

На правах рукописи



**Ташкин Артём Олегович**

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
В УПРАВЛЕНИИ СОЦИАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ ГОРОДА  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
И ФОРКСОНОМИЧЕСКОГО ПОДХОДА**

Специальность 2.3.4. Управление в организационных системах

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

Челябинск – 2023

Работа выполнена на кафедре информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

Научный руководитель: **Голлай Александр Владимирович**, доктор технических наук, доцент, директор высшей школы электроники и компьютерных наук, профессор кафедры информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

Официальные оппоненты: **Куликов Геннадий Григорьевич**, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры автоматизированных систем управления ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»

**Гилёв Денис Викторович**, кандидат технических наук, доцент кафедры экономики ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

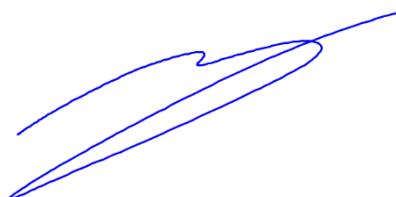
Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Защита состоится «28» сентября 2023 года в 14:00 на заседании диссертационного совета 24.2.437.02 при ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. В.И. Ленина, 76, ауд 1007. С содержанием диссертации можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)». Сведения о защите, диссертация и автореферат диссертации размещены на официальном сайте ЮУрГУ: <https://www.susu.ru/ru/dissertation/24243702-d-21229803/tashkin-artyom-olegovich>

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим выслать по адресу 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ЮУрГУ, Ученый совет, тел. (351) 267-91-23.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета 24.2.437.02  
доктор технических наук, доцент



Голлай А.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В диссертационной работе изложены результаты научных исследований по разработке новых моделей, алгоритмов поддержки принятия решений с использованием геоинформационных технологий и фолксномического подхода и реализации системы поддержки принятия решений (СППР) для повышения эффективности управления социальной инфраструктурой города в области обеспечения доступности объектов социальной инфраструктуры (далее ОСИ) для маломобильных групп населения (МГН).

Вопросам изучения социальной инфраструктуры уделено внимание ученых Дж. Гэлбрейт, П. Самуэльсон, А. Хиршман, М. Олсон, Ж. Тироля, Ж.Т. Тощенко, М.Г. Николаев, О.В. Согачева, О.И. Радина. Проблематика поддержки принятия решений в системах управления отражена в работах Т. Демарко, Т. Листера, В.Н. Буркова, О.Н. Ильиной, Е.В. Коновальчука, Д.А. Новикова, В.И. Воропаева, А.В. Будыльского, Дж. Сазерленда, К. Швабера, М. Кона, В.М. Белова, С.С. Гусева, А.А. Захаровой, А.В. Чувакова, С.В. Поршнева, Т.В. Авдеенко, I.L. Lampa, A. de G. Contessoto, S. Moorthy, P. Heck, A. Zaidman, G. Lucassen, F. Dalpiaz, S. Brinkkemper и др. Большой вклад в решение задач управления территориями, идентификации пространственных объектов и развитие ГИС внесли ученые В.В. Сергеев, Ю.Г. Васин, В.С. Титов, В.В. Еремеев, А.А. Варламов, С.А. Гальченко, Д.А. Шаповалов, А.П. Сизов, В.С. Тикунов., А.В. Бакланов, Н.И. Глумов, М. Н. ДеМерс, Ю.Д. Зраенко, А.В. Кошкарёв, Б.Г. Литвак, О.В. Логиновский, Э. Митчелл, В.М. Мишин, А.И. Орлов, В.П. Раклов, Р. Томлинсон, А.Л. Федотов, А.В. Чернов и др. Вопросы создания моделей информационных систем, описаны в трудах ученых А.Н. Колмогоров, А.М. Ляпунов, С.В. Яблонский, В.М. Вдовин, А. И. Михайлов, Edgar F. Codd, М.Р. Когаловский. Вклад в теорию автоматического управления внесли отечественные ученые: Дж. Максвелл, И.А. Вышнеградский, Б.А. Петров, Е.П. Попов, А.А. Красовский, Г.С. Поспелов, А.С. Шаталов, В.В. Солодовников, А.И. Кухтенко, А.А. Фельдбаум, В.М. Кунцевич, В.С. Пугачев, В.Г. Болтянский и многие другие. Проблемой управления экономическими системами занимались: Б. Пирсон, М.Х. Мескон, А.М. Новиков, И.Ю. Квятковская, Н.И. Астахова, Г.И. Москвитина. Проблемой управления данными информационных систем занимались ученые: М.К. Румизен, В.М. Глушкова, Ю.А. Шрейдер, К. Вииг, Р.Ф. Гиляревский, Л.С. Козачкова, К. Ньюэлл, Д. Смит, А.Л. Гапоненко, И. Нонаки, Х. Такеучи, Б.З. Мильнер, А.Ф. Тузовский, С.В. Чириков, В.З. Ямпольский. Применение онтологических моделей представления данных отражено в трудах P. Fitsilis, V. Gerogiannis, Y. Lin, V. Hilaire, N. Gaud, A. Koukam, P. Szwed, G. Rogus, M. Adnan и др. Вопросы применения онтологии к автоматической обработке данных исследовались в трудах исследователей П. Воссена, Ю.А. Загорулько, Б. Магнини, А.С. Нариньяни, О.А. Невзоровой, С. Ниренбурга, В. Раскина, В.Ш. Рубашкина, М.Г. Мальковского, G. Miller, X. Феллбаум, T.R. Gruber. В качестве методологической основы в области управления знаниями в социальных и экономических системах, онтологического инжиниринга и использованы труды ученых: N. Xiong, A. Aamodt, M. Nilsson, M. Sollenborn, N. Guarino, В.Н. Юдина, П.Р. Варшавского, А.М. Новикова, Т.А. Гавриловой, И.В. Захаровой, А.Ф. Тузовского, В.И. Хабарова, В.Ф.Хорошеевского. Методы структуризации фолксномических данных с помощью теории АФП описаны в работах ученых Ю.А. Загорулько, Г.Б. Загорулько, В.А. Виттиха, П.В. Ситникова, А. М.Коллинз, М.Р. Киллиан, Э. Ф. Лофтус, Тим Бернерс-Ли, Джим Хендлер, Ф. Симиано, А. Хотхо и др. Развитию теории АФП способствовали ученые: R. Wille, B.Ganter, G. Birkhoff, M. Varbut, V. Monjardet, O. Ore, J. Poelmans, C. Carpineto, S.Doerfel, С.О. Кузнецов, И.Д. Виноградов, А.А. Незнанов, С.И. Гуров.

### **Актуальность темы.**

Значительную часть общества составляют маломобильные группы населения (МГН), инвалиды и другие ограниченные в перемещении граждане, зачастую испытывающие проблемы при взаимодействии с социальной инфраструктурой: первая связана с физическими барьерами объектов социальной инфраструктуры (далее ОСИ), вторая заключается в недоступности информации об ОСИ. В мире, включая Россию, уделяется

внимание развитию социальной и экономической среды для МГН с помощью технологий интеллектуального управления городским хозяйством. В ряде исследований СППР управления доступностью ОСИ для МГН называются картами доступности (Disabled maps).

Процесс поддержки принятия решений в области обеспечения доступности ОСИ для МГН включает методы и алгоритмы структуризации данных, организованных по принципу фолксномии (народная классификация), их автоматической обработки, анализа и информационной поддержки. Применение онтологических моделей требует совершенствования и адаптации методов обработки фолксномических данных, которые могут быть организованы с помощью теории анализа формальных понятий (АФП).

Существующие разработки в области информационной поддержки и управления доступностью ОСИ для МГН изолированы и несвязны, отсутствует единая база данных, интерфейсы систем не стандартизированы, используются различные картографические основы, требования к разработкам плохо формализованы, что вызывает необходимость проведения комплексного исследования в данной области. Отсутствие единой системы поддержки принятия решений управления городским хозяйством и слабая проработанность вопросов структуризации социально-ориентированных данных обуславливает необходимость совершенствования существующей системы управления городским хозяйством в области управления доступностью ОСИ и требует выработки методов получения, обработки информации.

В этой связи, тема данного диссертационного исследования, направленного на повышение эффективности, качества и оперативности принимаемых решений при управлении доступностью ОСИ для МГН за счет реализации СППР на основе разработанных в диссертации моделей и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия решений, является весьма важной и актуальной задачей социально-экономического развития муниципалитетов России.

**Цель диссертационного исследования:** повышение эффективности процесса управления городским хозяйством в области обеспечения доступности социальной инфраструктуры для МГН за счет исследования и разработки моделей и алгоритмов поддержки принятия решений и реализации на их основе СППР управления доступностью ОСИ для МГН с применением геоинформационных технологий и фолксномического подхода, а также создание имитационных моделей для проверки качества работы.

**Задачи исследования.** Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

1. Анализ существующих подходов, методов и технологий, используемых для поддержки принятия решений в области управления состоянием доступности социальной инфраструктуры города, исследование разработок управления доступностью ОСИ для МГН, определение классов разработок, формализация требований к функционалу СППР.

2. Выбор адекватных методов, направленных на обеспечение поддержки процесса управления состоянием доступности социальной инфраструктуры для МГН на основе социально-экономических пространственно-ориентированных, картографических, семантических и фолксномических данных.

3. Разработка концептуальной модели и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия решений на основе выбранных методов обработки и структуризации фолксномических данных с помощью теории анализа формальных понятий и визуализации посредством геоинформационных технологий.

4. Реализация системы поддержки принятия решений в сфере управления состоянием доступности социальной городской среды для МГН, применение разработанных математических моделей и алгоритмов интеллектуальной поддержки.

5. Апробация и исследование эффективности и качества функционирования разработанной системы поддержки принятия решений в сфере управления состоянием доступности социальной инфраструктуры для МГН на практическом примере в г. Ханты-Мансийске, а также с помощью создания имитационных моделей.

6. Внедрение разработанной системы поддержки принятия решений в процесс управления городским хозяйством г. Ханты-Мансийска в области обеспечения доступности социальной инфраструктуры для МГН, исследование результатов внедрения.

**Объект исследования** – комплексный процесс поддержки принятия решений в области управления городским хозяйством и обеспечения доступности социальной инфраструктуры для МГН.

**Предмет исследования** – методы, модели и алгоритмы информационной поддержки с применением ГИС-технологий и фолксономического подхода, а также их практическое использование для создания системы поддержки принятия решений управления доступностью ОСИ и оценки эффективности внедрения.

**Научная новизна диссертационного исследования:**

1. Выполнен анализ структур управления в организационных системах городского хозяйства, а также существующих подходов, методов и технологий, используемых на практике для поддержки принятия решений в сфере управления состоянием доступности социальной инфраструктуры города. Произведен анализ разработок в области управления доступностью ОСИ для МГН, определены классы разработок, описаны требования к необходимому функционалу.

2. Определены ключевые потребности в области поддержки принятия решений по обеспечению доступности ОСИ на различных уровнях управления городским хозяйством. Обоснован выбор технологий и методов извлечения, анализа и классификации социально-экономических, пространственно-ориентированных, семантических и фолксономических данных для информационной поддержки и повышения эффективности управления социальной инфраструктурой города.

3. Разработан новый алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений на основе совместного применения, совершенствования и адаптации технологий и методов обработки, структуризации и визуализации разнородных данных. Создана концептуальная модель СППР в области управления состоянием доступности ОСИ для МГН, отражающая декомпозицию элементов системы, связи и потоки данных.

4. Предложен подход к модернизации существующей организационной системы управления городским хозяйством в области обеспечения доступности ОСИ для МГН посредством разработки новых интерфейсов поддержки принятия решений в рамках предложенной концептуальной модели СППР. Разработаны новые математические модели представления и структуризации фолксономических данных, предложена архитектура и математическая модель функционирования СППР.

5. Разработана программная реализация системы поддержки принятия решений на основе применения сервисно-ориентированной архитектуры, разработанных моделей и алгоритмов, позволяющая увеличить качество, оперативность и эффективность принимаемых решений при управлении доступностью ОСИ для МГН.

6. Созданы компьютерные имитационные модели для проведения экспериментов, определяющих качество программного продукта, отражающие алгоритм функционирования разработанной СППР в виде СМО. Проведено исследование функциональной эффективности программно-технических средств реализации СППР, получены показатели значений для различных параметров, проведена оптимизация СППР.

7. Произведено внедрение разработанной СППР в действующую организационную систему управления социальной инфраструктурой города Ханты-Мансийска. Осуществлена практическая верификация теоретических положений и алгоритмов, выполнена оценка результата внедрения и эксплуатации СППР. Произведена исследование эффективности и качества работы СППР, приведен аналитический, вычислительный и графический метод оценки.

**Теоретическая значимость работы** заключается в предложенных математических моделях и алгоритмах структуризации и представления разнородных социально-ориентированных данных, в развитии на их основе технологии интеллектуальной поддержки при управлении организационными системами городского хозяйства, реализованной в виде

СППР, позволяющей повысить качество принимаемых решений при управлении доступностью ОСИ для МГН, а также в разработанных компьютерных имитационных моделях для комплексной оценки эффективности СППР.

**Практическая значимость работы** заключается в повышении эффективности принятия решений в области управления доступностью ОСИ для МГН за счет применения разработанных моделей и алгоритмов в реализации и внедрении разработанной системы поддержки принятия решений в организационную систему управления городским хозяйством Ханты-Мансийска. Интерфейс интеллектуальной поддержки служит для удовлетворения потребностей в получении формализованных пространственных данных, в качестве инструмента географического ориентирования, как информационно-справочная система поддержки принятия решений, обеспечивающая возможности социального обмена информацией. Система используется органами муниципального управления для принятия управленческих решений в отношении обеспечения информационной и физической доступности объектов социальной инфраструктуры, а также МГН в качестве инструмента пространственного ориентирования, внедрена в работу регионального общественного движения инвалидов-колясочников Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Преобразование» и в Федеральное учреждение Ханты-Мансийский филиал ФАУ «Главгосэкспертиза России» в качестве системы поддержки принятия решений в области доступности ОСИ для МГН.

**Методы исследования.** Исследование выполнено с использованием методов теории управления системами, теории принятия решений, методов автоматической обработки текста, методов теории автоматического управления, теории проектирования информационных систем, обработки изображений, теории множеств, системного анализа, теории анализа формальных понятий, методов теории графов, объектно-ориентированных методов анализа и проектирования ИС, математического и имитационного моделирования, геоинформационных технологий. Для проведения экспериментов и обработки их результатов использовались методы вариационного исчисления, теории оптимизации и объектно-ориентированного программирования.

**Достоверность и обоснованность** научных положений, выводов обеспечивается корректным применением использованных методов, строгими доказательствами всех утверждений, согласием вычислительных экспериментов между теоретическими положениями и результатами, что подтверждается результатами научных работ исследования, апробацией на научных конференциях, положительными итогами использования практических результатов в виде программного продукта «СППР в управлении социальной инфраструктурой города в области доступности ОСИ для МГН [geowheel.ru](http://geowheel.ru)», а также патентом и свидетельствами о государственной регистрации баз данных и программ для ЭВМ. Все результаты, выносимые на защиту, являются новыми и получены автором лично.

**Апробация результатов работы.** Результаты работы докладывались на 12 всероссийских и международных научно-практических конференциях (приведены в списке публикаций). Результаты диссертационного исследования отражены в научно-исследовательских отчетах в рамках грантовой поддержки научными и инновационными фондами РФ: Грант РФФИ №15-41-00092 «Фолксномический подход в разработке социально-ориентированных геоинформационных систем», грант программы Умник Фонда инноваций № 4073ГУ1/2014 «Интегрирование виртуальных 3D панорам в информационные системы для маломобильных групп населения», грантом конкурса Департамента экономического развития ХМАО – Югры «Золотая инновация», что показывает высокую заинтересованность в проведенных исследованиях и прикладных результатах. В рамках пленарных заседаний с представителями маломобильных групп населения был создан ежегодный семинар по развитию доступности ОСИ для МГН в ХМАО-Югре. Разработанная СППР была внедрена в работу и активно используется органами власти и ведомствами, учреждениями ЖКХ и другими организациями, а также физическими лицами.

**Публикации.** Полученные научные результаты изложены в 28 опубликованных работах, из них 8 работ в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 1 в зарубежном издании, входящем в рецензируемую международную базу данных SCOPUS, 1 учебное издание, имеется свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014616827 от 18 января 2014 г. Список публикаций приведен в конце автореферата.

**Личный вклад автора.** Все основные результаты получены автором лично, в частности, проведенная формализация структур управления городским хозяйством в области обеспечения доступности ОСИ для МГН, математическая модель анализа и классификации фолксономических данных с использованием теории анализа формальных понятий, алгоритм и концептуальная модель технологии информационной поддержки принятия решений в области управления состоянием доступности ОСИ для МГН на основе геоинформационных технологий, программная реализация системы поддержки принятия решений в области управления состоянием доступности ОСИ для МГН, результаты оценки качества функционирования программной реализации с помощью теории СМО, результаты внедрения, апробации и комплексной оценки общей эффективности СППР.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка в алфавитном порядке. Объем диссертации составляет 228 страниц, включая 64 рисунка, 14 таблиц и список литературы из 238 наименований и 3 приложения.

#### **На защиту выносятся:**

1. Результаты анализа структур управления в организационных системах городского хозяйства, а также существующих подходов, методов и технологий, используемых на практике для поддержки принятия решений в сфере управления состоянием доступности социальной инфраструктуры города. Результаты анализа разработок в области управления доступностью ОСИ для МГН, формализованные классы разработок, требования к необходимому функционалу СППР. (соответствует п. 1 паспорта специальности 2.3.4).

2. Новый алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений на основе совместного применения методов обработки, структуризации и визуализации разнородных данных, включая теорию анализа формальных понятий и геоинформационные технологии. Концептуальная модель системы поддержки принятия решений в области управления состоянием доступности ОСИ для МГН, отражающая компоненты системы, связи элементов, потоки и наборы данных. (соответствует п. 3 паспорта специальности 2.3.4).

3. Новый интерфейс поддержки принятия решений, направленный на модернизацию существующей организационной системы управления городским хозяйством в области обеспечения доступности ОСИ для МГН с использованием разработанной концептуальной модели СППР. Новые математические модели представления и структуризации фолксономических данных, математическая модель функционирования СППР. (соответствует п. 7 паспорта специальности 2.3.4).

4. Оригинальная программная реализация системы поддержки принятия решений на основе применения сервисно-ориентированной архитектуры, разработанных моделей и алгоритмов, внедренная в структуру управления городским хозяйством Ханты-Мансийска, обеспечивающая увеличение качества, оперативности и эффективности принимаемых решений при управлении доступностью ОСИ для МГН. (соответствует п. 4 паспорта специальности 2.3.4).

5. Компьютерные имитационные модели, отражающие алгоритм функционирования разработанной СППР в виде СМО, обеспечивающие проведение экспериментов, определяющих качество программного продукта. Критерии оценки эффективности, качества и надежности разработанной СППР, аналитический, вычислительный и графический метод оценки результата внедрения и эксплуатации СППР. (соответствует п. 2 паспорта специальности 2.3.4).

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность темы, определена цель и задачи диссертационной работы, сформулированы научная новизна и основные положения, выносимые на защиту, методы исследования, используемые в работе, обоснована научная и практическая значимость, раскрывается содержание основных разделов.

**В первой главе** содержится обзор основных понятий предметной области исследования, результатов анализа разработок исследуемой области. Рассматриваются подходы к управлению в социально-ориентированных экономических системах городского хозяйства, описана область применения систем поддержки принятия решений. Описана структура социально-ориентированных данных об объектах социальной инфраструктуры города, организованных по принципу фолксномии. Схема, отражающая цепочки взаимосвязанных компонентов и методов необходимых для реализации СППР управления доступностью ОСИ для МГН представлена на Рисунке 1.

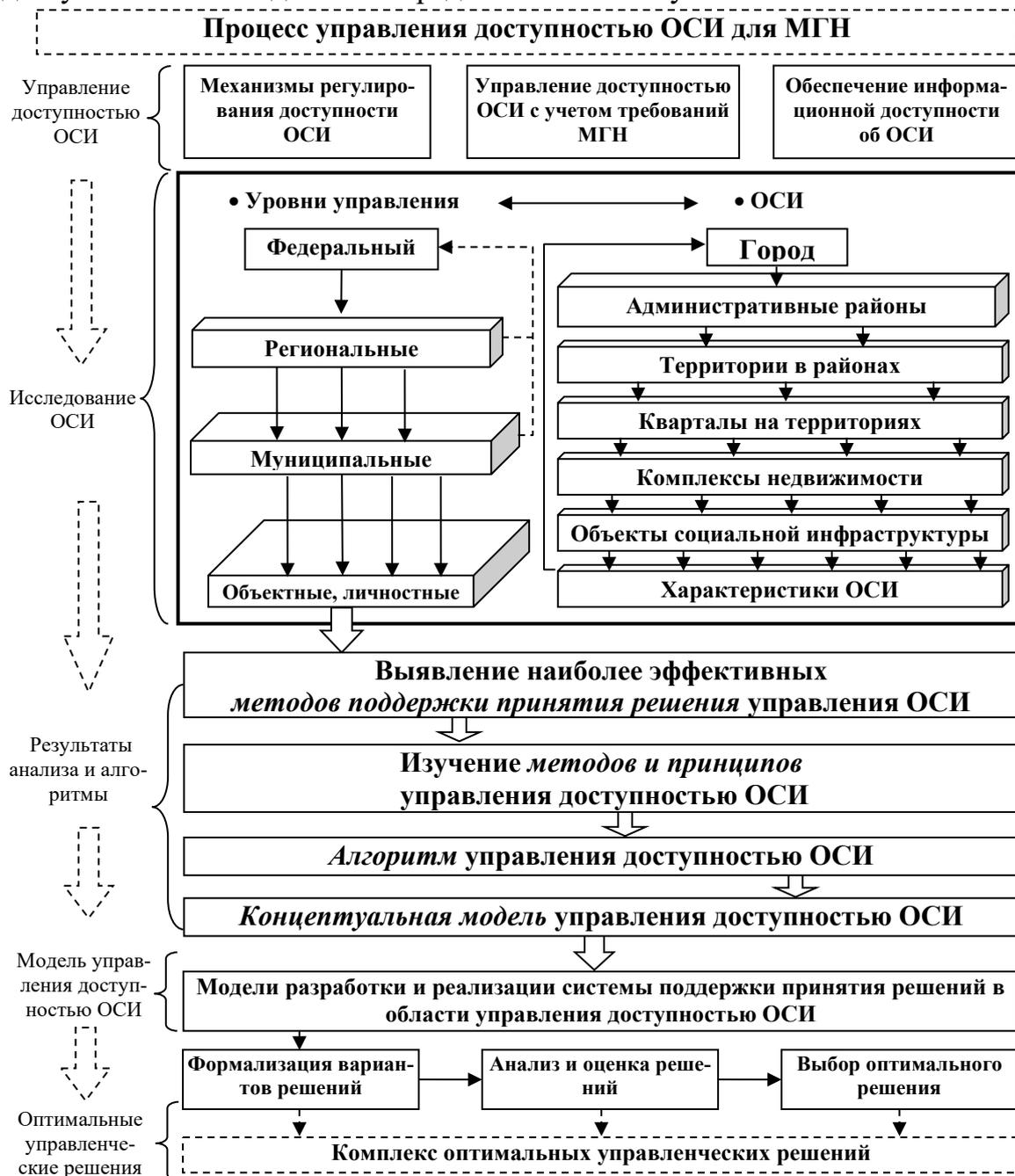


Рисунок 1. Структурная схема разработки системы поддержки принятия решений в области управления доступностью ОСИ

Обеспечение достоверности и точности принимаемых управленческих решений возможно достичь за счет разработки моделей и алгоритмов поддержки принятия решений в управлении доступностью ОСИ с учетом требований адаптации для мобильных групп населения, объективной оценки уровня доступности и ключевых характеристик ОСИ.

Город предлагается рассматривать как искусственно созданную сложную организационную систему для реализации расширяющихся потребностей населения. Городское хозяйство, включая элементы городской среды, ОСИ и население возможно представить с помощью теории организационных систем. В управлении ОСИ отсутствует эффективный экономический механизм стратегического партнерства органов власти, управляющих компаний, нет качественного инструмента информационной поддержки граждан относительно характеристик доступности ОСИ. Критерием доступности ОСИ принято считать комплекс параметров ОСИ, таких как наличие специально оборудованных конструкций (пандусов, поручней, дверей и пр.), по которым в общемировой практике принято разделять ОСИ на три категории доступности: свободный доступ, затрудненный доступ, доступ невозможен.

Подробный анализ информационных ресурсов (более 300 разработок), направленных на обеспечение доступности ОСИ для МГН, позволил определить принципы и методы построения подобных систем, изучить их объектные модели, выявить наиболее востребованные и социально значимые услуги, оказываемые в сети интернет. Описаны и формализованы классы ресурсов для людей с ограниченными возможностями. Сформулированы требования к функционалу СППР для управления городским хозяйством в области обеспечения доступности ОСИ, направленной на обеспечение качественного новых социальных эффектов в сфере формирования безбарьерной городской среды. Исходя из результатов проделанного анализа, выполнена научная постановка задачи разработки моделей и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия решения в области управления доступностью ОСИ для МГН на основе ГИС-технологий.

**Вторая глава** посвящена разработке моделей и алгоритмов, направленных на повышение эффективности управления городским хозяйством в области обеспечения доступности социальной инфраструктуры для МГН. Описана разработка гибридной математической модели анализа и классификации социально-ориентированных данных, организованных по принципу фолксономии с помощью применения теории АФП. Описан алгоритм, разработана концептуальная модель (Рисунок 2), создан интерфейс системы информационной поддержки принятия решений в области управления состоянием доступности ОСИ для МГН на основе ГИС-технологий и фолксономического подхода.

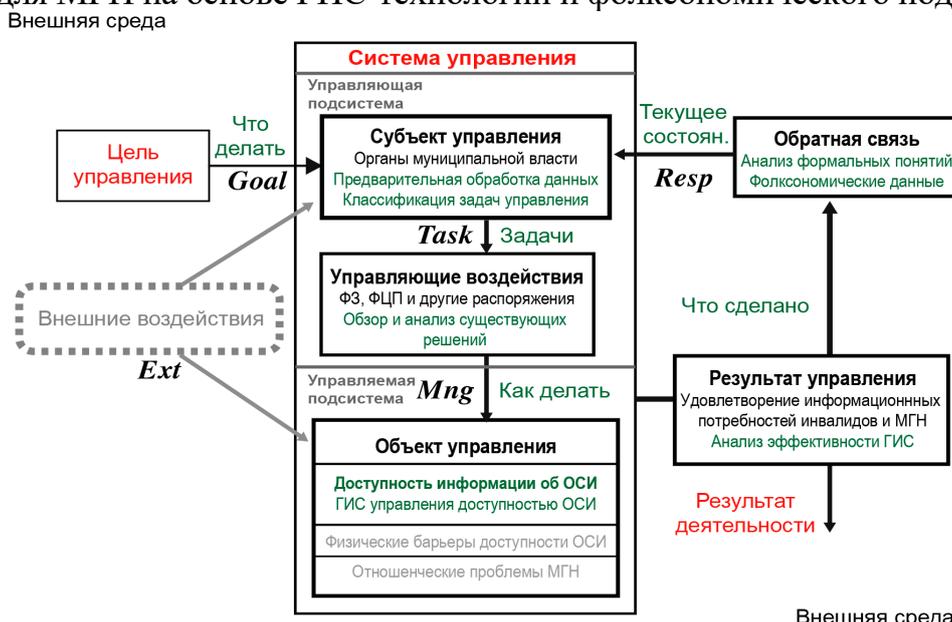


Рисунок 2. Концептуальная модель процесса управления доступностью ОСИ

Предложена кибернетическая модель управления доступностью ОСИ для МГН (Рисунок 3). Объектом управления является процесс управления доступностью ОСИ для МГН, в частности при формировании плана развития городских территорий в соответствии с федеральными и муниципальными требованиями к организации доступной среды в части информационного и непосредственного (физического) доступа к ОСИ. Механизмом управления является система управления доступностью ОСИ для МГН, в которой на основе стандартов и требований, выраженных в том числе в требованиях законодательных органов власти и обратной связи от МГН (источники требований), с учетом текущего уровня доступности состояния городской среды оказывается управляющее воздействие на объект управления.

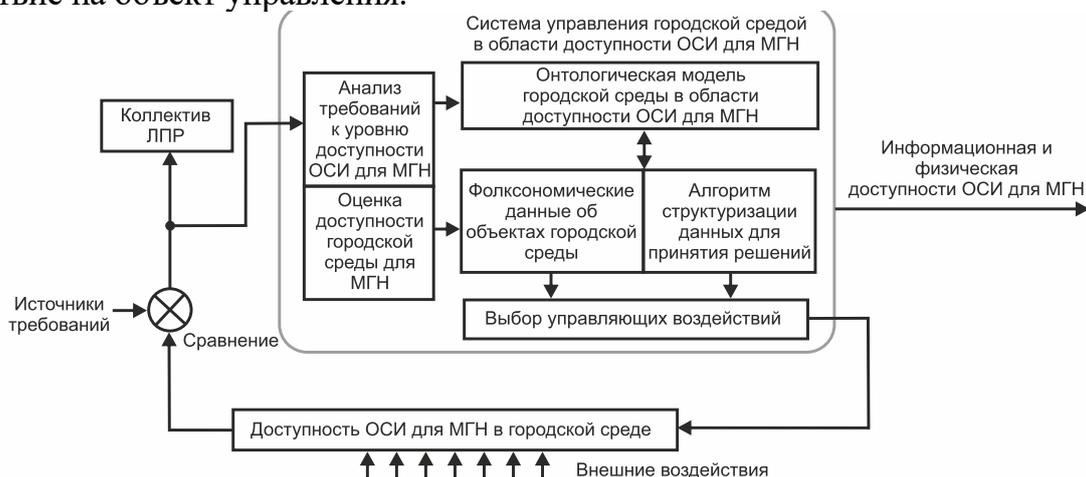


Рисунок 3. Кибернетическая модель управления доступностью ОСИ для МГН

Предложена формальная модель онтологии системы управления городской средой в области доступности ОСИ для МГН (Рисунок 4):

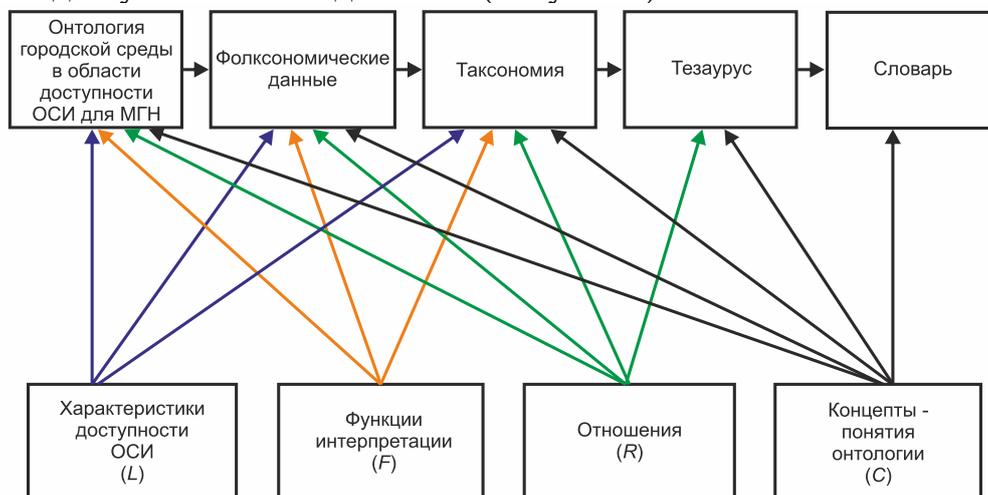


Рисунок 4. Формальная модель онтологии системы управления городской средой в области доступности ОСИ для МГН

$$ON = \langle C, R, L, F_C, F_{LC}, F_{LR}, \rangle, \quad (1.1)$$

где  $C = \{c_1, \dots, c_m\}$  – конечное множество концептов (понятий) в онтологии, представляющих собой самостоятельные единицы информационного пространства, включая ОСИ и другие объекты городской среды.

$R = \{r_1, \dots, r_m\}$  – конечно множество отношений  $r_i(c_x, c_y)$ , попарно связывающих концепты между собой и определяющие возможные пути движения по содержанию.

$L = \{l_1, \dots, l_m\}$  – конечное множество лексических меток, заключающих данные о характеристиках доступности ОСИ, имеющие дискретный характер.

$F_C \subseteq C \times C$ ,  $F_C \in R$  – множество функций интерпретации, которые позволяют корректно истолковать различные познавательные сущности и сопоставлять им концепты из  $C$  (позволяют связать когнитивную и онтологическую модели).

$F_{LC} \subseteq L \times C$  – отношение инцидентности между множествами  $L$  и  $C$ .

$F_{LR} \subseteq L \times R$  – отношение инцидентности между множествами  $L$  и  $R$ .

Одной из проблем в процессе управления городской средой в области доступности ОСИ для МГН является выявление несоответствий требований, федеральных и муниципальных стандартов по отношению к определенному ОСИ, требованиям, выдвигаемыми МГН. В диссертационной работе вышеуказанная проблема решена путем применения технологий онтологического моделирования, с учетом требований МГН при обеспечении доступности ОСИ. Данная онтологическая модель определяет необходимые характеристики доступности ОСИ, в соответствии с требованиями, предъявляемыми МГН.

Семантические метаданные, описывающие контекст объекта информационной системы с помощью понятий предметной области, на языке описания онтологии не могут быть созданы без существующего описания знаний предметной области. Напомним,  $O = \{o_1, \dots, o_i\}$  – множество объектов ИС. Используя формулировку описания онтологии  $ON$  (1.1), можно выразить семантические метаданные для объекта  $o_q \in O$  в виде конечного множества  $MD(o_q)$ , содержащего упорядоченные пары  $(a_{qm}, b_{qm})$ .

$$MD(o_q) = \{(a_{q1}, b_{q1}), \dots, (a_{qm}, b_{qm})\}, \quad (1.2)$$

где  $a_{qm} \in A$  – понятия из онтологии, относящиеся к объекту описания  $o_q$ ,

$b_{qm} \in (0; 1]$  – коэффициент, обозначающий релевантность понятия  $a_{qm}$  объекту  $o_q$ .

Отличительной особенностью предложенного метода является использование онтологической модели фолксономических данных и метаданных об ОСИ в качестве адаптивного инструмента структуризации и методической базы для поддержки процесса управления информационной доступностью ОСИ для МГН. С помощью дискриминантного анализа данных об ОСИ возможно классифицировать ОСИ по шкале от 1-5 по степени доступности исходя из признаков и характеристик элементов ОСИ. Так, имея общее множество ОСИ  $O_n$  можно разделить на 3 группы, определяющие уровень доступности:

1.  $O_1$  – ОСИ с уровнем доступности от 3 до 4;
2.  $O_1$  – ОСИ с уровнем доступности от 4 до 4,75;
3.  $O_1$  – ОСИ с уровнем доступности от 4,75 до 5.

Исходные данные представлены в виде матриц  $Y^{(1)}$ ,  $Y^{(2)}$ ,  $Y^{(3)}$ ,  $Y^{(0)}$  размером  $(h_n \times 3)$ .

$$Y^{(1)} = \begin{pmatrix} y_{1,1}^{(1)} & y_{1,2}^{(1)} & y_{1,3}^{(1)} \\ y_{2,1}^{(1)} & y_{2,2}^{(1)} & y_{2,3}^{(1)} \\ \dots & \dots & \dots \\ y_{h,1}^{(1)} & y_{h,2}^{(1)} & y_{h,3}^{(1)} \end{pmatrix}; \quad Y^{(2)} = \begin{pmatrix} y_{1,1}^{(2)} & y_{1,2}^{(2)} & y_{1,3}^{(2)} \\ y_{2,1}^{(2)} & y_{2,2}^{(2)} & y_{2,3}^{(2)} \\ \dots & \dots & \dots \\ y_{h,1}^{(2)} & y_{h,2}^{(2)} & y_{h,3}^{(2)} \end{pmatrix};$$

$$Y^{(3)} = \begin{pmatrix} y_{1,1}^{(3)} & y_{1,2}^{(3)} & y_{1,3}^{(3)} \\ y_{2,1}^{(3)} & y_{2,2}^{(3)} & y_{2,3}^{(3)} \\ \dots & \dots & \dots \\ y_{h,1}^{(3)} & y_{h,2}^{(3)} & y_{h,3}^{(3)} \end{pmatrix}; \quad Y^{(0)} = \begin{pmatrix} y_{1,1}^{(0)} & y_{1,2}^{(0)} & y_{1,3}^{(0)} \\ y_{2,1}^{(0)} & y_{2,2}^{(0)} & y_{2,3}^{(0)} \\ \dots & \dots & \dots \\ y_{h,0,1}^{(0)} & y_{h,0,2}^{(0)} & y_{h,0,3}^{(0)} \end{pmatrix}.$$

где  $Y^{(1)}$ ,  $Y^{(2)}$ ,  $Y^{(3)}$  – матрицы, содержащие признаки ОСИ (характеристики доступности элементов ОСИ, метаданные, фолксономические данные, данные информационной открытости и пр.).

$Y^{(0)}$  – матрица новых  $h_0$  - объектов, подлежащих классификации (размерность матрицы  $h_0 \times 3$ ).

На основании исходных данных, формируется перечень доступных вариантов повышения уровня доступности городской среды с учетом требований МГН и федеральных и муниципальных стандартов; средний балл, которым наделен ОСИ по каждой характеристике доступности и другим признакам, определяющим объект как доступный с точки зрения МГН; рекомендации для поддержки принятия решений относительно управления городской средой в области доступности ОСИ.

Информационная система, построенная на онтологии, требует подходов к описанию семантики объектов ИС в терминах онтологии. Предоставление данных для поддержки процесса управления городской средой в области обеспечения доступности ОСИ для МГН осуществляется за счет использования адаптивного алгоритма, использующего семантическую сеть с различными отношениями (Рисунок 5).

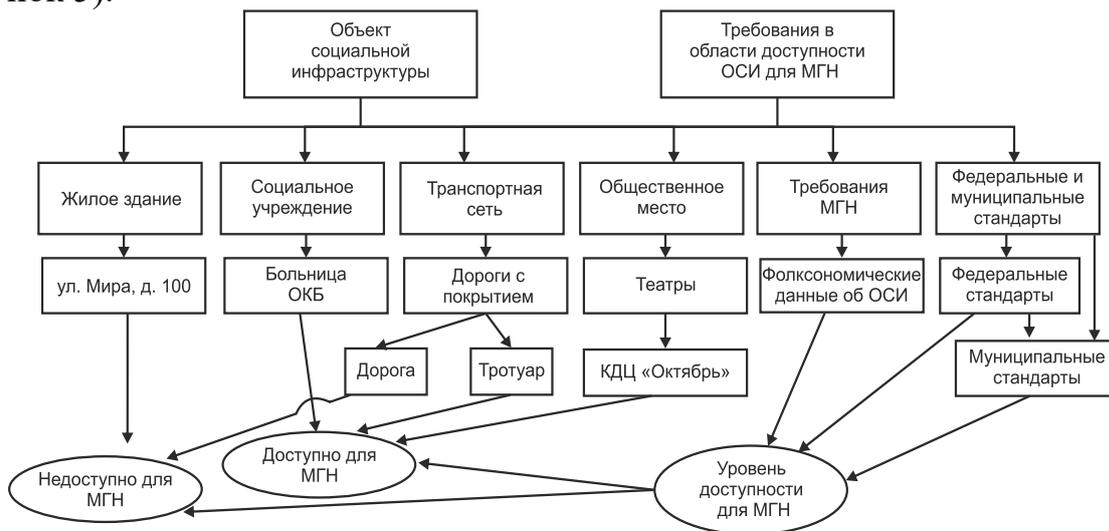


Рисунок 5. Фрагмент семантической сети системы управления ОСИ для МГН

Теория анализа формальных понятий (АФП) является одним из возможных средств извлечения онтологических понятий и их иерархий. При формировании «скелета» онтологии с помощью АФП, для обозначения отношений между множеством ОСИ –  $O = \{o_i\}_{i=1}^I$  и множеством признаков ОСИ –  $P = \{p_j\}_{j=1}^J$  введем множество  $Y = \{ \langle o_i, p_j \rangle \}_{i=1, j=1}^{IJ}$ , которое содержит информацию о том, каким набором из множества признаков наделен каждый объект из множества ОСИ.  $Y \subseteq O \times P$ , отношение  $\langle o_i, p_j \rangle$  означает, что объект  $o_i$  обладает признаком  $p_j$ . Формальный контекст (Множество объектов и множество их признаков) может быть выражен как  $\mathbb{K} = (O, P, Y)$  и представлен в виде бинарной матрицы (Таблица 1).

Таблица 1. Частный случай бинарной матрицы (ОСИ и их признаки)

№	$O$ – множество объектов $P$ – множество признаков	$p_1$ Здание	$p_2$ Дорога	$p_3$ Социальный	$p_4$ Жилой	$p_5$ Доступный для МГН
$o_1$	Окружная клиническая больница	1	0	1	0	1
$o_2$	ЮГУ	1	0	1	0	1
$o_3$	Торговый центр «Гостиный двор»	1	0	1	0	0
$o_4$	Улица Мира	0	1	1	0	1
$o_5$	Мира, д. 100	1	0	1	1	0
$o_6$	Светофор Красноармейская/Чехова	0	1	1	0	1
$o_7$	Калинина, д. 26	1	0	0	1	1

Имея два множества (объекты и их признаки), а также отношение между ними, с помощью операторов Галуа можно сформировать формальные понятия. Для произвольных  $A \subseteq P$  и  $B \subseteq O$  определены операторы Галуа:

$$A' = \{p \in P \mid \forall o \in A: (o Y p)\};$$

$$B' = \{o \in O \mid \forall p \in B: (o Y p)\}.$$

$A'$  – множество признаков, которыми обладают все объекты из множества  $A$ .  $B'$  – множество объектов, которые обладают всеми признаками из множества  $B$ .

С помощью диаграмм Хассе можно наглядно представить построенные решетки формальных понятий. Диаграммы Хассе представляют собой граф покрытия отношения «быть более общим понятием» (Рисунок 6).

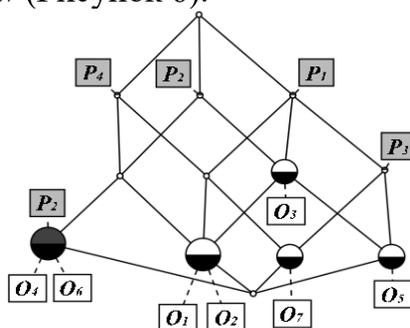


Рисунок 6. Частный случай решетки формальных понятий (ОСИ и их признаки)

Узлами с наибольшим количеством связей являются формальными понятиями, сформированными в результате построения графа. Применительно к рассматриваемому случаю ОСИ и их признаков СППР для МГН можно назначить названия формальных понятий следующим образом:

1.  $(o_3)$  – ОСИ, не доступные для МГН;
2.  $(o_1, o_2)$  – ОСИ, доступные для МГН;
3.  $(o_5)$  – жилые дома, не доступные для МГН;
4.  $(o_7)$  – жилые дома, доступные для МГН;
5.  $(o_4, o_6)$  – локации, доступные для МГН.

Критерием оценки полноты данных множества формальных понятий в исследовании является факт того, что любой ОСИ должен быть наделен хотя-бы одним признаком. Для определения связи между экземплярами понятий, для каждой пары понятий строится матрица:

$$D^{AB} = \{v_{ij}\}_{i=1,AN}^{j=1,BN}, v_{ij} = \begin{cases} 1, & A_i \rightarrow F = B_j \\ 0, & A_i \rightarrow F \neq B_j \end{cases}$$

где  $F$  – атрибут понятия  $A$ , через который реализуется ассоциация или агрегация с понятием  $B$ ,  $AN$  – число экземпляров понятия  $A$ ,  $BN$  – число экземпляров понятия  $B$ . Элемент  $v_{ij}$  определяет связь между  $i$ -м экземпляром понятия  $A$  и  $j$ -м экземпляром понятия  $B$ . Критерий полноты можно выразить следующим образом:

$$\forall i \exists j \text{ такое, что } v_{ij} = 1, \text{ а также } \forall j \exists i \text{ такое, что } v_{ij} = 1$$

За основу оценки эффективности предложенных моделей и алгоритмов были взяты критерии, отраженные в последней редакции государственной программы (ГП) Ханты-Мансийского автономного округа - Югры «Доступная среда в Ханты-Мансийском автономном округе - Югре на 2016-2020 годы».

**Третья глава** посвящена разработке и программной реализации социально-ориентированной системы поддержки принятия решений на базе геоинформационных технологий, обеспечивающей инструмент управления доступностью ОСИ для МГН, а также средство информационной поддержки, управления, коммуникации граждан и органов власти. Описано использование предложенных алгоритмов и методов, направленных

ных на реализацию технологии интеллектуальной поддержки в виде программного продукта и составляющих его модулей. В представленной модели можно выделить пять основных компонентов: СУБД, картографическая основа, CMS (системы управления контентом), приложения, Web-Клиент. Структурно-функциональная модель системы представлена на рисунке 7.

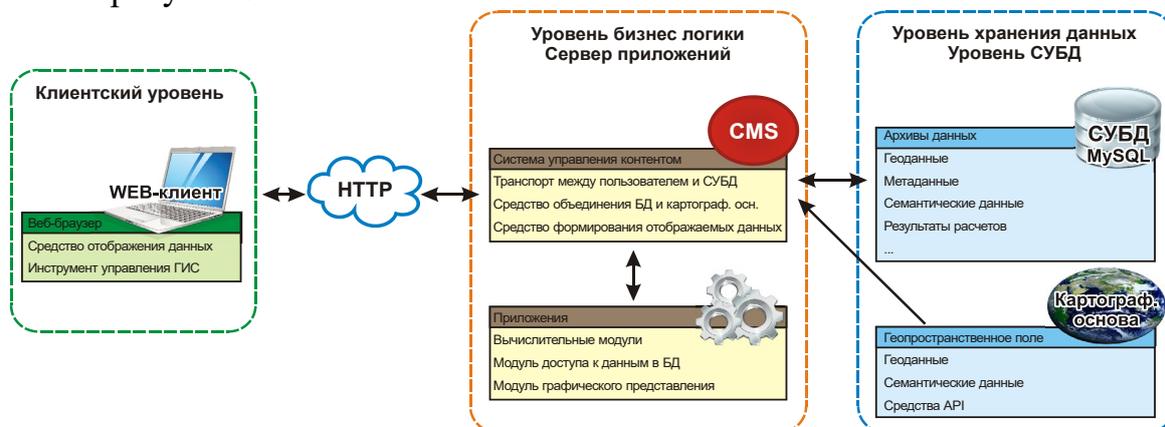


Рисунок 7. Структурно-функциональная модель

Основные средства разработки: СУБД MySQL - хранение основного массива данных и картографических слоев; InstantCMS - система управления контентом; API Яндекс.Карты - инструментарий визуализации и представления геоданных; PHP - основной язык разработки; Javascript - язык для разработки клиентской части приложения.

Представлена программная реализация системы поддержки принятия решений в области управления состоянием доступности ОСИ для МГН на примере города Ханты-Мансийска - [www.geowheel.ru](http://www.geowheel.ru). На рисунке 8 представлен внешний вид СППР, состоящий из ряда программных модулей: модуль социальной сети, обеспечивающий взаимодействие пользователей (Рисунок 9), информационно-аналитический модуль реализован для получения структурированных данных о доступности ОСИ (Рисунок 10), модуль трехмерной визуализации обеспечивает исчерпывающую информацию о перемещении в зоне ОСИ (Рисунок 11).



Рисунок 8. Снимок экрана созданной СППР geowheel.ru



Рисунок 9. Модуль социальной сети



Рисунок 10. Информационно-аналитический модуль

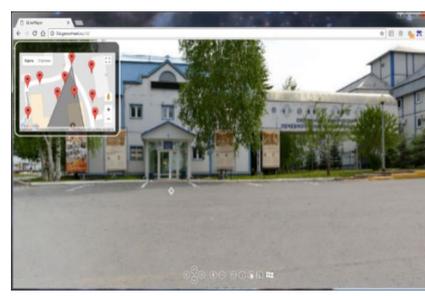


Рисунок 11. Модуль трехмерных панорам

Приведены результаты оценки функциональной эффективности программно-технической составляющей СППР с помощью теории систем массового обслуживания (СМО), создания имитационных моделей и проведения анализа возможных сценариев и условий работы (Рисунок 12). Для создания компьютерной имитационной модели выбрано ПО AnyLogic поддерживающее все основные метода моделирования. Создана модель, протестирована работа модели, устойчивость, адекватность, выявлена чувствительность, произведена калибровка, проведен ряд экспериментов, позволивших провести оптимизацию разработанной СППР – Рисунок 13.

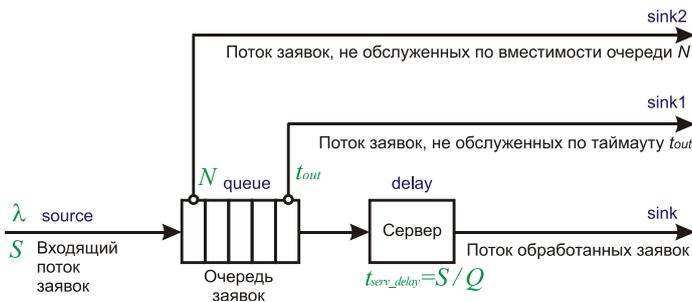


Рисунок 12. Схема имитационной модели СППР в виде СМО

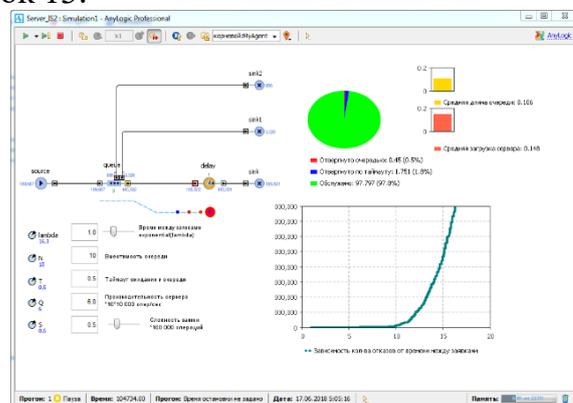


Рисунок 13. Снимок экрана окна эксперимента в AnyLogic

Предложено несколько уровней количества отказов системы  $L$ , при котором при фиксированной сложности  $S_{moda} = \pm 2000$  опер. определен критический показатель интенсивности поступления заявок  $\lambda$  (таблица 2).

Таблица 2. Пороговые значения интенсивности  $\lambda$  для уровней отказов

Кол-во отказов, $L$	$L = 10\%$	$L = 30\%$	$L = 50\%$	$L = 70\%$	$L = 90\%$	$L = 100\%$
Интенсивность, $\lambda$	4,45	6,89	8,33	8,93	9,53	$\geq 10,68$

При фиксированном показателе параметра интенсивности поступления заявок  $\lambda = 2$  и распределённых по экспоненциальному закону интервалов времени между поступлениями заявок были определены критические показатели сложности заявки  $S$  для установленных уровней отказов (Таблица 3).

Таблица 3. Пороговые значения сложности  $S$  для уровней отказов

Кол-во отказов, $L$	$L = 10\%$	$L = 30\%$	$L = 50\%$	$L = 70\%$	$L = 90\%$	$L = 100\%$
Мода сложности, $S_{moda}$	2463	4078	4201	4352	4576	4670

В четвертой главе описывается внедрение разработанной СППР управления доступностью ОСИ для МГН в систему управления городским хозяйством Ханты-Мансийска, приведено исследование вопросов, связанных с апробацией и оценкой эффективности. Приведены результаты аналитического, вычисленного и графического методов оценки качества разработанной СППР. Предложены варианты повышения эффективности СППР, а также перспективные направления улучшения функциональных характеристик разработки.

Эффект от внедрения разработанной СППР обусловлен двумя составляющими: повышение эффективности управления городской средой в области доступности ОСИ для МГН, снижение времени выполнения операций по поиску информации о характеристиках доступности и возможных вариантах доступа к ОСИ. В результате внедрения СППР на муниципальном уровне в г. Ханты-Мансийске значительно выросла доля ОСИ, характеристики которых соответствуют требованиям МГН и законодательным стандартам (Рисунок 14).

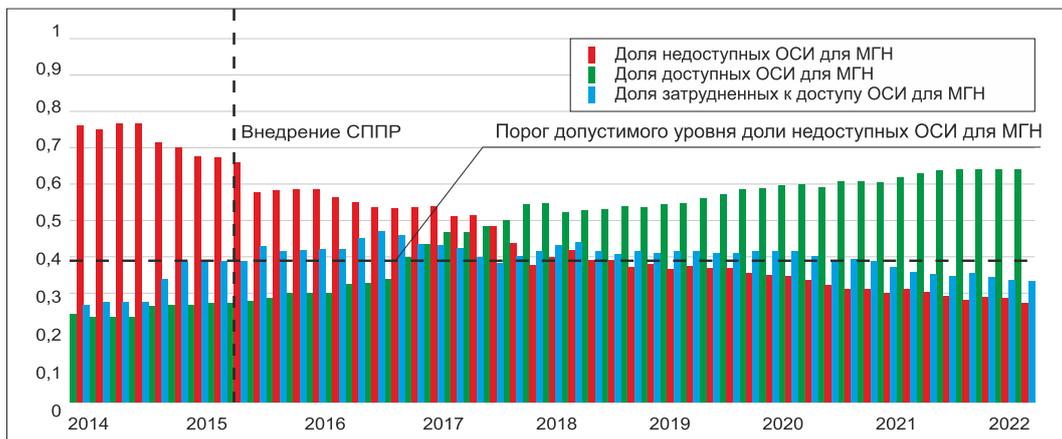


Рисунок 14. Динамика изменения доступных ОСИ для МГН в Ханты-Мансийске

Как показано на графике (Рисунок 15), доля недоступных объектов ОСИ для МГН в период с 2015 по 2022 года сократилась в 2,8 раза, а в численном эквиваленте с 215 недоступных ОСИ уменьшилась до 75. Доля доступных объектов ОСИ для МГН за тот же период увеличилась в 2,6 раза, что в численном эквиваленте составило увеличение количества доступных ОСИ с 68 до 177. Количество затрудненных к доступу ОСИ для МГН претерпело незначительные изменения в сторону уменьшения и изменилось в количественном эквиваленте с 89 до 78, и 0,9 раза в относительной величине. Порог установленный требованиями МГН и законодательными стандартами по количеству недоступных ОСИ в городской среде, с момента внедрения СППР в начале 2015 был достигнут к концу 2017, что позволяет сделать вывод о том, что внедрение разработанной системы за 1,5 года позволило обеспечить выполнение ключевых показателей в области доступности ОСИ, пересмотр и модернизацию структуры управления городской средой, а также повышение эффективности управления городским хозяйством в области обеспечения доступности ОСИ для МГН при численности населения в 100 тыс. чел.

Эффект от снижения времени выполнения операций по поиску информации о характеристиках доступности и возможных вариантах доступа к ОСИ выражен в более результативном осуществлении процесса. В ходе исследования замерено среднее время по осуществлению поиска информации о характеристиках доступности для одного ОСИ одним пользователем СППР в облачном режиме через web-среду. Результаты приведены в виде графика (Рисунок 15), где по оси ординат отмечено время (в минутах), по оси абсцисс – номер эксперимента.

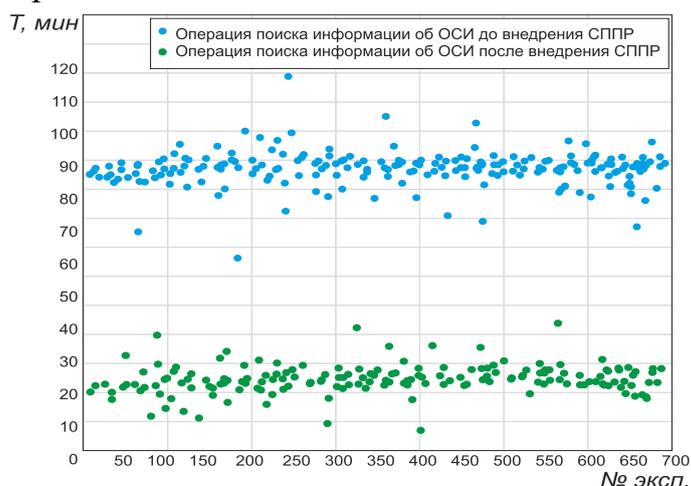


Рисунок 15. Среднее время поиска информации о характеристиках доступности ОСИ до и после внедрения системы

Среднее арифметическое время операции по поиску информации о характеристиках доступности ОСИ до внедрения разработанной СППР составило 87 минут, после

внедрения – 22 минуты. Таким образом, повышение эффективности, выраженное в сокращении времени выполнения задачи по поиску информации о характеристиках доступности ОСИ, в относительной величине, изменилось в 4 раза.

Внедрение СППР позволило упразднить ряд административных задач, включающих паспортизацию ОСИ, детальный анализа характеристик доступности, обеспечение обратной связи от МГН, поддержки принятия решений в области модернизации городской среды, выявление «серых» зон, требующих особого внимания и применения управленческих решений. Для МГН система служит средством пространственного ориентирования в городской среде, позволяет формировать маршруты передвижения, обеспечивая визуализацию уровня доступности ОСИ в виде цифрового города с помощью геоинформационных технологий. СППР отражает актуальную на текущий момент информацию о городской среде, обеспечивает информационную поддержку МГН. Сводный положительный эффект от внедрения приведен в таблице 4.

Таблица 4. Сводный положительный эффект от внедрения СППР

ОСИ	МГН	Органы муниципального управления
Открытость информации о доступности ОСИ для МГН		
Доступность информации о характеристиках ОСИ	Информационная поддержка в области пространственного ориентирования в городской среде с точки зрения доступности ОСИ для МГН → эффективное расходование времени на поиск информации об ОСИ	Повышение эффективности управления городской средой в области доступности ОСИ для МГН, взаимодействия органов муниципального управления, контроля исполнения, паспортизации ОСИ, обратной связи от МГН → организационная эффективность управления доступностью ОСИ
Исполнение требований законодательства, МГН		
Реконструкция и строительство ОСИ с учетом требований МГН и законодательных стандартов для обеспечения физической доступности	Реализация требований в части обеспечения физической доступности ОСИ различным категориям МГН. Информирование МГН об изменении уровня доступности ОСИ. → возможность посещения, использования услуг новых и ранее недоступных ОСИ	Реализация требований законодательства в области доступности ОСИ для МГН не требует специальных затрат. Возможность использовать систему в рамках исполнения требований государственных программ по управления информационной и физической доступностью ОСИ. → экономическая эффективность → факт реализации законодательства в области реализации информационных средств обеспечения доступности ОСИ и информации о них
Применение созданных алгоритмов, моделей, технологий и пр.		
Облачный режим доступа характеристикам доступности ОСИ в интерактивной ГИС и каталогов данных	Снижение времени выполнения операций по поиску информации об ОСИ. Обеспечение связи с органами власти. Средство пространственного ориентирования в городской среде. Социальная сеть для МГН. → эффективность взаимодействия МГН с городской и социальной средами в цифровом виде	Готовое решение для исполнения ГП «Доступная среда» в части необходимости разработки информационных систем для МГН. Оптимизация процессов структуризации данных для принятия решений по управления городской средой. → организационная эффективность в области поддержки принятия решений → экономическая эффективность вследствие экономии на программно-аппаратном обеспечении

С помощью разработанных алгоритмов, моделей и технологий создана и внедрена СППР управления городской средой в области обеспечения доступности ОСИ для МГН, что позволило повысить эффективность управления организационной структурой муниципальных органов власти в части обеспечения доступности ОСИ и информации о них, с учетом требований МГН, законодательных стандартов и формулирования корректных управляющих решений.

Для оценки степени адекватности структурно-функциональных и информационно-аналитических характеристик применяемых в разработке моделей, СППР была представлена как система, функционирующая во времени и непрерывно выдающая запрашиваемую информацию. Поэтому, рассмотрение адекватности определяется тремя показателями:

- структурное соответствие;
- информационное соответствие;
- функциональное соответствие.

Показатель структурного соответствия определяется степенью связанности моделей  $C_{Str}$ , вошедших в состав СППР:

$$C_{Str} = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (k_{1i} + k_{2i}) - 2 \times N}{2 \times N^2} \right) \exp \left[ \frac{-(k_{in} + k_{out} - 2 \times N)}{3} \right],$$

где  $k_{1i}$  – количество моделей, от которых можно получить воздействие на  $i$ -ю модель;  
 $k_{2i}$  – количество моделей, на которые передается воздействие после завершения работы  $i$ -й модели;

$k_{in}$ ,  $k_{out}$  – суммарное количество точек входа и выхода по воздействию всех моделей;

$N$  – общее количество моделей в СППР.

Для получения показателя, характеризующего информационное соответствие, определяется информационное поле.

Пусть  $k_{1i}$  – количество информации, принимаемой моделью,

$k_{2i}$  – количество информации, передаваемой моделью.

Тогда оценка  $C_{inf}$  – показатель информационного соответствия:

$$C_{inf} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (k_{1i} + k_{2i}) - 2 \times N}{2 \times N^2},$$

Уровень функционального соответствия оценивается показателем:

$$C_{Func} = \frac{N_p}{N}.$$

где  $N_p$  – количество моделей участвующих в реализации целей и задач;

$N$  – общее число моделей.

При анализе показателей указанных критериев, применительно к разработанной СППР, были получены следующие значения:  $C_{Str} = 0,92$ ;  $C_{inf} = 0,98$ ;  $C_{Func} = 0,97$ . Близость данных показателей к единице свидетельствует о пригодности варианта комплексной модели СППР для выполнения поставленных целей и задач по выработке решений для обеспечения доступности ОСИ для МГН в городской среде.

На основе анализа предлагаемых управленческих решений, а также путем экспертной оценки качества решений, сделан вывод, о том что СППР имеет адекватные модели и синтезирует решения, соответствующие системе предпочтений ЛПР или иного пользователя, что делает её эффективным инструментом поддержки принятия решений по управлению доступности ОСИ для МГН, и качественным средством географического ориентирования МГН. Кроме того, СППР обеспечивает внедрение принципов корректного исполнения требований в области обеспечения доступности ОСИ для МГН в рамках деятельности муниципальных органов власти. Адекватность построенных моделей подтверждена также проверкой статистической гипотезы о равенстве коэффициентов регрессионных моделей, построенных по основной и контрольной выборкам.

Разработка и внедрение разработанной СППР для МГН позволило определить «серые» зоны в области доступности ОСИ городского хозяйства на примере Ханты-Мансийска, составить представление о причинах возникновения проблемных явлений и отдельных ОСИ остро нуждающихся в модернизации, выявить недобросовестные звенья в цепи управления доступностью ОСИ городского хозяйства, получить обратную связь от заинтересованных в улучшении состояния доступности ОСИ для МГН. Новые социальные эффекты носят характер, выраженный как в фактическом изменении состоянии городской среды в области доступности ОСИ для МГН, так и в информационном обеспечении инструментом удовлетворения информационных потребностей о ключевых характеристиках, данных об уровне доступности ОСИ, а также в виде оперативного инструмента связи с органами управления городским хозяйством и социальными службами.

Для проведения оценки качества СППР в динамике, годовые значения ключевых показателей доступности ОСИ можно представить в виде ряда последовательных этапов ( $\Delta_1, \dots, \Delta_N$ ), при этом на каждом этапе используется разработанная СППР в области обеспечения доступности ОСИ для МГН для обеспечения задач ( $OZ_1, \dots, OZ_N$ ) необходимых,

для управления городским хозяйством, получения информации, решения задач доступности ОСИ для МГН (Рисунок 16).

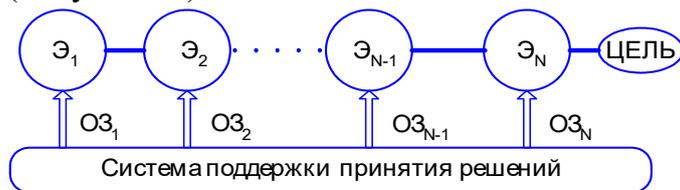


Рисунок 16. Этапы (года) эксплуатации СППР

Введен показатель  $Q_i$ , отражающий качество выполнения  $i$ -го этапа (года) использования СППР управления доступностью ОСИ для МГН в систему управления городским хозяйством. Предлагается использовать линейную аппроксимацию функции плотности вероятности показателя качества для исследования эффективности использования СППР. Оценка качества измеряется в процентной величине, то есть показатель качества является непрерывной величиной, принимающей значения от 0 до  $Q_M$ . В относительных единицах  $Q_i/Q_M$  значение показателя качества  $Q_i^*$  может изменяться от 0 до 1:

$$Q_i^* \in 0,1; i = 1, \dots, n$$

Этапы реализации (годы) являются последовательными, без обратной связи, что можно представить в виде простой Марковской цепи, что позволяет выразить  $n$ -мерную плотность вероятности показателя качества вдоль всей цепи следующим образом:

$$P(Q_0^*, Q_1^*, \dots, Q_n^*, \delta_1^*, \dots, \delta_n^*) = P(Q_0^*)P\left(\frac{Q_1^*}{Q_0^*}, \delta_1^*\right) \dots P\left(\frac{Q_n^*}{Q_{n-1}^*}, \delta_n^*\right)$$

где  $P(Q_0^*)$  – плотность распределения вероятности показателя качества на входе цепи.

В результате внедрения СППР в области управления доступностью ОСИ для МГН и использования в ходе этапов (годов), вероятность оценки качества СППР выше удовлетворительного, можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} P(Q_1^*, \delta_1, \dots, \delta_n) &= \int_{Q_{y1}^*}^1 \dots \int_{Q_{yn}^*}^1 P(Q_1^*)P\left(\frac{Q_1^*}{Q_0^*}, \delta_1\right) P(Q_2^*)P\left(\frac{Q_2^*}{Q_1^*}, \delta_2\right) \times \dots \\ &\times P\left(\frac{Q_n^*}{Q_{n-1}^*}, \delta_n\right) dQ_0^* \dots dQ_n^* \end{aligned}$$

где  $Q_0^*, Q_i^*, \dots, Q_n^*$  - значение показателя качества СППР на соответствующем этапе в относительных единицах;

$\delta_0, \delta_i, \dots, \delta_n$  - значение интенсивности влияния СППР на соответствующем этапе в относительных единицах;

$P(Q_{i-1}, \delta_i)$  - условная плотность вероятности показателя качества на  $i$ -ом этапе.

Для оценки среднего значения показателя качества использования СППР сформулировано выражение в следующем виде:

$$\begin{aligned} \bar{Q}^*(\delta_1, \dots, \delta_n) &= \int_{Q_{y1}^*}^1 \dots \int_{Q_{yn}^*}^1 Q_0 Q_1 \dots Q_n P(Q_0^o)P\left(\frac{Q_1^o}{Q_0^o}, \delta_1^o\right) \times \dots \\ &\times P\left(\frac{Q_n^*}{Q_{n-1}^*}, \delta_n^*\right) dQ_0^* \dots dQ_n^* \end{aligned}$$

Дискретная оценка показателя качества  $Q_i$ , характеризующего результат  $i$ -го этапа (года) с помощью описанных выражений может быть произведена для известного закона распределения вероятности  $P\left(\frac{Q_i^*}{Q_{i-1}^*}, \delta_i^*\right)$ .

На примере 2020 года (этапа) показана зависимость плотности вероятности качества СППР от показателя качества проведения  $i$ -го этапа с учетом различных значений показателя качества на предыдущем этапе – Рисунок 17. При фиксированном значении показателя качества СППР на предшествующем этапе  $Q_{i-1}^* = 1$  можно определить вид функции плотности вероятности показателя качества СППР на одном из этапов эксплуатации  $Q_i^*$  в зависимости от качества поддержки принятия решений  $\delta_i^*$ . На примере 2020 года (этапа) показана зависимость плотности вероятности качества и эффективности принимаемых решений от интенсивности эксплуатации СППР  $\delta_i^*$  – Рисунок 18.

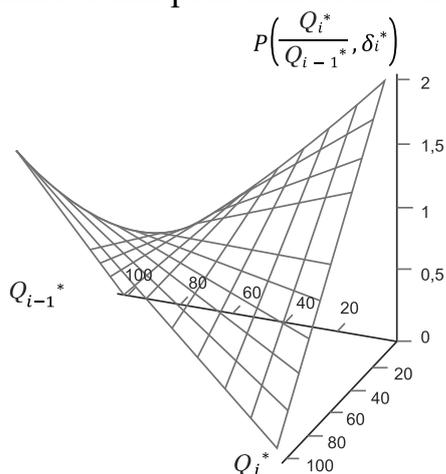


Рисунок 17. Плотность вероятности качества СППР при фиксированном (максимальном) значении интенсивности влияния СППР.

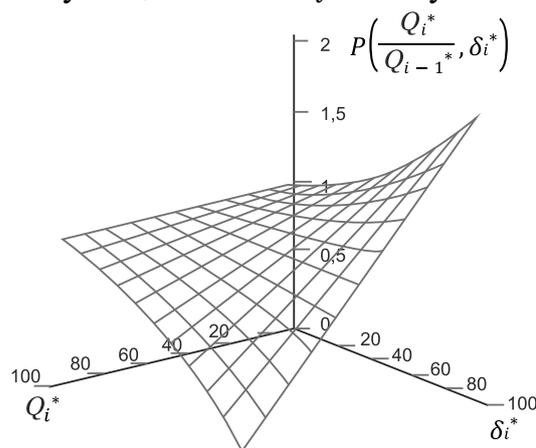


Рисунок 18. Зависимость плотности вероятности качества и эффективности принимаемых решений от интенсивности эксплуатации СППР.

Исследование поведения функции при изменении параметра интенсивности использования СППР  $\delta_i^*$  в диапазоне  $1 \geq \delta_i^* > 0$  характеризуется изменением амплитуды зависимости плотности вероятности качества СППР, при этом характер зависимости остается неизменным. При нулевой интенсивности использования СППР  $\delta_i^* = 0$  воздействие на качество принимаемых решений при управлении доступностью ОСИ для МГН СППР не оказывает.

Для определения необходимого уровня влияния использования СППР при управлении городским хозяйством введен показатель количества обращений к СППР –  $m$ . При известных значениях распределения плотности вероятности качества принимаемых решений, является возможным установление аналитических зависимостей среднего значения показателя качества и эффективности СППР  $\bar{Q}^* = f(m, \delta)$  от интенсивности использования  $\delta$  и количества обращений  $m$  (Рисунок 19).

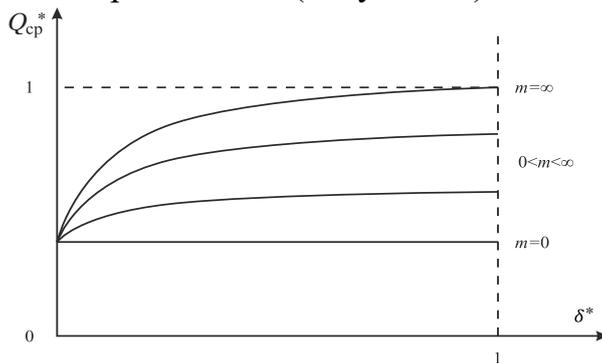


Рисунок 19. Зависимость показателя качества СППР от интенсивности.

На основе полученных данных можно произвести оценку влияния СППР на качество поддержки процесса управления обеспечения доступности ОСИ для МГН, возможно установить количество обращений  $m$  к СППР, при котором достигается требуемое среднее значение показателя качества  $Q_{\text{ср}}^*$  поддержки процесса управления городским хозяйством, то есть требования к составу и уровню информационного наполнения СППР управления доступностью ОСИ для МГН. Эксплуатация и итерационная модернизация СППР позволит оптимизировать процессы, повысить производительность труда, улучшить качество принимаемых решений, освободить от рутинных процессов, обеспечить детальный анализ уровня доступности ОСИ, выявить нарушения, значительно экономить время в динамике усложняющихся задач социально-экономического развития, что положительно отразится на жизни граждан и работе органов власти.

**В заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы, дана итоговая оценка результатов исследования, роли в научном сообществе и влиянии на социально-экономическую сферу.

**Приложения** содержат акты внедрения и свидетельство регистрации программ.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенные в диссертационной работе исследования, связанные с разработкой моделей и алгоритмов поддержки принятия решений обеспечения доступности социальной инфраструктуры с применением геоинформационных технологий и фолксономического подхода позволило решить важную социальную проблему эффективного управления доступностью социальной инфраструктуры для МГН, а также обеспечило повышение качества жизни маломобильных групп населения и людей с ограниченными возможностями. Основные выводы и результаты заключаются в следующем:

1. Выполнен анализ структур управления в организационных системах городского хозяйства, существующих подходов, методов и технологий, используемых на практике для поддержки принятия решений в сфере управления состоянием доступности социальной инфраструктуры города. Произведен анализ разработок в области управления доступностью ОСИ для МГН, формализованы классы разработок, требования к необходимому функционалу СППР. На основе анализа и изучения существующей системы управления городской средой в области доступности ОСИ для МГН, определены этапы разработки системы поддержки и принятия решений при управлении социальной инфраструктурой с использованием ГИС-технологий и теории АФП.

2. Разработан алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений на основе совместного применения методов обработки, структуризации и визуализации разнородных данных, включая теорию анализа формальных понятий и геоинформационные технологии. Создана концептуальная модель системы поддержки принятия решений в области управления состоянием доступности ОСИ для МГН, отражающая компоненты системы, связи элементов, потоки и наборы данных.

3. Создан интерфейс поддержки принятия решений, направленный на модернизацию существующей организационной системы управления городским хозяйством в области обеспечения доступности ОСИ для МГН на базе разработанной концептуальной модели СППР. Созданы новые математические модели представления и структуризации фолксономических данных, математическая модель функционирования СППР. Интерфейс позволяет с помощью карт и геоинформационных технологий обеспечить качественным инструментом поддержки принятия решений при управлении социальной инфраструктурой, а также служит инструментом удовлетворения информационных потребностей МГН относительно ОСИ.

4. Произведена программная реализация системы поддержки принятия решений на основе применения сервисно-ориентированной архитектуры, разработанных моделей и алгоритмов. Выполнено внедрение в структуру управления городским хозяйством Ханты-Мансийска для увеличения качества, оперативности и эффективности принимаемых решений при управлении доступностью ОСИ для МГН. Данная разработка также выполняет функцию информационно-справочной системы для МГН, содержащей сведения о характеристиках доступности социальной инфраструктуры. Созданы компьютерные имитационные модели, отражающие алгоритм функционирования разработанной СППР в виде СМО, обеспечивающие проведение экспериментов, определяющих качество программного продукта.

5. Произведена оценка эффективности, качества и надежности разработанной СППР. Осуществлена проверка корректности и адекватности применяемых методов применительно к теме исследования. Выполнен аналитический, вычислительный и графический метод оценки результата внедрения и эксплуатации СППР;

В работе решена актуальная научно-техническая проблема обеспечения поддержки принятия обоснованных управленческих решений в области управления состоянием доступности ОСИ для МГН, для чего были разработаны методы, модели и алгоритмы с использованием геоинформационных технологий, фолксономического подхода и теории АФП. Применение разработанных методов в реальном процессе управления состоянием доступности ОСИ для МГН позволяет повысить эффективность информационной поддержки за счет существенного сокращения временных затрат на анализ социально-ориентированных данных. По результатам диссертационного исследования были определены перспективные направления совершенствования процесса управления доступностью социальной инфраструктуры. Положения и разработки диссертационного исследования также внедрены в практику управления ряда органов власти федерального и муниципального уровней.

### ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Основные результаты работы изложены в научных статьях в ведущих рецензируемых научных журналах в общем количестве 26.

#### *В изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ*

1. Hollay A.V., Tashkin A.O. The Intellectual Support Efficiency Methods Evaluation in the Sphere of Social Infrastructure Accessibility Managing for Low-Mobile Population Groups // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2022. – Т. 22, № 3. – С. 151–162. DOI: 10.14529/ctcr220314

2. Tashkin A.O., Hollay A.V. Development of a decision support system of city's social infrastructure accessibility based on GIS-technologies // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2022. – Т. 22, № 2. – С. 122-131. DOI: 10.14529/ctcr220211

3. Ташкин А.О., С.П. Семенов. Анализ моделей углеродного цикла применительно к исследованию болотных экосистем Западной Сибири. Вестник ЮГУ. – 2022. – № 4 (67). – С. 145–152. – DOI:10.18822/byusu202204145-152

4. Ташкин А.О., Семенов С.П., Славский В.В., Куркина М.В., Самарина О.В., Финигонов А.А. Компьютерные математические модели социально-экономических систем с использованием ГИС-технологий Вестник ЮГУ — 2021. № 1 (60). С. 79-84.

5. Ташкин А.О., Тякунов А.С. Использование социометрического метода для анализа малой группы в социальной сети. Журнал Современная наука: актуальные проблемы теории и практики: Серия «Естественные и Технические науки», апрель. –2018. – № 4 – С. 87-91.

6. Семенов С.П., Славский В.В., Ташкин А.О., Тякунов А.С. Математическая модель объектов социальной инфраструктуры на основе теории анализа формальных понятий (АФП). Международный научный журнал «ИННОВАЦИИ В ЖИЗНЬ» Июнь. ISSN 2227-6300. – 2017. – № 2 (21) – С. 43-47.

7. Семенов С. П., Славский В. В., Ташкин А. О. Анализ информационных ресурсов, направленных на удовлетворение информационных потребностей людей с ограниченными возможностями. Вестник НГУ Серия: Инф. технологии. ISSN 1818-7900. – 2016. – Том 14, Выпуск № 1. – С. 83-102.

8. Семенов С.П., Ташкин А.О. Методика разработки геоинформационной системы для маломобильных граждан. Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1.

#### *В изданиях, индексируемых Scopus*

9. Semenov S.P., Tashkin A.O., Dyukarev E.A. Biogeochemical Carbon Cycles Numerical Modeling in Wetland Ecosystems. Lobachevskii Journal of Mathematics, ISSN 1995-0802. – 2023. – Vol. 44, No. 3.– DOI: 10.1134/S1995080223030307

#### *Прочие публикации*

10. Семенов С.П., Пронь С.П., Ташкин А.О. Моделирование системы управления доступностью объектов социальной инфраструктуры // МАК: Математики - Алтайскому краю. сборник трудов всероссийской конференции по математике с международным участием. – 2021. – С. 153-158.

11. Семенов С.П., Пронь С.П., Ташкин А.О. Многоподходная имитационная модель динамики миграции населения города // МАК: Математики - Алтайскому краю. сборник трудов всероссийской конференции по математике с международным участием. – 2020. – С. 169-173.

12. Пронь С.П., Семенов С.П., Ташкин А.О., Токарева Е.В. Агентно-ориентированные имитационные модели для реальных городских процессов // Сборник трудов Всероссийской конференции по математике с международным участием "МАК-2019" / АлтГУ [и др.]. – Барнаул: Изд-во АлтГУ. – 2019. – С. 169–173

13. Семёнов С.П., Славский В.В., **Ташкин А.О.** Агентно-ориентированная модель динамики города с использованием ГИС-технологий // Вестник Югорского государственного университета. – 2019. – Т. 15. №1. – С. 66-71. DOI: 10.17816/byusu20190166-71

14. Семенов С.П., **Ташкин А.О.** Оценка эффективности ГИС для маломобильных групп населения. Информационные технологии и системы. Седьмая Междунар. науч. конф. ИТиС - 2019. Ханты-Мансийск. – 2019. – С. 121-125.

15. **Ташкин А.О.**, Семенов С.П., Славский В.В. Социально-ориентированные геоинформационные системы, модели и методы реализации. Геоинформационные технологии в решении задач рационального природопользования: Материалы III Всероссийской научно-пр. конф. / АУ ЮНИИИТ. – Ханты-Мансийск, 2017. – С. 62-68.

16. Семенов С.П., Славский В.В., **Ташкин А.О.** Разработка имитационной модели ГИС-системы для маломобильных групп населения. Вестник ЮГУ – 2017. – Выпуск 3 (46). – С. 78–85.

17. Semenov S.P., Slavskii V.V., **Tashkin A.O.**, Tyakunov A.S. Mathematical model of social infrastructure based on the theory of formal concept analysis (FCA)/ International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR) ISSN: 2321-0869 (O) 2454-4698 (P), – Volume-8, Issue-1, September – 2017.

18. Тякунов А.С., Славский В.В., **Ташкин А.О.** Анализ графов социальных взаимодействий в реальной и виртуальной среде. МАК: «Математики – Алтайскому краю»: сборник трудов всероссийской конференции по математике. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та. – 2017. – С. 208-211.

19. **Ташкин А.О.**, Семенов С.П., Славский В.В. Математическая модель социально-ориентированной геоинформационной системы для маломобильных групп населения. // Международная конференция «Математика и информационные технологии в нефтегазовом комплексе», посвящённой дню рождения великого русского математика академика П.Л. Чебышёва: Тезисы / (Сургут, 16-20 май 2016 г): Тезисы докладов. Сургут: НЦ СурГУ. – 2016. – 256 с.

20. Семенов С.П., Славский В.В., **Ташкин А.О.** Анализ формальных понятий (АФП) в социально-ориентированных геоинформационных системах. Вестник ЮГУ – 2016. – Выпуск 2 (41). – С. 57–60.

21. Семенов С.П., Кононенко С.П., **Ташкин А.О.** Создание социально-ориентированных геоинформационных систем с применением возможностей фолксономического подхода. Материалы III международной научно-практической конференции Шестой технологический уклад: механизмы и перспективы развития 13-14 ноября 2015 г, г. Ханты-Мансийск, ЮГУ. – 2015 – С. 105-107.

22. Семенов С.П., **Ташкин А.О.** Интерактивная геоинформационная система для маломобильных граждан. Сборник научных статей международной конференции «Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования», Барнаул, 20-24 октября, 2015. – Изд-во Алт. ун-та. – 2015. – С. 1007-1010.

23. Семенов С.П., **Ташкин А.О.** Применение фолксономического подхода в разработке социально-ориентированных геоинформационных систем. Вестник ЮГУ. – 2014 г. – Выпуск 2 (33). – С. 94–99.

24. **Ташкин А.О.**, Семенов С.П. Разработка геоинформационной системы для решения задач информационного обеспечения людей с ограниченными возможностями. Электронный сборник материалов II Международной научно-практической конференции «Шестой технологический уклад: механизмы и перспективы развития» – Ханты-Мансийск: Изд. Югорского гос. ун-та. – 2013. – С. 105 – 107.

25. **Ташкин А.О.** Методика создания объединенной геопространственной базы данных для исследования анализа динамики экологических демографических и иных процессов. Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Геоинформационные технологии в решении задач рационального природопользования» / ЮНИИТ. – Ханты-Мансийск: ООО Издательство Юграфика. – 2013. – С. 39-41.

26. **Ташкин А.О.** Автоматизированная система предоставления услуг населению г. Ханты-Мансийска, – Материалы IV Международного IT-форума. г. Екатеринбург., Издательство Уральского университета. – 2011. – С.192 -193.

#### **Учебные пособия**

27. Самарина О.В., Семенов С.П., Славский В.В., **Ташкин А.О.**, Тякунов А.С. Анализ социальных сетей с использованием среды Wolfram Mathematica: учеб.-метод. пособие / [рец. С. Г. Пятков]; М- во образования и науки Рос. Федерации, Югор. гос. ун-т.– Ханты-Мансийск: Ред.-изд. отд. ЮГУ, 2016. – 60 с.

#### **Патенты (свидетельства)**

28. Геоинформационная система для людей с ограниченными возможностями «GeoWheel». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014616827. Правообладатель ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет». Авторы: Семёнов С.П., **Ташкин А.О.** Зарегистрировано 04.06.2014.

Ташкин Артём Олегович

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ  
СОЦИАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ ГОРОДА С ПРИМЕНЕНИЕМ  
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ФОЛКСОНОМИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Специальность: 2.3.4. Управление в организационных системах

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Издательский центр типографии ООО «Югра Принт».

Подписано в печать 07.07.2023. Формат 60×84 1/16. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ 373-23.

Отпечатано в типографии ООО «Югра Принт».  
628011, г. Ханты-Мансийск, ул. Энгельса, д. 60.