выполняется | выполняется | отсутствует | Адаптивное светофорное регулирование  информационное оповещение участников движения | Ζt =8-22%  ΖL - нет данных |
| ITS-Safety | 3-е | выполняется | выполняется | выполняется | Адаптивное светофорное регулирование | Ζt =12-25%  ΖL-нет данных |

В разработанной системе адаптивного управления ТП высокой плотности с использованием экспертной системы и обработкой информации на основе формализмов нечеткой логики недостатки сравниваемых систем были учтены и устранены. Кроме того разработанная система обладает достаточной гибкостью, надежностью и устойчивостью к сбоям за счет многоуровневого координированного управления, а также наличием координации между собой светофорных объектов.

В результате проведенных экспериментальных исследований выявлено, что применяемые в разработанной системе интеллектуального управления ТП методы получения статистических данных, имитационного моделирования, адаптивного управления потоками транспорта обладают работоспособностью и адекватностью поставленным задачам. Разработанная система соответствует поставленной в работе цели - повышению эффективности управления ТП высокой плотности.

Проведенный анализ и сравнение различных аналогичных систем показал, что структурная организация разработанной системы, ее модели, алгоритмы и функционал соответствуют уровню высокоэффективных и современных интеллектуальных транспортных систем.

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

В результате проведенных научных исследований по теме диссертационной работы «Разработка системы адаптивного управления и моделирования ТП мегаполиса с обработкой информации на основе нечеткой логики», было получено следующее:

1. Проведен системный анализ предметной области, который показал перспективность и актуальность интеллектуальных транспортных систем при управлении ТП высокой плотности. Выявлены недостатки существующих систем.
2. Разработана функциональная схема класса устройств адаптивного управления ТП, основанная на анализе разнородных данных, имитационном и статистическом моделировании, а также использовании иерархического подхода к управлению дорожным движением в мегаполисе.
3. Создан алгоритм и разработана компьютерная программа оценки состояния ТП на участке дорожной сети по видеопотоку с использованием технологий компьютерного зрения.
4. Разработаны имитационные модели ТП, участков дорожно-транспортной сети г.Бишкек, использующие многоагентность и позволяющие учитывать особенности участников движения и параметры ТП.
5. Предложен упрощенный способ использования данных, полученных от операторов сотовой связи, для анализа и прогнозного моделирования динамики мобильности населения и построения обезличенной матрицы корреспонденций абонентов транспортной сети с привязкой к графу дорог мегаполиса.
6. Разработана экспертная система с трехуровневой базой знаний, содержащая правила и формализмы нечеткой логики для классификации состояния и адаптивного управления ТП.
7. Проведены экспериментальные проверки и системный анализ свойств разработанной системы. Результаты экспериментальных испытаний показали, что система управления решает поставленные перед ней задачи адаптивного управления ТП различной плотности и полностью отвечает поставленной цели работы.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Павленко, П.Ф**. Управление работой светофорного объекта на основе микроконтроллера AVR [Текст] / П.Ф.Павленко // Журнал «Проблемы автоматики и управления». – 2012. - №2. – С.149-153.
2. **Павленко, П.Ф.** Распознавание движущихся объектов в транспортном потоке [Текст] / П.Ф.Павленко // Журнал «Проблемы автоматики и управления» 2012. - №2. – С.165-170.
3. **Павленко, П.Ф.** Функциональное моделирование интеллектуальной транспортной системы [Текст] / Ж.Ш.Шаршеналиев, П.Ф.Павленко // Фунд. и прикл.проблемы науки. – Матер. VIII Межд. симп. – М.: РАН, 2013. - Т.9. – С.23-31.
4. **Павленко, П.Ф.** Автоматическая система раннего оповещения водителей о наличии пешеходов на пешеходном переходе [Текст] / П.Ф.Павленко // Проблемы автоматики и управления. – 2013. -№2. – С.48-53.
5. **Павленко, П.Ф.** Анализ транспортных потоков с помощью различных методов моделирования // Проблемы автоматики и управления. – 2013. - №2. – С.122-127.
6. **Павленко, П.Ф.** Адаптивная модель регулируемого перекрестка дорожной сети [Текст] / П.Ф.Павленко // Проблемы автоматики и управления. – 2014. - №1. – С.174-178.
7. **Павленко П.Ф.** Модель координированного управления транспортными потоками на основе нечеткой логики [Текст] / Ж.Ш.Шаршеналиев, П.Ф. Павленко // Проблемы автоматики и управления. – 2014. - №2. – С.4-10.
8. **Павленко, П.Ф.** Применение экспертной системы и модуля управления на основе нечеткой логики в адаптивном управлении транспортными потоками [Текст] / П.Ф.Павленко // Проблемы автоматики и управления. - 2014. - №2. – С.92-97.
9. **Павленко, П.Ф.** Имитационное моделирование адаптивного управления транспортными потоками [Текст] / Ж.Ш. Шаршеналиев, П.Ф. Павленко // СДУ ХАБАРШЫСЫ. - 2015. - №1(32). – С.149-157.
10. **Павленко, П.Ф.** Оценка эффективности адаптивного управления транспортными потоками при имитационном моделировании [Текст] / П.Ф. Павленко // European research. - 2015. -№6 (7) –С.13-17. –ISSN 2410-2873.
11. **Павленко, П.Ф.** Моделирование системы адаптивного управления транспортными потоками [Текст] / П.Ф. Павленко // Наука, техника и образование. - 2015. -№7 (13) –С.34-37 –ISSN 2312-8267.

**РЕЗЮМЕ**

**Павленко Павел Федоровичтин диссертация темасы: «Ыңгайлуу башкаруу жана чоң шаардын транспорт агымын моделдештирүү системасын малымаат иштетүүсү менен так логиканын негизинде иштеп чыгуу». 05.13.01 – Системалык анализ, башкаруу жана маалымат иштетүү кесибине техникалык илим талапкерине илимий деңгээл издөө.**

**Өзөктүү сөздөр:** имитациялык модель, ыңгайлу башкаруу, транспорт агымын башкаруу.

**Изилдөөнүн объекти:** Тарнспорт агымын ыңгайлу жана координациялоо башкаруусунда алып журу

**Иштин максаты:** Жол жүрүм шарттарын заманбап түрүнө алып келүү, моделдештирүү систамсы жана жогорку жыштыкта транспорт агымын ыңгайлу башкаруусун изилдеп жана иштеп чыгуу

**Изилдөө жолу:** Математикалык жана иммитациялык моделдештируу жолу, жасалма интеллект принциби жана систематикалык мамиле. Колдонулган методдор граф теориясына негизделген, экспертик теория системасы жана так логикасы, машиналаштыруу көрү методу (OpenCV), имитация методдор, болжомол модели жана ылайыкташтыруу методу, жана транспорт агым теориясы.

Коюлган маселени чечүү үчүн төмөнку каражаттар колдонулган объект-ориентациялоо мамиле программдык тил С++, Java, кросс-платформа жыйнагы Qt, моделдештирүү AnyLogic 7.1 программдык комплекс, бекер колдонуго мүмкүндүгү бар OpenStreetMap электрондук карта, MySQL маалымат базасын башкаруу система.

**Алынган жыйынтык жана алардын жаңылыгы:**

* Жогорку жыштыкта транспорт агымын ыңгайлуу башкарусун жаны функционалдык схемасын иштеп чыгуу, транспорт системасынын интеллектуалдук негизинде түзү.
* Транспорт агымын абалын маалымат алуу алгоритимин иштеп чыгуу компьютердик көрү технологиясынын жардамы менен, аз чыгым менен маалымат алуу эффектин мүмкүндүгүн остүрот жана транспорт агымын мүноздомүсүн алат.
* Транспорт агымын абалын координациялоо башкарусу менен бирдикте структурдук анализдин жөнөкөй методикасын колдону, транспорт агымын башкаруу маселесин оор денгелин азайтат, жана транспорт агымын интелектуалдуу система башкарусун сыртыкы факторлордун таасирине туруктуу болот.
* Ууна транспорт туйунун имитациялык моделин бирдиктей эмес программдык агентерди иштеп чыгуу жана ыңгайлу башкаруу модулун, маалымат иштетүсүндө так логикасын колодолунат, жол жүрүчүлөрдүн өзгөчө жүрүсүн эсептегени кепилдик берет жана транспорт агымын бирдиктей эмесин эске алат.

**Колдонуу рекомендациясы:** Диссертациялык иштин жыйытыгы чон шаардагы жол жүрүмүн эффективдүү башкаруусун күчөтүү, транспорт агымын абалын алгачкы маалыматты өстүрүү, транспорт агымын абалын коп деңгелде калсификациялоо, эффективдүү моделдерин колдонуу жана транспорт агымын ыңгайлуу башкаруу алгоритими, штаттан тышкаруу абалды эске алуу жана жол катышуучунун өзгөчө алып жүрүсүн.

**Колдонуу жааты:** проектештерүү, илимий изилдөө, массалык тейлөө системасы, интеллектуалдуу транспорт систамасы, жол жүрүмүн автоматикалык түрүндө башкаруу.

**РЕЗЮМЕ**

**диссертации Павленко Павла Федоровича на тему: «Разработка системы адаптивного управления и моделирования ТП мегаполиса с обработкой информации на основе нечеткой логики» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации.**

**Ключевые слова:** имитационная модель, адаптивное управление, управление ТП,

**Объект исследования:** поведение транспортного потока при адаптивном и координированном управлении.

**Цель работы:** исследование и разработка, адекватной современным условиям дорожного движения, системы моделирования и адаптивного управления транспортными потоками высокой плотности.

**Методы исследования:** математическое и имитационное моделирование, элементы теории искусственного интеллекта и системного анализа, теория графов, теория экспертных систем и нечеткой логики, а также теория транспортных потоков. При решении поставленных задач использованы технологии компьютерного зрения (библиотека OpenCV), средства объектно-ориентированного моделирования с использованием таких языков программирования как: C++, Java, кросс-платформенная библиотека Qt, программный комплекс для моделирования AnyLogic, доступная для свободного использования электронная карта OpenStreetMap, система управления базами данных MySQL.

**Полученные результаты и их новизна:**

* Разработка функциональной схемы интеллектуального управления ТП высокой плотности на основе принципов построения интеллектуальной транспортной системы, отличающуюся множественностью разнородных входных данных и включением иерархического подхода при адаптивном управлении.
* Разработка алгоритма получения данных о состоянии ТП при помощи технологий компьютерного зрения, позволяющего при невысоких затратах повысить эффективность получения данных о состоянии и характеристиках транспортного потока.
* Использование упрощающей методики структурного анализа состояния ТП при координированном управлении, что уменьшает уровень сложности при решении задач управления ТП, а также делает систему интеллектуального управления ТП устойчивой к влиянию различных внешних факторов.
* Разработка имитационной модели дорожной сети содержащей децентрализированных программных агентов и модуль адаптивного управления, использующий нечеткую логики при обработке информации, что дает возможность учитывать независимый характер поведения участников движения, а также учитывать неоднородность и нестационарность ТП.

**Рекомендации по использованию:** Результаты диссертационной работы позволят увеличить эффективность управления дорожным движением мегаполиса благодаря повышению достоверности исходной информации о состоянии ТП за счет множества различных источников, многоуровневой системе классификации состояний ТП, а также за счет использования эффективных моделей и алгоритмов адаптивного управления ТП, учитывающих возникновения внештатных ситуаций и специфику поведения участников движения.

**Область применения:** проектирование, научное исследование, системы массового обслуживание, интеллектуальные транспортные системы, автоматические системы управления дорожным движением.

**DISSERTATION AUTHOR'S ABSTRACT**

**Theme of the dissertation: «Development system of adaptive management and modeling traffic megapolis with information processing based on fuzzy logic»**

**Autor: Pavel Pavlenko**

**Purpose: scientific degree Technical Sciences on specialty 05.13.01 – System analysis, control and information processing.**

**Keywords:** simulation model, adaptive control, traffic management.

**Object of research:** behavior of a transport stream at adaptive and coordinate management.

**Objective:** Research and development of adaptive centrally-coordinated traffic management of high density.

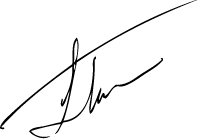
**Research methods:** mathematical and imitating modeling, elements of the theory of artificial intelligence and system analysis, theory of counts, theory of expert systems and fuzzy logic, and also theory of transport streams. At the solution of objectives technologies of computer sight (OpenCV library), means of object-oriented modeling with use of such programming languages as are used: With ++, Java, cross-platform library Qt, a program complex for modeling of AnyLogic, the electronic OpenStreetMap card, available to free use, the MySQL database.

**The results and their novelty:**

* Development of a function chart of intellectual management of TP of high density on the basis of the principles of creation of intellectual transport system.
* Development of algorithm of data acquisition about a condition of TP by means of technologies of computer sight.
* Development of a technique of system and hierarchical approach at coordinate management of TP of high density that reduces complexity level at the solution of problems of management of TP and allows dividing functionally subsystems on levels, and also does system of intellectual management of TP steady against influence of various external factors.
* Development of imitating model of a road network and intellectual management of TP with use of expert system and formalizm of fuzzy logic that gives the chance to consider individual nature of behavior of participants of the movement, and also to consider heterogeneity of structure of TP.

**Recommended use:** The results of dissertation will allow to increase efficiency of city traffic management by improving the reliability of initial information about condition of traffic flow due to a variety of sources, multi-level system of classification the condition, as well as through the use of effective models and algorithms for adaptive management to deal with emergency situations and the specific behavior of road users.

**Scope:** design, research, queuing systems, intelligent transportation systems, automatic traffic control system.



Павленко Павел Федорович

**Разработка системы адаптивного управления и моделирования транспортных потоков мегаполиса с обработкой информации на основе нечеткой логики**

Автореферат диссертации

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Подписано к печати 08.09.2015. Формат 60х84 1/16. Объем 1,5 п.л.

Бумага офсетная. Тираж 100 экз. Заказ №45

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Отпечатано в типографии BelPrint

720000, г.Бишкек, ул.Киевская, 44

Издательство Кыргызско-Российского

Славянского университета