

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Ивановский государственный энергетический университет  
имени В. И. Ленина»

На правах рукописи

Садыков Артур Мунавирович

**Методы и средства поддержки принятия решений  
по размещению промышленных объектов  
на основе моделей зонирования**

Специальность: 05.13.01 — Системный анализ, управление и обработка  
информации (промышленность)

Диссертация  
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук,  
профессор С.В. Косяков

Иваново - 2014

**Оглавление**

Введение.....	4
Глава 1 Исследование условий и существующих методов поддержки принятия решений по размещению промышленных объектов на территориях.....	11
1.1 Источники информации для принятия решений по размещению промышленных объектов на территориях.....	11
1.2 Методы и средства анализа размещения объектов в ГИС.....	19
1.3 Существующие подходы и методы решения задач анализа размещения объектов и проблемы их применения .....	27
1.4 Направления исследований и задачи диссертационной работы .....	35
1.5 Выводы по 1-й главе .....	36
Глава 2 Разработка метода поиска и анализа вариантов размещения промышленных объектов в ГИС .....	38
2.1 Формализация задачи принятия решений по размещению объектов.....	38
2.2 Разработка метода поддержки принятия решений на основе моделей зонирования .....	48
2.3 Пример решения задачи комплексного анализа альтернатив с использованием моделей зонирования .....	60
2.4 Выводы по 2-й главе .....	64
Глава 3 Разработка и исследование методов и алгоритмов построения моделей зонирования .....	65
3.1 Характеристика задач построения моделей зонирования .....	65
3.2 Зонирование на основе использования базовых методов и средств ГИС.....	67
3.3 Разработка проблемно-ориентированного метода зонирования по стоимости технологического присоединения к энергетическим сетям .....	70
3.4 Исследование алгоритмов для прогнозирования длин трасс при присоединении потребителя к сети.....	81
3.5 Выводы по 3-й главе .....	98

Глава 4 Разработка программных средств ГИС для решения задач размещения объектов.....	99
4.1 Геоинформационная система моделирования и анализа территориально распределенных технических систем «ГИС МодА» .....	99
4.2 Геоинформационная система учета и анализа технологических присоединений к электрическим сетям .....	103
4.3 Разработка системы поддержки принятия решений в Администрации города Иваново.....	106
4.4 Разработка сайта для анализа размещения на базе методов зонирования территории города Иваново .....	109
4.5 Выводы по 4-й главе .....	114
Заключение .....	115
Список сокращений и условных обозначений.....	117
Список литературы .....	118
Список иллюстрированного материала .....	136
Приложение А Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Геоинформационная системы моделирования и анализа территориально распределенных технических систем (ГИС МодА)» .....	139
Приложение Б Акт о внедрении результатов диссертационной работы в учебный процесс на кафедре программного обеспечения компьютерных систем ИГЭУ.....	140
Приложение В Акт о внедрении результатов диссертационной работы в филиале ОАО МРСК-Центр «Костромаэнерго» .....	141
Приложение Г Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Геоинформационная система учета и анализа технологических присоединений к электрическим сетям «ЭнерГИС».....	142
Приложение Д Акт о внедрении результатов диссертационной работы в Администрации города Иваново .....	143
Приложение Е Акт о внедрении результатов диссертационной работы в Ивановском городском комитете по управлению имуществом.....	144

## **Введение**

### **Актуальность темы исследования и степень ее разработанности**

В современных экономических условиях задача размещения объектов производственной и коммунальной сферы регионального и местного значения решается на принципах самоокупаемости и прибыльности. Это предполагает привлечение инвесторов для строительства и реконструкции различных объектов строительства. Ограниченность инвестиционных ресурсов требует повышенного внимания к различным аспектам планирования инвестиций и, в частности, к рассматриваемой в данном исследовании задаче выбора мест размещения производственных объектов на территории с учетом конкретных особенностей земельных участков, на которых будет осуществляться деятельность инвестора.

Принятие решений по размещению промышленных объектов является сложной, трудно формализуемой, многокритериальной задачей, при решении которой целесообразно использовать научные методы системного анализа и теории принятия решений. В качестве критериев оценки вариантов размещения рассматриваются пространственные (географические) факторы, в частности возможность и стоимость использования энергетических, трудовых, транспортных и природных ресурсов. Важное место в анализе вариантов размещения объектов занимают градостроительные ограничения, различные нормативные требования, учет влияния объектов на процессы развития территории. Это обуславливает комплексный характер рассматриваемой задачи и необходимость согласованного исследования различных территориальных факторов. Кроме того, такого рода задачи всегда сопровождаются сложной проблемой поиска и согласования множества данных из различных источников.

В последние годы в связи с активным развитием географических информационных систем (ГИС), появлением различных федеральных, отраслевых, региональных и муниципальных информационных систем в сети Интернет быстро растет объем открытой и доступной для анализа информации. Эта информация может быть использована для решения задач размещения предприятий и организа-

ции информационной поддержки принятия решений инвесторами. Однако для этого требуются комплексные специализированные методики, основанные на обработке информации и реализованные в составе систем поддержки принятия решений (СППР). Разработка таких методик и программных средств для их реализации является актуальной задачей для органов региональной власти и местного самоуправления, заинтересованных в повышении инвестиционной привлекательности подведомственных территорий.

Рассматриваемые в работе проблемы связаны с исследованиями, которые проводятся в рамках нескольких научных направлений. Различные методы моделирования сложных явлений и процессов отражены в работах ученых Ю. Б. Гермейера, Н. Н. Моисеева, В. Н. Буркова, Ю. М. Горского, И. В. Прангишвили, М. Месаровича и Дж. Клира, А. В. Кострова, М. Г. Левина и др. Теоретические основы решения задач размещения в оптимизационной постановке освещены в работах отечественных и зарубежных ученых В. Л. Береснева, Ю. А. Кочетова, Э. Х. Гимади и др. В России существует несколько широко известных научных школ отраслевой направленности. В частности, проблемы оптимизации размещения объектов энергетики представлены в трудах Д. А. Арзамасцова, Н. И. Воропая. Задачи географического анализа в среде ГИС исследованы в работах А. В. Кошкарёва, В. С. Тикунова и др.

Несмотря на большое количество научных работ, затрагивающих различные аспекты задачи выбора и оценки мест размещения объектов на территории, на уровне малого и среднего бизнеса эта задача решается чаще всего на основе субъективных оценок. Это обуславливает необходимость проведения дополнительных исследований и разработок, направленных на создание СППР, ориентированных на массовое применение, которые позволят широкому кругу заинтересованных лиц принимать более обоснованные решения при размещении объектов, в том числе малого и среднего бизнеса.

**Объект исследования** — системы ресурсного обеспечения и административного планирования территориального развития градостроительных комплексов.

**Предмет исследования** — процедуры принятия решений территориального инвестиционного развития городской промышленно-коммунальной инфраструктуры.

**Целью работы** является обеспечение достоверности и повышение оперативности принятия решений по территориальному размещению промышленных объектов.

**Для достижения означенной цели необходимо решить следующие задачи:**

1. Выполнить анализ методов учета пространственных факторов при выборе и оценке земельных участков для размещения промышленных объектов различного назначения.

2. Разработать метод поиска и анализа вариантов размещения промышленных объектов с использованием различных источников пространственных данных.

3. Разработать методы и алгоритмы построения моделей, необходимых для формирования и оценки альтернатив размещения промышленных объектов.

4. Разработать комплекс программных средств для решения задач размещения в среде ГИС и создания СППР по размещению промышленных объектов на территории городов.

**Научная новизна работы:**

- разработаны специализированный метод построения моделей зонирования территории по стоимости технологического присоединения объектов к инженерным сетям и модернизированный алгоритм поиска путей на графе;

- предложен оригинальный подход к решению задачи формирования и оценки вариантов размещения промышленных объектов, основанный на использовании моделей зонирования в среде ГИС;

- доказана перспективность применения разработанных подходов и методов при создании СППР с использованием средств интеграции различных программных комплексов ГИС и распределенных в сети Интернет баз пространственных данных на основе международных стандартов;

- введен дополнительный элемент критериальной функции поиска оптимального пути, позволивший свести задачу поиска минимального по стоимости варианта присоединения к источнику ресурса с использованием модифицированного алгоритма Дейкстры.

**Теоретическая значимость** исследования обоснована следующим:

- доказаны положения и методики, вносящие вклад в расширение представлений о задачах выбора мест размещения промышленных объектов;

- применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован комплекс базовых методов пространственного анализа вариантов размещения промышленных объектов в среде ГИС;

- изложены идеи применения моделей зонирования, реализуемых средствами ГИС, для решения задач формирования и оценки альтернатив размещения промышленных объектов;

- раскрыто несоответствие ранее используемых методов выбора и оценки альтернатив размещения объектов интересам инвесторов и органов территориального управления, выявлена проблема оценки стоимости присоединения объектов к сетям инженерных коммуникаций на стадии инвестиционного планирования;

- изучены географические факторы, влияющие на оценку вариантов размещения объектов на территории, связи процесса анализа вариантов размещения с процессами сбора и анализа пространственных данных из различных источников;

- проведена модернизация математической модели и алгоритма поиска путей на графе путем включения дополнительного элемента в критериальную функцию, что позволило выполнить расчет минимальной стоимости присоединения промышленного объекта с заданными характеристиками потребления к различным видам инженерных сетей при его размещении в заданной точке территории.

**Практическая значимость**

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается следующим:

- разработаны и внедрены инструментальные и прикладные программные средства, позволяющие создавать СППР, предназначенные для информационной поддержки принятия решений по размещению промышленных объектов;

- определены перспективы применения разработанных методов и средств поддержки принятия решений для задач инвестиционного анализа в сфере малого и среднего бизнеса, а также задач при планировании развития инженерной инфраструктуры территорий в сфере муниципального управления и энергетики;

- создана система практических рекомендаций и примеров по реализации прикладных программных средств для информационной поддержки принятия решений по размещению различных объектов на территориях городов;

- представлены предложения по созданию СППР, поддерживаемых органами территориального управления, в целях повышения инвестиционной привлекательности территорий для представителей малого и среднего бизнеса.

**Методология и методы исследования.** Решение поставленных задач осуществлялось с использованием методов системного анализа, геоинформатики, теории множеств, теории графов, методологии объектно-ориентированного анализа и проектирования.

**Положения, выносимые на защиту:**

- решения задачи формирования и оценки вариантов размещения промышленных объектов, основанные на использовании моделей зонирования в среде ГИС, определяют возможность выбора оптимальных вариантов размещения промышленных объектов в условиях многокритериальности;

- специализированный метод построения моделей зонирования территории по стоимости технологического присоединения объектов к инженерным сетям допускает получение оценки любого варианта размещения промышленного объекта на рассматриваемой территории при выборе его местоположения;

- модернизация алгоритма поиска путей на графе обеспечивает возможность применения данного алгоритма для прогнозирования стоимости присоединения к различным видам инженерных сетей промышленного объекта с заданными характеристиками потребления в искомой точке территории.



**Степень достоверности результатов исследования** обусловлена тем, что:

- для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании, показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях;
- теория построена на известных проверяемых данных с использованием методов теории принятия решений, теории моделирования, теории эксперимента, программирования и согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;
- идея базируется на анализе практики, передового опыта и основах теории моделирования, методах системного анализа и математической статистики;
- использованы сравнения авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике;
- установлено качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;
- использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, а также новейшие способы и средства хранения информации с применением средств вычислительной техники.

### **Апробация результатов**

Основные результаты диссертации были получены и использованы в рамках реализации Федеральной целевой программы (ФЦП), а также ряда госбюджетных и хоздоговорных научно-исследовательских работ (НИР), в том числе:

- «Разработка моделей, методов и программных средств агрегирования информации в процессах управления территориальными организационно-техническими системами» (по Государственному контракту с Минобрнауки РФ от 18 августа 2009 г. № П871 в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009—2013 годы);
- «Разработка моделей и методов пространственного моделирования территориально распределенных технических систем» (Государственное задание Минобрнауки РФ на 2012-2014 годы № 8.5067.2011);
- «Разработка и внедрение новой подсистемы ГИС в составе АИС «ИЗК»

для ведения распределенной базы пространственных данных средствами СУБД» (Договор с Комитетом по управлению имуществом Администрации г. Иваново от 19 апреля 2013 г. № 53/13);

- «Разработка информационной системы категорированного учета населения и объектов жилищного фонда» (Договор с Администрацией г. Иваново от 1 октября 2012 г. № 82/12);

- «Разработка программных средств формирования карты электрических сетей Костромской области и анализа условий технологического присоединения потребителей» (Договор субподряда № 499/12 от 1 декабря 2012 г. Заказчик - филиал ОАО МРСК-Центр «Костромаэнерго») и другие НИР.

Разработанные методы и средства внедрены в Администрации города Иваново; в Филиале ОАО МРСК-Центр «Костромаэнерго»; в Ивановском городском комитете по управлению имуществом; в учебном процессе на кафедре «Программное обеспечение компьютерных систем» ИГЭУ. Акты внедрения результатов исследования приведены в Приложении.

Результаты диссертации обсуждались на международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электротехнологии» («Бенардосовские чтения», ИГЭУ, Иваново, 2011, 2012), на всероссийской научно-технической конференции «Модернизация отраслевой производственной инфраструктуры» (КГУ, Кострома, 2012), на всероссийской научно-технической конференции «Вузовская наука - региону» (ВоГТУ, Вологда, 2012), на региональной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Энергия» (ИГЭУ, Иваново, 2013).

## **Глава 1 Исследование условий и существующих методов поддержки принятия решений по размещению промышленных объектов на территориях**

### **1.1 Источники информации для принятия решений по размещению промышленных объектов на территориях**

#### ***Нормативная база организации процессов строительства и реконструкции промышленных объектов***

Одной из основных задач органов государственной власти на местах является создание условий для развития подведомственных территорий в интересах проживающих на них граждан. Промышленное развитие территорий осуществляется вследствие строительства на них новых производственных объектов или реконструкции существующих. Важную роль в этом процессе играет развитие инициативы среднего и малого бизнеса, частных предпринимателей, которым для ведения предпринимательской деятельности предоставляются земельные участки и промышленные объекты в частную собственность или в аренду.

Право собственности граждан и юридических лиц на землю закреплено в Земельном кодексе РФ. В нем говорится: «Граждане и юридические лица имеют право на равный доступ к приобретению земельных участков в собственность. Земельные участки, находящиеся в государственной или муниципальной собственности, могут быть предоставлены в собственность граждан и юридических лиц» [28, ст. 15, п. 2]. Отношения в сфере выделения земельных участков регулирует земельное законодательство, которое состоит из федеральных законов и принимаемых в соответствии с ними законов субъектов Российской Федерации.

Принятие решений о строительстве, реконструкции или приобретении для определенного вида деятельности промышленных объектов связано с соблюдением множества норм и требований российского законодательства. Основу этих требований составляет Градостроительный кодекс РФ. Он определяет полномо-

чия, права и обязанности субъектов градостроительной деятельности, определяет порядок и содержание различных процессов в данной сфере деятельности [17, ст. 5—8]. Наряду с Градостроительным кодексом существует большое количество нормативных документов различных ведомств и органов всех уровней власти, которые определяют условия и правила размещения объектов на конкретных территориях. В данной работе не ставится задача исчерпывающего исследования всех законодательных особенностей регулирования данных процессов. Вместе с тем без учета принципиальных аспектов государственного регулирования процессов градостроительной деятельности данная работа не имеет смысла. Поэтому далее будут рассмотрены принципиально важные аспекты решения задач размещения, обусловленные требованиями и возможностями, исходящими из государственного и местного законодательства.

Инвестиционная политика органов власти предполагает организацию благоприятных условий инвестиционной деятельности на территории города в рамках экономического и социального развития муниципального образования [32]. Для управления этим процессом необходимо рассматривать организационно-правовые основы управления.

Одной из самых важных проблем, которые встают перед инвесторами при выборе площадок для инвестиций, является проблема их обеспечения энергоресурсами и инженерными коммуникациями. В поддержке и принятии решений всё чаще используются компьютерные средства [126, с. 23]. В данной работе этот аспект является одним из основных направлений исследований. Основу нормативного обеспечения в этой сфере составляет Федеральный закон «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», определяющий требования к информационному обеспечению [93, гл. 6], и основанные на нем постановления Правительства России, приказы и распоряжения различных органов власти на местах. Одним из направлений развития законодательства в данной сфере является обеспечение информирования граждан и организаций о деятельности энергоснабжающих организаций, повышение обоснованности требований к

оплате услуг этих организаций, устранение условий создания административных препятствий развитию бизнеса и жилищного строительства.

Таким образом, развитие законодательства на современном этапе нацеливает общество на создание информационных систем, ориентированных на предоставление широкому кругу заинтересованных лиц информации об условиях инвестиций в строительство и развитие землепользования, а также открывает всё более широкие возможности для этого.

### ***Информационные системы обеспечения градостроительной деятельности***

В современной практике государственного управления утвердилось понятие зонирования как деления территории на зоны при градостроительном планировании развития территорий и поселений с определением видов и ограничений градостроительного использования установленных зон. Это один из основных инструментов законодательного влияния властей на процессы развития территории, который применяется в целях установления регламентов использования земель и оценок их стоимости для налогообложения. Одновременно это способ оптимизации условий существования человека путем разделения территории города, района или промышленного предприятия на зоны, имеющие различное функциональное назначение. Немаловажным аспектом градостроительного зонирования является привлечение инвестиций в регион. В работе [34] рассматривается методика выбора земельного участка при градостроительном зонировании на основе его инвестиционной привлекательности.

«Границы территориальных зон могут устанавливаться:

- а) по линиям магистралей, улиц, проездов, разделяющим транспортные потоки противоположных направлений;
- б) по красным линиям;
- в) по границам земельных участков;
- г) по границам населенных пунктов в пределах муниципальных образований;

д) по границам муниципальных образований, в том числе внутригородских территорий городов федерального значения Москвы и Санкт-Петербурга;

е) по естественным границам природных объектов;

ж) по иным границам» [122, п. 4.10].

Градостроительное зонирование представлено в генеральных планах и правилах землепользования и застройки, которые в настоящее время создаются средствами ГИС в составе ИСОГД. В работе [119] приведен обзор популярных в России ИСОГД, по которой можно сделать вывод, что ГИС являются важной её составной частью. Сведения, необходимые для осуществления градостроительной деятельности, обеспечиваются органами местного самоуправления путем ведением ИСОГД и предоставляются заинтересованным лицам. Законом определяется ее состав [88], а так же говорится: «Сведения, содержащиеся в информационной системе, являются открытыми и общедоступными, за исключением сведений, отнесенных в соответствии с федеральными законами к категории ограниченного доступа» [84, разд. IX, п. 12]. «Целью ведения информационных систем обеспечения градостроительной деятельности является обеспечение органов государственной власти, органов местного самоуправления, физических и юридических лиц достоверными сведениями, необходимыми для осуществления градостроительной, инвестиционной и иной хозяйственной деятельности, проведения землеустройства» [17, гл. 7, ст. 56, п. 3]. Нормативными документами регламентируется стоимость за предоставление сведений, содержащихся в информационной системе обеспечения градостроительной деятельности [89].

Генеральные планы и правила землепользования и застройки, включающие различные схемы зонирования, доступны на сайтах администраций в сети Интернет. Графические материалы генерального плана для городских территорий выполняются в виде карт (схем) в масштабе 1:10000 или 1:25000. На них показываются: городская черта; функциональное использование территории; планировочная структура жилых, общественных, производственных, коммунально-складских и других функциональных зон; зонирование по этажности и степени капитальности жилой, общественной, производственной и коммунально-складской застройки.

ки; территории сельскохозяйственного назначения, озеленения, отдыха и спорта; сооружения и коммуникации внешнего транспорта; головные сооружения инженерного оборудования; улично-дорожная сеть; линии высоковольтной электропередачи; границы зон охраны памятников природы, истории и культуры; территории Российской Федерации и ее субъектов, муниципальной, частной и иных форм собственности. Фрагмент схемы функционального зонирования в составе генерального плана города Иваново приведен на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 — Фрагмент схемы генерального плана города

Генеральные планы являются важным источником информации при принятии решений, связанных с выбором площадок для строительства объектов. С помощью зонирования в этих документах представляются законодательные ограничения при выборе мест размещения объектов, а также указываются перспективные направления пространственного развития территории и ее инженерной инфраструктуры. Размещение объектов ограничиваются нормативными правилами, в которых говорится: «При планировке и застройке городов и других поселений необходимо зонировать их территорию с установлением видов преимущественного функционального использования, а также других ограничений на использование территории для осуществления градостроительной деятельности» [122, п. 4.8]. Предприятия и промышленные узлы надлежит размещать на терри-

тории, предусмотренной схемой территориального планирования муниципального района, генеральным планом поселения, городского округа, проектом планировки соответствующей территории [123, п. 2.2].

Таким образом, зонирование является естественным и удобным способом представления данных о структуре и свойствах территории. Результаты зонирования оформляются в виде тематических карт, которые используются в бумажном и электронном виде.

### ***Кадастровые информационные системы***

Земельный кадастр - это государственная учетная система. В ней представлены актуальные данные о существующем землепользовании, стоимости и т.д. При автоматизированном ведении земельного кадастра используются ГИС, что отражено в работе. Эти данные публичны и в настоящее время общедоступны в сети Интернет. Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр) осуществляет государственную регистрацию права и предоставляет информацию о сведениях Государственного кадастра недвижимости на территории России [82, гл. 2, ст. 14]. Такие данные предоставляются посредством справочного сервиса - Публичной кадастровой карты. С помощью Публичной кадастровой карты пользователь имеет возможность получить справочную информацию о земельных участках, кадастровых округах и районах и объектах капитального строительства [86, п. 1].

Следует отметить, что именно земельные участки (ЗУ), представленные в земельном кадастре, являются предметом анализа при планировании размещения производственных объектов, поскольку все сделки с недвижимостью и разрешения на строительство предусматривают наличие документов на право использования ЗУ [28, гл. III, ст. 26]. «Права на недвижимое имущество и сделки с ним подлежат государственной регистрации в Едином государственном реестре прав» [81, гл. III, ст. 12]. Однако в настоящее время в связи с заявительным характером системы регистрации прав информация о значительной части ЗУ в информацион-



ной системе земельного кадастра отсутствует. По последним данным около 21% земельного фонда не числится в кадастре [10].

Для зарегистрированных ЗУ в публичной кадастровой карте представляется справочная информация о статусе, категории земель, виде использования, площади, кадастровой стоимости, плане земельного участка и др. Для объектов капитального строительства в ней показаны тип, статус, площадь, кадастровая стоимость, этажность. Для всех промышленных объектов и единиц кадастрового деления — полный кадастровый номер, адрес, план земельного участка и др. [103]. Фрагмент Публичной кадастровой карты с данными по ЗУ, принадлежащему ИГЭУ, приведен на рисунке 1.2.

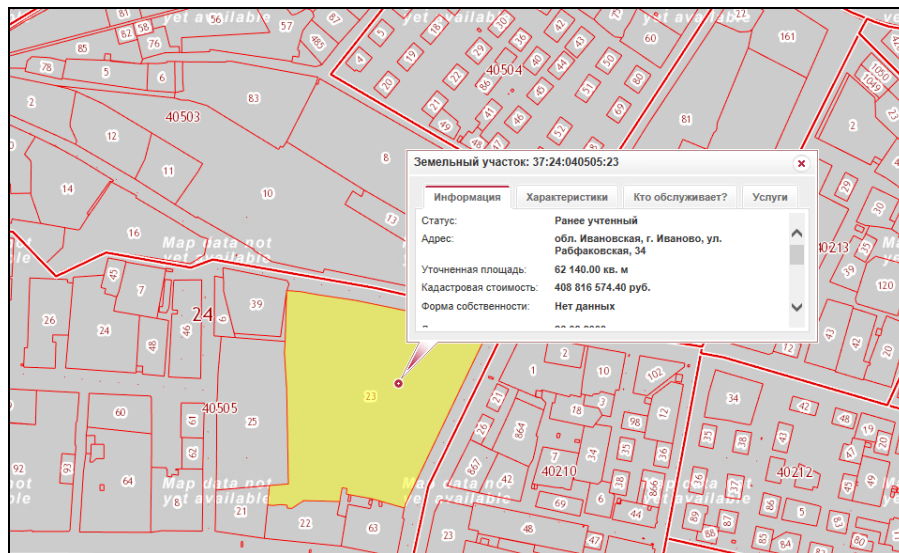


Рисунок 1.2 — Фрагмент Публичной кадастровой карты с информацией по земельному участку ИГЭУ

Доступность публичных сервисов земельного кадастра в сети Интернет позволяет использовать сведения об промышленных объектах и единицах кадастрового деления в виде одного из источников данных при проведении анализа вариантов размещения промышленных объектов.

Вместе с тем можно отметить, что используемые в генеральных планах и кадастровых системах модели зонирования статичны. Пользователь ГИС при работе с ними может только просматривать существующие зоны, но не может изме-

нить критерии условия зонирования, смешивать и совместно анализировать показатели, имеющиеся в разных моделях зонирования.

### *Данные открытого правительства и обязательного раскрытия информации энергоснабжающими компаниями*

В настоящее время в России активно идут процессы по раскрытию информации органами государственной власти. Государство решило сделать свою информацию доступной для автоматической обработки, для свободного использования в негосударственных базах данных. «Это повысит прозрачность государства, расширит возможности для общественного контроля за властью, поможет внедрению в России идеи «Открытого правительства». Информация, которой владеет государство, должна стать «топливом для идей» для разработчиков, общественных организаций, граждан, основой для создания удобных и полезных приложений и сервисов, катализатором для развития IT-бизнеса в России» [94]. Для этих целей создана система «Открытое правительство», в рамках которой, в частности, координируется работа по открытым данным.

На сайте Большого Правительства РФ [94] публикуется информация об открытых данных, доступных в Интернете. При Правительстве РФ создан Совет по открытым данным. Задачей Совета является распространение принадлежащей ведомствам информации. Основной целью раскрытия данных является предоставления доступа для создания удобных продуктов для конечного пользователя.

В целях установления единых требований создаваемых информационных систем и данных, предоставляемых в электронном виде для федеральных органов власти и органов местного самоуправления, принято Постановление Правительства РФ от 8 июня 2011 года № 451 [85]. В регионах также принимаются нормативно-правовые акты для внедрения региональных систем «Открытое правительство» [91]. Всё это открывает новые возможности для реализации СППР в сфере территориального управления.

Требования к раскрытию информации предъявляются и к организациям энергетического комплекса независимо от форм их собственности. В соответ-

ствии с нормативно-правовыми документами, субъекты оптового и розничных рынков электрической энергии обязаны раскрывать информацию, предусмотренную стандартами. К такой информации относятся данные о величине установленных генерирующих мощностей генерирующих объектов, данные для технологического присоединения к электрическим сетям и др. [92]. Раскрытие такой информации осуществляется путем публикации в печатных изданиях, в электронных источниках и предоставляется по запросу. Регламентируется предоставление информации в полном объеме и на официальных сайтах в сети Интернет.

В этой работе использованы данные раскрытия информации, представленные на сайтах ОАО «Ивгорэлектросеть» [104] и филиала «Ивэнерго» ОАО «МРСК Центра и Приволжья» [124]. В качестве данных также использованы сведения о порядке и процедуре расчета стоимости технологического присоединения, резерва мощностей центров питания и др.

## **1.2 Методы и средства анализа размещения объектов в ГИС**

### ***Роль ГИС в обеспечении решения задач размещения***

Очевидно, что наиболее информативным способом оценки условий размещения объектов на территориях является их представление на географических картах и планах. Карты составляют основу градостроительной документации и широко используются в других сферах деятельности людей. Использование данных карт для пространственного анализа является важной составляющей ГИС, что отражено в работах [61; 125; 131].

В настоящее время в градостроительной, учетной и производственной деятельности, связанной с решением пространственных задач, наблюдается повсеместный переход к использованию цифровых пространственных данных и ГИС как основного инструмента их обработки. Это создает условия внедрения в данную сферу новых методов и средств анализа данных, позволяющих эффективно решать новые классы задач, которые ранее при использовании «бумажных» технологий решить было совершенно невозможно. Сформированные наборы про-

странственных данных предполагают их качественную обработку [24]. Вопросы исследования и разработки ГИС отражены в работах [3; 2].

Другим следствием активного внедрения ГИС в современную жизнь стало появление в открытом доступе в сети Интернет большого объема космических снимков, пространственных моделей, навигационных данных, различного рода справочников, привязанных к картам [7; 98]. Это дает возможность собрать воедино множество сведений о территории и выполнить самые разные виды комплексного анализа. Однако в настоящее время пользователям Интернета доступны только достаточно очевидные методы анализа, такие как поиск маршрутов или ближайших объектов. Данная работа направлена на расширение потенциальных возможностей в предоставлении услуг по проведению более сложных видов автоматического анализа в сети Интернет.

Сегодня во многих муниципальных образованиях России созданы инвестиционные порталы, целью которых является привлечение инвестиций в регион посредством предоставления инвестору данных о потенциальных площадках [114]. Однако часто такие площадки выбраны экспертным путем и ориентированы на крупных инвесторов. Работа посвящена расширению средств анализа площадок с позиции инвестора.

### ***Базовые средства пространственного анализа в ГИС***

В настоящее время в мире разработано множество ГИС. Наиболее известные из них - MapInfo, ArcGIS, Bentley, Quantum GIS, ГИС ПАНОРАМА. Одним из лидеров является ArcGIS. ГИС предлагают большое количество универсальных методов анализа, которые позволяют оценивать отдельные аспекты размещения объектов. В данной работе активно использовались как составные части процедур анализа, так и базовые методы пространственного анализа, реализуемые большинством современных программных продуктов ГИС.

Рассмотрим базовые инструменты анализа, которые выполняют основные ГИС операции на примере ArcGIS 10.1 [120] (разд. Обзор набора инструментов

Анализ (Analysis)). Эти инструменты объединены в четыре группы: извлечение (Extract); наложение (Overlay); близости (Proximity); статистики.

В таблице 1.1 приведены инструменты группы наложения в ArcGIS 10.1. Предоставляемые исходные данные для анализа часто избыточны. Для выбора географических объектов и атрибутов в наборах объектов или в таблицах используется группа инструментов извлечения. Методами извлечения могут быть как запрос (например, SQL), так и географическое извлечение. Применительно к данной работе можно привести следующие примеры:

- земельные участки, находящиеся в данной градостроительной зоне;
- подстанции, расположенные в заданной области;
- количество предприятий в заданной области.

В таблице 1.2 приведены инструменты группы извлечения в ArcGIS 10.1. Одной из основных задач, которые решаются в ГИС, является определение близости объектов. К одному из самых часто используемых инструментов этой группы можно отнести построение буфера вокруг объектов. Типичными задачами, решаемыми при помощи этой группы инструментов, являются задачи определения ближайших объектов в одном наборе данных к другим объектам другого набора объектов, вычисления расстояния между ними. В таблице 1.3 приведены инструменты группы близости в ArcGIS 10.1.

Часто возникают задачи, связанные со статистическим анализом атрибутивных данных. Примером таких данных может быть определение минимума, максимума, среднего и стандартного отклонения. Также статистики подвергается информация по площади, длине и количеству объектов. Инструменты группы статистики приведены в таблице 1.4. Помимо рассмотренных инструментов, современные ГИС также включают инструменты пространственного анализа на основе растровых данных, они подробно рассмотрены в работах [64; 74; 132; 147]. С помощью таких инструментов можно выполнять различные операции над растрами: анализ поверхности, интерполяция поверхности, статический анализ и классификация изображений. В анализе растров используются инструменты: алгебры карт, уклона, классификации изображений и наложений.

Таблица 1.1 — Инструменты наложения в ArcGIS 10.1

Инструмент	Описание
Объединение (Union)	Вычисляет геометрическое пересечение входных объектов с корректирующими объектами. Атрибуты и геометрия входных объектов заменяются атрибутами и геометрией корректирующих объектов
Пересечение (Intersect)	Вычисляет геометрическое пересечение между входными объектами. Пространственные объекты или части объектов, которые перекрываются во всех слоях и/или классах пространственных объектов, будут записаны в выходной класс
Стирание (Erase)	Создает класс пространственных объектов путем наложения входных объектов на полигоны стирающих объектов. В выходной класс объектов копируются части входных объектов, которые выходят за пределы границ стирающих полигонов
Пространственное соединение (Spatial Join)	Присоединяет атрибуты из одного объекта к другому на основании пространственного взаиморасположения. В выходной класс объектов записываются целевые объекты с присоединенными атрибутами из другого класса
Симметричная разность (Symmetrical Difference)	В выходной класс объектов будут записаны неперекрывающиеся области входных пространственных объектов и корректирующих пространственных объектов
Объединение (Union)	Вычисляет геометрическое объединение входных объектов. В выходной класс объектов записаны все объекты и их атрибуты
Идентичность (Identity)	Вычисляет геометрическое пересечение между входными объектами и объектами идентичности. К входным объектам или их частям, которые совпадают с объектами идентичности, присоединяются атрибуты соответствующих объектов идентичности

Таблица 1.2 — Инструменты извлечения в ArcGIS 10.1

Инструмент	Описание
Вырезание (Clip)	Извлекает входные объекты, которые совпадают с вырезающими объектами
Выборка (Select)	Извлекает пространственные объекты из входного класса пространственных объектов или входного слоя пространственных объектов, как правило, с помощью выражения SQL (Structured Query Language), и сохраняет их в выходном классе объектов
Разбиение (Split)	После разбиения входных объектов создается поднабор нескольких выходных классов объектов. Уникальные значения атрибута Поле разбиения (Split Field) будут использованы в качестве имен выходных классов пространственных объектов. Они сохраняются в целевую рабочую область
Выборка по таблице (Table Select)	Выбирает записи таблицы, соответствующие запросу SQL (Structured Query Language), и экспортирует их в выходную таблицу

Мощь современных ГИС основана на возможности комбинирования и последовательного применения рассмотренных и других базовых методов пространственного анализа данных к различным наборам пространственных данных. При этом могут формироваться сложные и разветвленные алгоритмы обработки данных, с помощью которых можно реализовать сложные методики комплексного анализа. «ГИС-анализ позволяет устанавливать закономерности распределения и пространственные взаимосвязи в ваших данных. Его результаты дают возможность устанавливать нужное место, сконцентрировать усилия в нужном направлении или сделать наилучший выбор, сопоставляя местоположение объектов» [74, с. 9]. «В результате анализа географической информации получается качественно новая информация и выявляются прежде неизвестные закономерности» [136, с. 268]. В данной работе использован именно этот подход: за счет комбина-

ции различных известных алгоритмов и процедур обработки данных и объединения данных из разных источников получен оригинальный подход к решению конкретной задачи.

Таблица 1.3 — Инструменты близости в ArcGIS 10.1

Инструмент	Описание
Буфер (Buffer)	Создает буферные полигоны вокруг входных объектов для заданного расстояния
Построить таблицу ближайших объектов (Generate Near Table)	Определяет расстояния от каждого объекта входных пространственных объектов до одного или нескольких соседних объектов в списке ближайших пространственных объектов на заданном радиусе поиска. Результаты записываются в выходную таблицу
Ближайший объект (Near)	Определяет расстояние от каждого объекта входных пространственных объектов до ближайшего объекта на заданном радиусе поиска
Расстояние между точками (Point Distance)	Определяет расстояние от входных точечных объектов до всех точек среди ближайших объектов на заданном радиусе поиска

Таблица 1.4 — Инструменты статистики в ArcGIS 10.1

Инструмент	Описание
Частота (Frequency)	Считывает таблицу и набор полей и создает новую таблицу, содержащую уникальные значения полей и частоту встречаемости каждого уникального значения поля.
Суммарная статистика (Summary Statistics)	Вычисляет суммарную статистику для полей в таблице.



## *Пространственный анализ на основе моделей зонирования*

Поскольку в данной работе в качестве моделей активно используются модели зонирования, рассмотрим их представление в ГИС.

Построение моделей зонирования может осуществляться методами классификации участков территории, в частности ЗУ, геометрических построений с использованием границ существующих объектов, в частности буферных зон (рассмотрены в предыдущем подразделе). Результаты зонирования (районирования) в ГИС обычно представляются в виде тематических карт [115, с. 55]. Различные подходы к построению моделей зонирования отражены в работах [35; 65; 29; 113; 128; 135]. Для построения моделей зонирования могут использоваться расчетные модели природный явления, в частности разлива водоемов [101].

Один из примеров зонирования для решения транспортных задач приведен на рисунке 1.3. В этом примере границы зон определяются путем расчета времени движения от заданной точки до всех других точек территории по существующей транспортной сети.

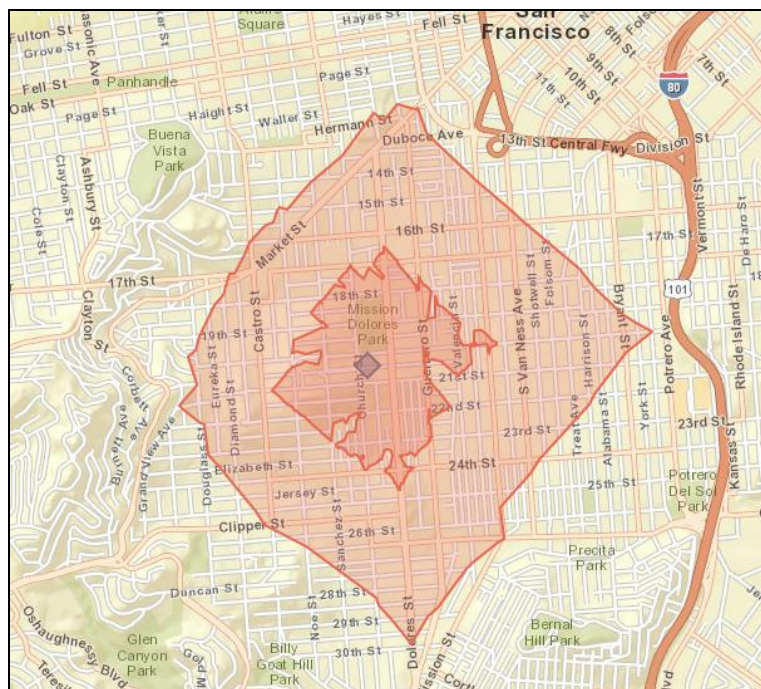


Рисунок 1.3 — Зоны транспортной доступности для точки города

Центральный квадрат представляет собой центр обслуживания, а полигоны представляют их области доступности, которые разделены на две зоны. Входящие во внутренний полигон объекты могут быть достигнуты центра в течение одной минуты; внешний полигон в течение двух минут. Автором вопросы зонирования территории по транспортной доступности обсуждались в соавторстве в работе [52].

Данный метод является основой для реализации различных специализированных методов анализа инженерных сетей, использующих расстояния между точками, вычисленные по некоторой сети (графу), изображенной на карте. В диссертации идеи этого метода зонирования использованы в комбинации с алгоритмами трассировки на картах для прогнозирования стоимости присоединения участков к объектам сетей энергоснабжения.

Для построения моделей зонирования в ГИС иногда применяют переход от векторных моделей к растровым. Типичным приемом такого использования является построение виртуальных рельефов распределения параметров вдоль территории. Пример рельефа и зоны, построенной путем его «среза» по заданному значению, приведен на рисунке 1.4.

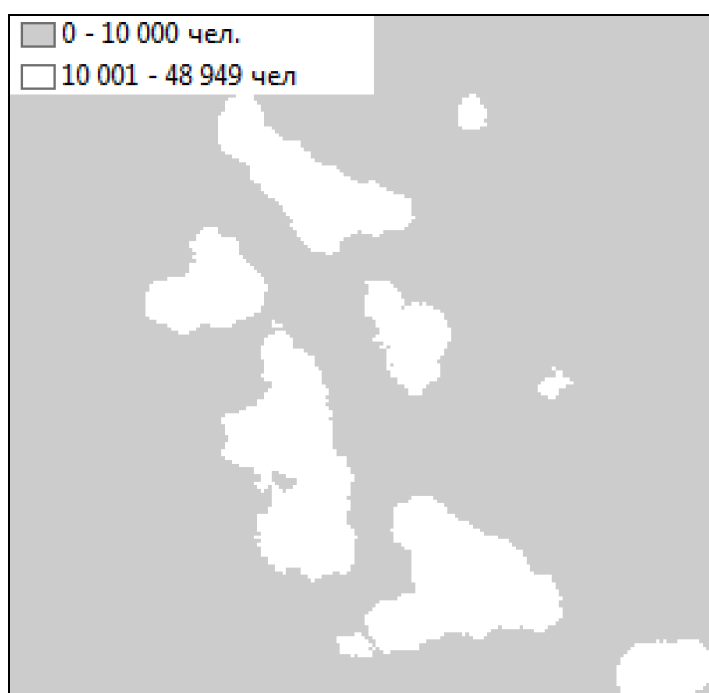


Рисунок 1.4 — Фрагмент «среза» растра плотности населения

Все перечисленные методы построения зон использовались в данной работе в рамках реализации комплексных методов анализа.

### **1.3 Существующие подходы и методы решения задач анализа размещения объектов и проблемы их применения**

В работах отечественных ученых Ю. Б. Гермейера [14], И.В. Парангишвили [100], Н. Н. Моисеева [76], Ю. М. Горского [16], В. Н. Буркова [9], А. В. Кострова [45], а также в трудах зарубежных авторов, среди которых можно отметить работы М. Месаровича [72] и Дж. Клира [39], рассмотрены различные методы моделирования сложных явлений и процессов на основе аппарата систем.

Задачи размещения известны давно, еще А. Вебер в 1909 году проводил исследования по поиску размещения производства [155].

Применение математических моделей размещения нашло широкое применение в стратегическом планировании производства. Для решения дискретных оптимизационных задач разрабатываются новые методы локального поиска и основанные на них метаэвристики [60]. Имеется несколько классов дискретных задач размещения объектов.

Первый класс задач представляет классическая задача размещения предприятий с неограниченными мощностями, в которых из заданного множества возможных мест размещения нужно выбрать такие, которые удовлетворяли бы потребности клиентов с наименьшими затратами. Затраты складываются из стоимости на открытие предприятий и затрат на обслуживание каждого клиента одним из предприятий. Для решения таких задач широко применяется подход минимизации полиномов от булевых функций [8].

Другой класс задач представляют задачи размещения с ограничениями на мощности. В таких задачах предполагается, что каждое предприятие может производить продукцию только в ограниченном количестве. Для решения задач этого класса применяются жадные алгоритмы, локальный поиск и релаксации Лагранжа [23].

Также можно выделить класс задач размещения объектов с предпочтением клиентов. В них предполагается прикрепление клиентов к открытым предприятиям не источником, а исходя из некоторых предпочтений клиентов [1; 38]. Существуют другие математические подходы к размещению объектов на плоскости, которые отражены в работах [25; 27; 75].

Проведенное исследование дискретных задач размещения показало, что сегодня существуют различные подходы решений на основе численных методов и это направление активно развивается. Анализ конкретных примеров подтверждает их высокую вычислительную сложность. Рассмотренные подходы могут быть использованы для выбора мест размещения предприятий, однако для учета географических факторов необходимо разработать новые методы.

Далее в работе приводятся практические задачи при выборе мест размещения объектов.

### *Задачи размещения объектов торговли*

В современных ГИС имеется возможность использования встроенных инструментов для решения задач размещений объектов торговли. Например, в ArcGIS для этих целей используется модуль Network Analyst. Здесь рассматривается задача выбора местоположения магазина, который сможет осуществлять самые большие продажи. Положение точек продаж определяется как можно ближе к популярным центрам. Здесь допускается, что люди меньше предпочитают отдаленные магазины и делают больше покупок в соседних.

На первом этапе формируются данные для расчетов. Загружаются предполагаемые места расположения магазинов, точки спроса представляют собой данные о численности населения. Для расчета расстояний используется транспортный граф. Задачи размещения логистических объектов отражены в работе [68].

Используя введенные данные, можно решать задачи выбора мест размещения магазинов, причем можно указать точки продаж, которые нужно открыть обязательно. Также входными данными для расчета является количество открывае-

мых точек продаж и конкурентные магазины. С учетом исходных данных и заданных параметров расчетов решаются следующие типы задач:

- максимизация посещаемости магазинов;
- максимизация доли рынка;
- определение доли рынка.

Отдельные решения поставленных задач отражены в работах [15; 22; 43; 63; 13; 78].

Однако в рассмотренных подходах используется ограниченный набор специфических критериев, которые не применимы для общего случая анализа вариантов размещения промышленных объектов.

### *Задачи размещения энергетических объектов*

В отдельный класс выделяют задачи моделирования развития ЭЭС. В работах Д. А. Арзамасцева, Н. И. Воропая, Л. С. Беляева и др. рассматриваются вопросы моделирования оптимизации развития энергосистем России (СССР) [4; 5; 12; 118]. Результатами исследований стало создание оптимизационных математических моделей электроэнергетических систем.

Математическая модель ЭЭС представляет собой сеть, узлами которой являются энергетические районы. Такие энергетические районы могут представлять собой региональные ЭЭС либо их части в зависимости от исследуемой территории. Связь между узлами представляет собой линии электропередач. В таких моделях минимизируется функция, представляющая суммарные приведенные затраты на развитие и функционирование ЭЭС [11]. Использование ГИС для управления объектами электроэнергетики рассмотрены в обзоре [77].

В задачах выбора рациональной конфигурации систем электроснабжения имеются работы по оптимизации размещения источников питания и закрепления за ними потребителей [116]. В таких работах вводится ряд допущений. Расстояние от источника питания до потребителя вычисляется в соответствии с метрикой Евклида, т.е. не учитываются ограничения на местности для прокладки линий, что

может очень сильно повлиять на результаты расчетов. Методики, позволяющие учитывать рельеф местности при прокладке инженерных сетей, предложены в работах [62; 71].

В работах зарубежных ученых обсуждаются задачи размещения и оптимальной конфигурации энергетических объектов [139; 140; 141; 142; 143; 148; 151; 152; 153]. Основной упор в этих работах делается на разработку новых методик размещения энергетических объектов с применением методов математического программирования и эволюционных методов, таких как генетические алгоритмы, методы имитации отжига и др. Также в этих работах уделяется внимание вопросам прокладки трасс линий электропередач и выбора сечения для них.

В настоящее время разработаны экономико-математические модели для решения задач рационального развития энергетики с точки зрения экономической эффективности [73; 137].

Для решения задач размещения энергетических объектов всё чаще применяется системный подход. Возросшая нагрузка в ЛПП, в связи с необходимостью учета большого количества критериев, приводит к созданию новых методов многокритериального анализа [66; 67; 133]. Вопросы пространственного моделирования и анализа систем энергоснабжения территорий обсуждались в работе [111].

В этих подходах не полностью учитываются пространственные факторы конкретной территории, т.е. при решении общей задачи реальные ограничения на местности учитываются приближенно либо не учитываются вовсе.

### ***Публикация данных об энергообеспеченности участков территории в виде карт зонирования***

Одной из задач политики государства в области энергетики является информационное обеспечение деятельности органов государственной власти на местах, организаций, потребителей энергии, инвесторов в целях координации планов развития топливно-энергетического комплекса с другими объектами территориальной инфраструктуры. В связи с этим энергетические компании начинают публиковать различные данные об объектах энергетики, их мощности, резервах и

планах развития. Эти данные сегодня подлежат раскрытию и доступны на сайтах различных энергетических компаний в регионах. При этом наиболее наглядное и информативное представление о пространственной структуре территориальных систем обеспечивается с помощью тематических карт. Однако создание и публикация таких карт осуществляется сегодня только крупными энергетическими компаниями, например ОАО «МРСК Центра и Приволжья». Пример такой карты для Ивановской области доступен по адресу (дата обращения 01.11.2014): [http://www.ivenergo.ru/client/regulation/special\\_union/ogr/](http://www.ivenergo.ru/client/regulation/special_union/ogr/). При этом зоны для сетей напряжения 35—110 кВ представлены на карте схематично (рисунок 1.5).

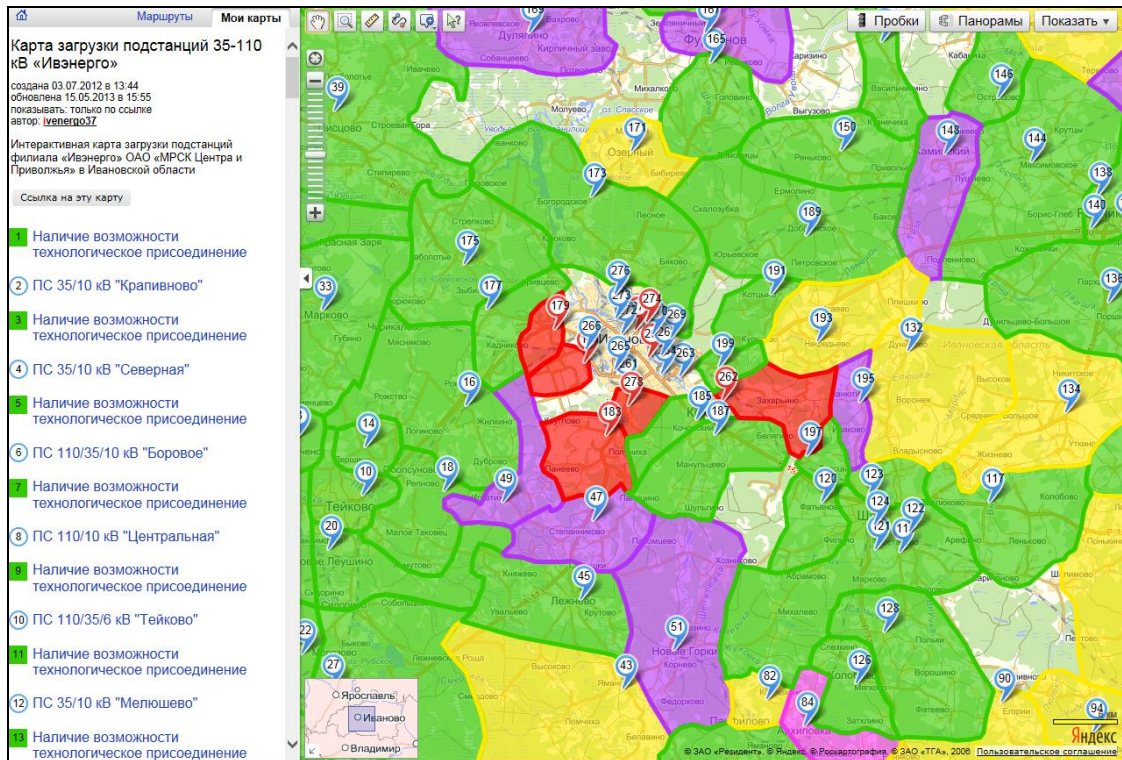


Рисунок 1.5 — Фрагмент интерактивной карты центров загрузки питания  
Ивэнерго

Данное представление дает информацию крупным инвесторам для реализации крупных проектов, где требуются большие мощности на уровне сетей среднего и высокого напряжения. При этом границы зон представлены довольно условно, а наличие резерва в действительности мало говорит о стоимости технологического присоединения конкретного объекта в конкретной точке территории.

Создание подобных карт на уровне городов для классов среднего и низкого напряжения требует использования более детальной информации и более качественных методов зонирования. Этот вопрос обсуждался в работе [56] в соавторстве. На этом уровне данные разрознены и часто имеют форму множества не связанных таблиц, полученных из разных источников, что не позволяет увидеть целостную картину даже по одному виду энергоресурсов. Тем более сложной задачей является получение целостной картины пространственной структуры энергоснабжения территорий с учетом комплексного характера использования различных видов энергоресурсов и формирование таких карт в форме затрат. Решение данной задачи является одной из основных научных целей данной работы.

### *Подходы к размещению промышленных объектов*

Промышленный объект как сложная система предполагает организацию управления и эффективное использование информационных ресурсов, что отражено в работах [46; 47]. Вопросы выделения признаков в сложных системах отражены в работе [112].

Промышленность — важнейшая отрасль народного хозяйства — представляет собой совокупность предприятий (заводов, фабрик, рудников, шахт, электростанций), занятых производством орудий труда как для самой промышленности, так и для других отраслей народного хозяйства.

Отраслевая классификация промышленных объектов выделяет объекты машиностроительной, металлургической, химической, фармацевтической, автомобильной, легкой и пищевой промышленности. По функциональному назначению промышленные объекты предназначены для решения производственных, складских, энергетических или вспомогательных задач. Существуют подходы, рассматривающие выбор места размещения отраслей промышленности в пределах всего мира [69; 70].

Перед началом выбора мест размещения объектов промышленности определяются положения составных объектов относительно друг друга в целях мини-



мизации занимаемой площади [30]. Также анализируются правовые аспекты выбора земель [107; 121] и производится оценка размещаемого объекта [6].

Закономерностями и факторами размещения производства занимается прикладная экономическая наука «Региональная экономика». Теоретические вопросы размещения промышленных объектов отражены в работах А. Г. Гранберга [18], Н. Н. Некрасова [79], Т. Г. Морозовой [106], Г. Г. Фетисова [129].

Рациональное размещение производительных сил рассматривается как основа, главная составная часть региональной экономики [79]. Региональное развитие подразумевает рациональное использование имеющегося производственного потенциала на основе анализа потребностей районов в видах продукции, наличия ресурсов.

Сильной стороной отечественной школы региональной экономики считаются исследования, обеспечивающие планирование размещения производственных сил и регионального развития. Такие исследования были ориентированы на масштабные проблемы [18, с. 75].

Самым важным вопросом размещения производства является учет первостепенных по важности факторов. Это существенные условия, которые необходимо принимать при решении задач размещения производства. Вопросы закономерностей и факторов размещения производства отражены в работах [31; 41; 138; 145].

Важным моментом при размещении производства является учет экологических факторов. Размещение промышленных предприятий должно производиться с учетом наиболее рационального использования земель. При этом следует придерживаться сохранения земель, пригодных для сельского хозяйства, проживания и отдыха людей. Вопросы оптимального выбора места размещения промышленных объектов с позиции экологической безопасности рассмотрены в работах [19; 26; 80; 97].

Обзор научных исследований в работах по региональной экономике показывает, что основной её задачей является развитие экономики регионов и рациональное использование экономических ресурсов территории посредством рацио-

нального размещения производственных сил [37, гл. 6]. Изучая подходы к размещению производства, можно увидеть, что вопрос выбора конкретного места в этой прикладной экономической науке не решается.

В данной работе не ставится задача разработки подхода к размещению объектов. Разрабатываемые методы могут быть применены в рамках различных подходов. Автор видит свою задачу в том, чтобы предложить универсальный инструмент, который позволит увеличить число рассматриваемых вариантов размещения объекта и более точно и быстро оценить преимущества и недостатки этих вариантов по конкретным критериям. Конечной целью разработки является предоставление широкому кругу лиц возможности понять и оценить зависимость изменения затрат и рисков от изменения местоположения объекта. Вопросы рисков на этапе проекта обсуждались в работе [57] в соавторстве.

Результаты исследований источников затрат на повышение стоимости реализации проектов показывает, что они в значительной степени зависят от следующих причин:

- местонахождения объекта;
- сроков строительства;
- объемов работ;
- квалификации исполнителей;
- наличия энергетических ресурсов;
- наличия трудовых ресурсов;
- наличия стройматериалов;
- погодных условий;
- возможности стихийных бедствий;
- условий контракта [36].

Анализ этих причин в целях выявления и формализации факторов, которые могут быть учтены при сопоставлении вариантов размещения объектов, является одной из задач работы, на результатах решения которой основана дальнейшая разработка методов анализа.

## 1.4 Направления исследований и задачи диссертационной работы

Приведенный обзор показывает, что при решении задач размещения промышленных объектов возникают проблемы, которые обусловлены следующими особенностями предметной области:

- необходимостью учета географических (пространственных) факторов;
- многокритериальным и междисциплинарным характером анализа;
- наличием различных неопределенностей на стадии выбора вариантов размещения;
- необходимостью сбора большого объема разнообразных данных о территории.

Существующие методы и условия решения задач размещения объектов опираются на следующие методы и условия:

- нормативное регулирование градостроительной деятельности;
- использование экспертных методов;
- использование типовых методов пространственного анализа в ГИС.

Целью работы является обеспечение достоверности и повышение оперативности принятия решений по территориальному размещению промышленных объектов.

Для достижения означенной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить анализ методов учета пространственных факторов при выборе и оценке земельных участков для размещения промышленных объектов различного назначения.
2. Разработать метод поиска и анализа вариантов размещения промышленных объектов с использованием различных источников пространственных данных.
3. Разработать методы и алгоритмы построения моделей, необходимых для формирования и оценки альтернатив размещения промышленных объектов.
4. Разработать комплекс программных средств для решения задач размещения в среде ГИС и создания СППР по размещению промышленных объектов на территории городов.

При решении задач выбора земельных участков для размещения объектов инвесторам приходится учитывать множество различных факторов. Среди них есть такие, которые могут быть представлены в виде моделей зонирования, что отражено в работе [51] в соавторстве. Часть таких моделей существует в различных информационных системах, но эти модели разрознены и не могут быть использованы в существующем виде в составе СППР. Современный уровень развития информатизации позволяет находить характеристики различных конкретных объектов на территории. Однако отсутствуют простые и доступные способы оценки влияния этих характеристик на размещаемый объект.

Анализ возможностей и методов применения современных ГИС показывает, что зонирование и представление результатов анализа в виде тематических карт является востребованным и эффективным методом для реализации СППР по размещению объектов. Однако универсальная методика и программные средства для решения таких задач в настоящее время не разработаны.

Данная работа направлена на создание универсальной методики выбора и сравнительного анализа мест размещения объекта, которая может быть представлена в виде интерактивных Интернет-ресурсов. При этом анализ должен проводиться с учетом характеристик размещаемого объекта. Общая цель работы может быть сформулирована как повышение качества решений по размещению промышленных объектов на основе применения методов зонирования для многокритериального анализа и сопоставления оценок территориальных условий и требований к размещению объектов.

## **1.5 Выводы по 1-й главе**

1. Инвестиции на сегодняшний день являются неотъемлемой частью современной экономики. Принятие решений о создании и размещении новых промышленных объектов принимается широким кругом лиц. При этом им необходимо анализировать большое количество разнообразной информации и учитывать множество различных ограничений. Данная информация представлена в различных источниках, в том числе в сети Интернет. Однако существующие формы ее

представления затрудняют ее использование в целях выбора и оценки вариантов размещения объектов.

2. Развитие информационных технологий позволяет предоставлять инвесторам интересующую информацию об объектах с использованием геоинформационных систем. ГИС как система хранения и обработки пространственных данных открывает новые возможности поиска закономерностей и анализа входных наборов данных.

3. Наиболее наглядное и информативное представление о пространственной структуре территориальных систем дают интерактивные модели зонирования, отображающие результаты анализа данных в виде тематических карт. Модели зонирования активно используются в градостроительной деятельности и начинают использоваться для анализа систем энергоснабжения территорий. Однако процесс их создания осуществляется чаще всего субъективными методами. Поэтому существуют теоретические проблемы в построении таких моделей.

4. Выбор земельных участков для размещения объектов является комплексной задачей, при решении которой инвесторам приходится учитывать множество различных факторов. Значительная часть важных факторов анализа может быть представлена в виде моделей зонирования. При этом отсутствуют простые и доступные способы комплексного учета множества факторов на размещаемый объект. Однако универсальная методика и программные средства для решения таких задач в настоящее время не разработаны.

5. Целью работы является обеспечение достоверности и повышение оперативности принятия решений по территориальному размещению промышленных объектов.

## Глава 2 Разработка метода поиска и анализа вариантов размещения промышленных объектов в ГИС

### 2.1 Формализация задачи принятия решений по размещению объектов

#### *Модель принятия решений в задачах размещения промышленных объектов*

Системный подход к процессу принятия решения по размещению объектов позволяет сформулировать состав этапов поиска решений и путем установления отношений следования между этапами сформировать последовательность принятия решений. На первом этапе описывается проблема, а завершает процесс принятия решения этап реализации.

На рисунке 2.1 приведена общая структура процесса принятия решения.

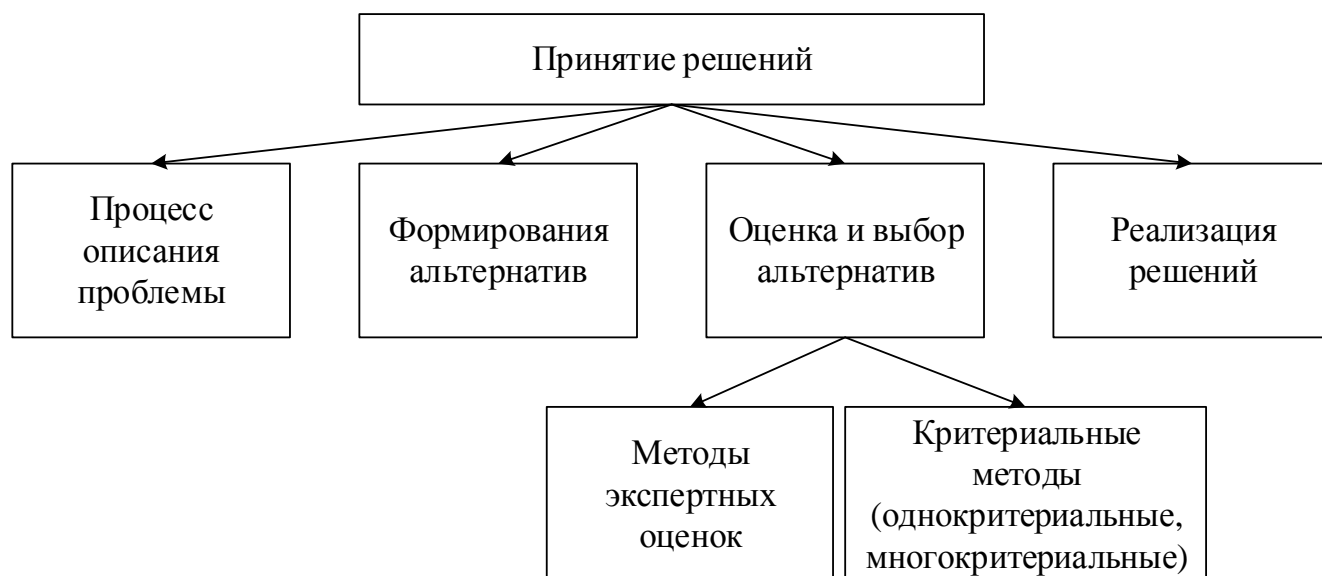


Рисунок 2.1 — Процесс принятия решений

На этапе описания проблемы применяются методы, обеспечивающие диагностику проблемы. Среди них выделяют методы сравнения, факторного анализа, моделирования и прогнозирования. Они позволяют осуществить сбор, обработку и анализ информации.

Методы генерации альтернатив позволяют найти ответы на вопросы типа «как можно решить проблему?». Чаще всего на этом этапе используются методы коллективного и индивидуального решения проблем. Среди них можно выделить интуитивный подход, метод мозгового штурма, эвристические методы и методы номинальной групповой техники [127].

Для оценки альтернатив используются критериальные методы и методы экспертных оценок. Методы экспертного оценивания применяются для слабоформализуемых проблемных ситуаций. Критериальные методы — это способ описания альтернативных вариантов с точки зрения предпочтений ЛПР.

Методы реализации разнообразны и представляют собой процесс менеджмента с точки зрения принятия решений.

Формальную модель задачи принятия решения записывают в виде выражения (2.1) [102, с. 34]:

$$\text{ЗПР} = \langle \text{Pur}, E_{\text{вх}}, I_A, J_A, K, \text{Мод}, \text{Met}, E_{\text{вых}} \rangle, \quad (2.1)$$

где Pur — цель принятия решения (выбор альтернативы или упорядочение множества альтернатив);

$E_{\text{вх}}$  — исходные данные для порождения альтернатив (текущее состояние системы);

$I_A$  — правила порождения альтернатив;

$J_A$  — множество порожденных альтернатив проектного решения (планируемых к достижению в результате реализации решения состояний системы);

$K$  — множество критериев, по которым оцениваются альтернативы;

Мод:  $J_A \rightarrow K$  — модель, позволяющая для каждой альтернативы рассчитать вектор критериев;

Met — решающее правило (метод) для выбора альтернативы в многокритериальной ситуации;

$E_{\text{вых}}$  — принятая к реализации альтернатива (планируемое состояние системы после реализации принятого решения).

Применение данной модели в рассматриваемой задаче связано с необходимостью описания всех ее элементов и их практической реализации в составе СППР. В данной работе рассматривается подход к реализации этой модели в среде ГИС для учета географических факторов размещения, этому посвящены работы автора [108; 110].

Целью принятия решения (Pur) является выбор земельного участка для размещения некоторого производства либо ранжирование имеющихся вариантов размещения по затратам. При выборе участка (участков) принимаются во внимание потребности производства в использовании заданных объемов ресурсов с учетом имеющихся ограничений при минимальных затратах на реализацию проекта по открытию производства. На участке (участке) могут быть уже размещены некоторые промышленные объекты.

Одной из проблем, возникающих при реализации модели (2.1), является сбор, обработка и представление необходимых для анализа исходных данных о состоянии экономической, технической и социально-политической структуры территории (множество  $E_{вх}$ ), а также представление этих данных в виде, пригодном для применения формальных методов анализа и удобных для восприятия экспертом. Эта проблема заключается в сложности поиска информации и определения связей между найденными данными. Так, каждому объекту территории может соответствовать несколько записей в различных источниках (документах, цифровых картах, таблицах баз данных и т.д.). Разработка методов и средств формирования  $E$  является одной из задач работы.

Формализация процессов порождения альтернатив (I) в рассматриваемой постановке может быть сведена к выбору земельных участков на карте, удовлетворяющих заданным ограничениям. Однако состав этих ограничений и способы их представления требуют проработки.

Картографическое изображение является удобной для восприятия человеком формой представления информации. Поэтому при размещении объектов используются традиционные географические карты и современные средства представления пространственных данных в ГИС в виде цифровых карт и виртуальных



глобусов. Источники картографических данных на сегодняшний день разнообразны и доступны как в свободных проектах, так и в коммерческих решениях. Предоставление таких наборов данных при помощи сервисов, доступных в сети Интернет, позволяет облегчить задачу экспертов по формированию исходных баз данных для оценки инвестиционной привлекательности участков. Помимо стандартных показателей экономических и социально-политических показателей можно рассчитать комбинированные показатели на их основе. Однако на сегодняшний день работа по сбору и интеграции таких данных требует специальных знаний и усилий. В работе предлагается подход, позволяющий реализовать этот процесс в составе СППР, доступной для широкого использования в сети Интернет.

В настоящее время при решении задач размещения объектов процессы формирования, оценки и выбора альтернатив (I, J, K) выполняются в виде неформализованных процедур. При этом могут использоваться экспертные оценки или отдельные, не связанные друг с другом, экономические и инженерные расчеты. В ряде случаев используются частные методики, ориентированные на узкие прикладные области и требующие сбора специфических данных, как было показано на примерах в 1-й главе. В работе выдвинута гипотеза о возможности применения унифицированных методов реализации этих элементов модели в среде ГИС с использованием моделей зонирования.

Другим недостатком существующих методов анализа является использование ограниченного набора исходных альтернатив (множество J). Это множество обычно формируется экспертами вручную и является довольно ограниченным. Разработка средств автоматической генерации этого множества позволит анализировать все потенциально возможные варианты и фактически перевести задачу принятия решения в класс оптимизационных задач.

Решающее правило Met определяет инвестор. В общем случае оно сводится к минимизации затрат  $Z$  и/или максимизации эффектов  $P$  для различных факторов — критериев — и формулируется в виде выражений (2.2)

$$Z = \sum_i Z_i \rightarrow \min, P = \sum_j P_j \rightarrow \max. \quad (2.2)$$

В данном случае анализируются переменные составляющие затрат и эффектов, зависящие от местоположения объектов. Такие затраты связаны с присоединением к источникам энергии, необходимостью доставки сырья и сбыта продукции, а эффекты, например, возможностью охватить большее количество клиентов при сбыте продукта или услуги.

В настоящее время нет единой автоматизированной методики, которая позволила бы согласованно решать задачи на всех этапах реализации процесса на основе единой информационной модели. Создание такой методики и модели позволит придать процессу итерационный характер, убрать из него множество рутинных операций по сбору и преобразованию данных и за счет этого сократить временные затраты на выбор и оценку варианта размещения. Это, в свою очередь, позволит рассматривать большее количество вариантов и автоматизировать весь процесс в целом.

### ***Моделирование факторов, влияющих на размещения промышленных объектов***

Набор условий для целесообразного выбора мест размещения объектов или территориально-производственного комплекса называют факторами размещения [106]. Для промышленных объектов необходимо учитывать факторы, характеризующие макроэкономическое и социальное развитие региона. Также должны рассматриваться специфичные факторы для отрасли промышленности, конкретно те из них, которые определяют возможность и оптимальность реализации проекта на той или иной площадке региона. В принятой модели (2.1) факторы определяют критерии  $K$ .

На ранних этапах развития СППР много работ были посвящены решениям задач территориального планирования, эффективного размещения промышленных объектов. Зачастую в таких работах недостаточно прорабатывались вопросы оптимального территориального размещения промышленных объектов. В более поздних исследованиях предпринимались попытки сформировать полный и универсальный набор факторов размещения промышленных объектов путем выделе-

ния региональные факторов в классификационные группы. Один из таких наборов приведен в работе [36].

В исследованиях, проводимых в данной сфере, факторы размещения не изучались с позиций методов их анализа средствами ГИС. В таблице 2.1 приведены результаты такого исследования, проведенные автором. При этом для рассмотренных групп факторов определялась возможность их учета в виде ограничений на этапе порождения альтернатив и в виде критерия, приведенного к формуле вычисления затрат или эффекта на этапе оценки альтернативы.

Таблица 2.1 — Факторы размещения и методы их анализа реализации средствами ГИС

Географические факторы	Возможные методы анализа средствами ГИС	Целесообразность учета на уровне ограниченных территорий	Как учитывается в СППР на базе ГИС
1	2	3	4
<b>1 Природные</b>			
1.1 Климатические условия (температура, влажность воздуха, осадки, снежный покров, продолжительность зимнего периода)	Представление в виде моделей непрерывного распределения параметра (виртуальный рельеф)	нет	Критерий и ограничения
1.2 Гидрологические условия	Представление в виде моделей непрерывного распределения параметра (виртуальный рельеф или в виде зонирования)	да	Критерий и ограничения
1.3 Наличие лесных массивов	Представление в виде моделей полигональных объектов	да	Критерий и ограничения (с учетом близости к массивам)

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4
1.4 Рельеф местности (крутизна и экспозиция склонов, высота над уровнем моря и т. д.)	Представление в виде моделей поверхности или в виде зонирования	да	Ограничения
1.5 Сейсмичность	Представление в виде моделей непрерывного распределения параметра (виртуальный рельеф или в виде зонирования)	нет	Ограничения
<b>2 Социально-демографические</b>			
2.1 Размещение населения (численность, плотность, концентрация)	Представление в виде моделей непрерывного распределения параметра (виртуальный рельеф или в виде зонирования)	да	Критерий и ограничения
2.2 Концентрация и характеристика трудовых ресурсов	Представление в виде моделей непрерывного распределения параметра (виртуальный рельеф или в виде зонирования)	да	Критерий и ограничения
2.3 Обеспеченность объектами социального назначения	Представление в виде объектов, представляющих организации, моделей непрерывного распределения параметра (виртуальный рельеф или зонирование)	да	Критерий и ограничения
2.4 Национальная структура	Представление в виде моделей непрерывного распределения параметра (виртуальный рельеф или в виде зонирования)	да	Критерий и ограничения
<b>3 Экономико-географические</b>			
3.1 Сырьевые ресурсы (наличие и характер)	Представление в виде объектов, представляющих источники, и в виде зонирования	да	Критерий и ограничения
3.2 Производственная база промышленности (наличие и характер)	Представление в виде объектов, представляющих предприятия, и в виде зонирования	да	Критерий и ограничения
3.3 Концентрация промышленности	Представление в виде моделей непрерывного распределения параметра (виртуальный рельеф или в виде зонирования)	да	Критерий и ограничения

Окончание таблицы 2.1

1	2	3	4
3.4 Развитость транспортных коммуникаций	Представление в виде объектов, представляющих коммуникации, и в виде зонирования	да	Критерий и ограничения
3.5 Техно-экономические условия промышленности	Представление в виде зонирования	да	Критерий и ограничения
4 Градостроительные			
4.1 Характеристика селитебных территорий	Представление в виде зонирования	да	Критерий и ограничения
4.2 Обеспеченность инженерными коммуникациями	Представление в виде объектов, представляющих коммуникации, и в виде зонирования	да	Критерий и ограничения
4.3 Историко-культурная характеристика района	Представление в виде объектов, представляющих историко-культурную ценность, и в виде зонирования	да	Критерий и ограничения

Результаты анализа показывают, что все факторы, включая те, которые изменяются в пределах протяженных территорий (1.1, 1.5), могут быть оценены в среде ГИС и представлены для анализа в виде различных моделей. При этом все они могут быть сведены к моделям зонирования, в которых каждая зона характеризуется определенным значением (диапазоном значений) некоторого оценочного показателя, и в большинстве случаев могут представляться при анализе и как критерии, и как ограничения.

Приведенная классификация является достаточно полной, но не является детальной и не характеризует значимость и частоту использования анализа указанных факторов на практике. Эти показатели сложно учесть, поскольку они могут существенно меняться от проекта к проекту. Вместе с тем, поскольку подход предполагает использование унифицированного метода учета факторов, основанного на моделях зонирования, в дальнейшем эти факторы по отдельности рассматривать не будем. Вместо этого возьмем наиболее сложный в реализации фактор, для которого оставшиеся факторы можно рассматривать как частные случаи. Таким фактором выбраны условия энергоснабжения объекта. Этот фактор в общем случае может быть представлен для оценки показателем близости к источни-

кам энергоресурсов, которую можно оценить по картам. Но еще более информативным для инвесторов показателями является стоимость присоединения к источникам электро-, газо-, тепло- и водоснабжения. Для того чтобы сделать такие оценки, необходимо использовать специальные методы расчетов, в которых будут учитываться технические условия потенциальных близлежащих источников ресурса и затраты на прокладку новых коммуникаций. Такие расчеты можно выполнять в процессе анализа для конкретного местоположения объекта, но при наличии достаточной информации они могут быть проведены заранее для некоторой территории и представлены в виде тематической карты. Такой подход пока не применяется в практике анализа при принятии решений, и его разработка является одной из задач работы.

Как уже отмечалось, другие факторы могут быть учтены аналогично, но в более простой с точки зрения реализации форме. Так, водный фактор часто имеет решающую роль при размещении предприятий текстильной, целлюлозно-бумажной, химической промышленности, черной металлургии и электроэнергетики. Этот фактор может быть учтен через расстояние до водных объектов, имеющих заданные характеристики. Чаще всего такой анализ может быть произведен в ГИС с использованием методов построения буферных зон (см. п. 1.2.2). Трудовой фактор имеет важное значение при размещении крупных предприятий, таких как машиностроение и легкая промышленность. Также важным фактором для развития в добывающей промышленности является наличие специализированных кадров. В разрабатываемом подходе этот фактор учитывается через расстояние от места размещения объекта до мест проживания потенциальных сотрудников предприятия. Он может быть представлен в ГИС моделями зонирования, построенными путем расчета времени движения от центров проживания населения до всех участков территории по существующей транспортной сети или, наоборот, от мест размещения предприятий до участков населенных территорий. При этом может учитываться время движения на общественном транспорте, автомобиле или пешком. Этот же метод может использоваться при учете возможностей обслуживания предприятием множества потенциальных клиентов. В ряде исследо-

ваний [40, п. 4.3] разработаны математические модели учета данного фактора при размещении предприятий, однако практические аспекты реализации этих моделей, сбора и представления данных для расчетов в них не приводятся.

Земельный фактор важен в городах в условиях ограниченности инженерных коммуникаций и площадей для сооружений. Размещение предприятий в виде промышленных комплексов является одним из решений. Часто промышленным предприятиям не нужны значительные новые строительные площадки. Многие из них могут быть размещены на уже занятых землях в результате выкупа или долгосрочной аренды этих земель. Учет этой возможности достаточно трудоемок и не очевиден при ручных методах анализа. Классификация ЗУ по различным признакам в среде ГИС также является мощным инструментом для реализации функций генерации альтернатив и их анализа в СППР.

Сырьевой фактор определяет расход сырья относительно готовой продукции. Размещение предприятий с высоким индексом материалоемкости требует правильного определения районов потребления и расходов по транспортировке. Во многих отраслях промышленности транспортная составляющая в доле стоимости готовой продукции значительна. Учет этого фактора возможен на основе решения транспортных задач в ГИС. Коллективом, в котором работает автор, проведен ряд исследований по анализу и оптимизации транспортных затрат предприятий [49]. Результаты этих исследований являются одной из составляющих реализации разработанного автором метода поддержки принятия решений.

Градостроительные условия и ограничения рассмотрены в п.1.1. Они естественным образом включаются в методики анализа на основе зонирования, поскольку традиционно реализуются в виде систем зон, представленных в виде карт.

Таким образом, все факторы, приведенные в таблице 2.1, предлагается представлять в виде моделей зонирования и комплексно учитывать при решении задач размещения промышленных объектов в среде ГИС.

## 2.2 Разработка метода поддержки принятия решений на основе моделей зонирования

### *Общая схема метода*

Основная идея предложенного автоматизированного метода поддержки принятия решений заключается в следующем. Многокритериальная задача выбора земельного участка из всех существующих на территории или ранжирования указанных земельных участков сводится к задаче однокритериальной оптимизации с ограничениями путем выделения главного критерия и замены оставшихся критериев ограничениями, которые представляются в виде моделей зонирования. Такой подход позволяет разбить решение задачи выбора оптимального варианта на две подзадачи:

1. Рассмотрение всех возможных вариантов размещения объекта (всех имеющихся на карте земельных участков) и «отсечение» недопустимых решений по ограничениям. Эта подзадача решается средствами пространственного анализа ГИС путем выделения и пересечения зон, соответствующих ограничениям.

2. Ранжирование оставшихся альтернатив по главному критерию либо построение области Парето по выбранному набору критериев.

Выбор ограничений и критериев в этом подходе остается за ЛПР. При этом ЛПР может многократно решать задачу относительно разных критериев и ограничений, поскольку весь процесс учета ограничений и ранжирования по критериям полностью автоматизирован.

Общая схема метода представлена на рисунке 2.2.

Исходная информация в данном случае имеет разную природу и форму представления. Градостроительные условия и ограничения, а также данные существующей системы землепользования по своей природе являются моделями зонирования. Они изначально представляются в ГИС в виде полигональных объектов и используются как ограничения при формировании множества альтернатив.

Наборы пространственных объектов линейной и точечной локализации используются для построения моделей оценки альтернатив. При этом может возник-



каль сложная задача представления критериев и ограничений в виде зон. Если зоны генерального плана, например представляющие допустимые области жилой застройки или водоохранные зоны, четко и однозначно определены, то такие зоны, как наличие резервов электрической мощности, имеют довольно условные границы вследствие имеющихся неопределенностей на этапе анализа. Данная работа в значительной степени направлена на решение этих проблем. Без их решения рассматриваемый метод не был бы эффективным. Результаты разработки данных методов и алгоритмов построения зон для инженерных сетей приведены в 3-й главе диссертации. В этой главе будем рассматривать результаты использования уже построенных моделей зонирования по различным показателям в общем методе поддержки принятия решения.



Рисунок 2.2 — Схема метода поддержки принятия решений на основе моделей зонирования

Основной идеей и отличием предложенного метода от других методов комплексного пространственного анализа при решении задач размещения является сведение всех критериев и ограничений к универсальному представлению в виде

множества слоев полигональных объектов. Это дает возможность применять известные средства анализа, использующие теоретико-множественные операции со слоями полигональных объектов в ГИС. На рисунке 2.2 эти задачи представлены в блоке «Построение комплексных моделей зонирования». Важно отметить, что в методе используются модели зонирования, которые строятся для решения конкретной задачи и конкретных заданных требований к размещению объекта. Их в общем случае нельзя построить заранее на все случаи жизни, как это делается, например, в генеральных планах развития территорий. Хотя отдельные модели зонирования в процессах анализа могут использоваться многократно.

Результатом применения метода являются тематические карты, на которых выделяются зоны (Рисунок 2.3), удовлетворяющие заданным критериям или ранжируются земельные участки, заданные как исходное множество альтернатив. На рисунке 2.4 приведены примеры представления результатов анализа, выполненного на основе предложенного метода.



Рисунок 2.3 — Выбор области по заданным критериям

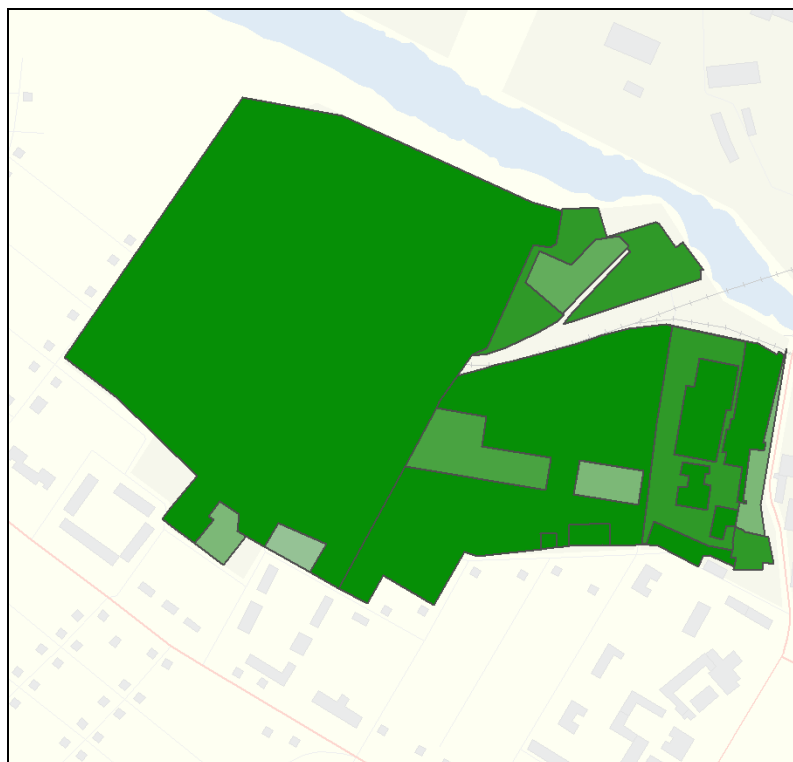


Рисунок 2.4 — Ранжирование участков (показано градациями закраски)

### *Формализация задачи зонирования*

Основная идея зонирования состоит в построение новых объектов — зон. Зоны представляют собой участки территорий, построенные на основе заданных критериев или групп критериев. Границы зон могут совпадать с границами существующих географических объектов либо задаваться в результате моделирования.

Каждая математическая модель зонирования территории представляется в виде (2.3):

$$M_i = \langle p, a \rangle \quad (p \in P) \quad (a \in A), \quad (2.3)$$

где  $p$  — множество зон (полигонов на карте);  $a$  — множество атрибутов (2.4):

$$a = \langle a_1, \dots, a_n \rangle \quad (k \in N). \quad (2.4)$$

Модели зонирования могут быть двух видов, каждый из которых имеет свой способ реализации в ГИС:

- 1) множество несвязных или многосвязных полигонов;
- 2) полигональные покрытия.

Множества полигонов реализуются как слои непересекающихся полигонов, которые могут иметь «дыры». Если такие полигоны покрывают плоскость без «щелей и перекрытий», то они являются покрытием, которое может быть представлено в виде (2.5)

$$P = \{p_j \mid j = \overline{1, J}\}, \bigcap_{j=1}^J p_j = \emptyset, \bigcup_{j=1}^J p_j = \hat{p}, \quad (2.5)$$

где  $J$  — количество полигонов в слое карты;

$\hat{p}$  — полигон, охватывающий всю исследуемую территорию.

Полигоны описаны множеством границ  $L = \{l_k \mid k = \overline{1, K}\}$ , которые образуют планарный граф.

Любое множество непересекающихся полигонов может быть представлено как покрытие путем добавления к нему внешнего полигона, закрывающего всю не занятую другими полигонами область. Поэтому далее будем всегда говорить о моделях зонирования как о покрытиях, имея в виду, что внешний полигон всегда можно исключить при анализе.

Таким образом, модель зонирования представляется в виде выражений (2.3) — (2.4).

Для моделей зонирования определены оверлейные функции. Под понятием оверлей в ГИС понимают операцию над двумя и более исходными наборами географических объектов, в результате которой создаётся набор результирующих объектов с новыми пространственными данными.

Для получения выходных объектов исходные объекты пересекаются с оверлейным объектам. Например, наложение линии на полигон делит полигон на несколько частей. Полученным объектам присваиваются атрибутивные данные оверлейных объектов вместе с атрибутами исходных объектов.

В работе используются алгоритмы, в которых необходимо последовательно выполнять обработку данных. Наборы входных объектов обрабатываются, и получается набор выходных объектов, который является промежуточным и затем обрабатывается со следующими наборами объектов, и получается следующий

промежуточный набор объектов. Так продолжается до тех пор, пока не будет достигнут выходной набор объектов.

Оверлейные операции выполняются как над векторными, так и над растровыми данными. Причем оверлейные операции над растровыми данными являются более простыми.

Базовыми логическими операциями для наборов данных А и В являются конъюнкция, дизъюнкция, отрицание [146]. С помощью этих логических операций в процессе реализации предложенного метода описываются сложные логические функции. Использование логических операций в определённой комбинации определяет тип оверлейной операции. Такие операции в ГИС называются инструментами (см. п. 1.2.2).

Многочисленные векторные операции, используемые в ГИС и применимые в предложенном методе, состоят из базовых операций: Union, Intersection, Inclusion, Exclusion [136; 147].

Объединение (Union) эквивалентно булевому оператору ИЛИ (OR). Выходным объектом для этой операции является объединение входных объектов с оверлейными объектами с объединением атрибутов. Математическое описание (2.6):

$$M_1 \cup M_2 = M_3. \quad (2.6)$$

Пересечение (Intersection) эквивалентно булевому оператору И (AND). Выходные объекты образуются геометрическим пересечением входных объектов с оверлейными объектами и путем выбора общих объектов. Атрибуты выходных объектов содержат атрибуты входных и оверлейных объектов. Математическое описание (2.7):

$$M_1 \cap M_2 = M_3. \quad (2.7)$$

Включение (Inclusion). Выходные объекты включают все входные объекты и часть оверлейных объектов, которые геометрически входят во входные объекты. Фактически входные объекты используются как трафарет. Математическое описание (2.8):

$$(M_2 \subset M_1) \cup M_1 = M_3. \quad (2.8)$$

Исключение (Exclusion). Выходные объекты включают все входные объекты, за исключением части оверлейных объектов, которые геометрически входят во входные объекты. Математическое описание (2.9):

$$M_1 \setminus M_2 = M_3. \quad (2.9)$$

Более сложные векторные оверлейные операции иногда требуют много времени для выполнения. Решением этой проблемы является использование в качестве данных растров. Операции над растрами являются более быстрыми, но имеют меньшую точность по сравнению с векторными данными, однако их применение на больших территориях оправдано.

Для вычисления растра используются арифметические операторы, тригонометрические операторы, операторы сравнения и логики [136], которые представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 — Операторы, используемые для вычисления растров

Название	Описание
Арифметические операторы	+, -, *, /.
Тригонометрические операторы	sin, cos, tan, asin, acos, atan.
Операторы сравнения	<, <=, =, >=, >, <>
Логические операторы	AND, OR, NOT, XOR

Представленные растровые оверлейные операторы могут быть использованы как комплексные выражения.

### ***Построение комплексной модели зонирования***

При принятии решений о выборе площадок реализации промышленных объектов необходимо использовать методы комплексного анализа. Они должны позволять эксперту учитывать в процессе принятия решения набор значимых факторов; могут быть реализованы с использованием программно-технических

средств. В работе предложен такой метод, который реализуется средствами ГИС [56].

Формирование альтернатив обеспечивается заданием множества земельных участков и граничных областей поиска возможных решений. Можно выделить два компонента граничных областей: критерии оценки альтернатив и принятые ограничения реализации решений. Критерий — это способ описания альтернативных вариантов решений, способ выражения различий между альтернативами с точки зрения ЛПР. Количественные критерии принято называть критериями эффективности.

Процесс комплексного зонирования с технической точки зрения сводится к определенной последовательности выполнения операций (в ГИС они могут быть реализованы в виде так называемых инструментов) над исходными пространственными данными.

В предложенном методе комплексная модель зонирования  $M^*$  образуется с использованием оверлейных операций (см. п. 2.2.2) над имеющимися зонами  $M_i$  и объединения их атрибутов (2.10):

$$F(\{M_i\}) \rightarrow M^*, \quad (2.10)$$

$$M^* = \langle P^*, A^* \rangle,$$

$$P^* = \bigcap_{i=1}^I P_i,$$

$$A^* = \bigcup A_i.$$

В ГИС эта операция осуществляется автоматически при помощи базовых инструментов анализа (см. п. 1.2.2).

На рисунке 2.5 показан пример наложения зон трех моделей зонирования. Пересечение границ этих зон дает новое покрытие, элементам которого сопоставлены атрибуты всех исходных слоев.

Рассмотрим алгоритм решения задачи анализа участка территории, представленного в виде модели зонирования на рисунке 2.5. Допустим, что для принятия решения интересен только один атрибут для каждой модели зонирования и

эти модели представлены в виде двух зон. Комплексная модель включает 6 зон. Каждая зона характеризуется комбинацией значений трех атрибутов:  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ .



Рисунок 2.5 — Наложение моделей зонирования

Значения атрибутивных данных для зон представляются, как в таблице 2.3. Последняя строка таблицы — оценка по заданному критерию, которая определяется в результате анализа.

Таблица 2.3 — Пример данных для оценки зон

Атрибут	Значение атрибута для зон					
	1	2	3	4	5	6
$A_1$	9	9	20	9	9	20
$A_2$	0	15	15	0	15	15
$A_3$	5	5	5	30	30	30
Оценка	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$	$V_6$

Задавая различные критерии и ограничения, можно решать задачи оптимального выбора площадок для размещения объектов. Например, найти участки с максимальным показателем атрибута  $A_3$  и ограничениями по  $A_1$  не менее 5 и по  $A_2$  не менее 15 (2.11):



$$i = F(A^*), A_3 \rightarrow \max, A_1 > 5, A_2 > 15. \quad (2.11)$$

Определение оценок в данном случае осуществляется путем проверки условий и значения  $A_3$  для всех зон модели. В результате получаем  $V_1 = V_2 = V_4 = V_5 = 0$ , что означает, что эти участки не проходят по ограничениям.  $V_3 = 5, V_6 = 30$ . Из этого следует, что участок с номером 6 является наилучшим по заданному критерию.

В реальных условиях число зон может составлять сотни, а атрибутов — десятки. При этом выбор наилучших решений становится неочевидным. При многокритериальной постановке в таком случае может быть построена область Парето [96], включающая несколько конкурирующих по разным критериям зон, либо использованы различные методы свертки критериев. Так, если в приведенном примере задать целью построение области Парето по трем критериям  $A_1 \rightarrow \max, A_2 \rightarrow \max, A_3 \rightarrow \max$ , то при имеющихся значениях параметров получим, что только участок  $V_6$  входит в эту область.

В задачах экономического анализа и планирования атрибуты зон могут быть сведены к единым стоимостным показателям, что позволяет сводить комплексный анализ к однокритериальной постановке.

Конечный пользователь системы моделирования работает с цифровой картой и видит результаты выборок или ранжирования в виде тематических карт, на которых цветом или другим графическим способом отображаются результаты моделирования. Отображения результатов ранжирования, полученных в рассмотренном примере, показано на рисунке 2.6. Яркость заливки отражает предпочтительность зоны при заданных условиях.

### ***Удаление «шума» в комплексной модели зонирования***

В общем случае при использовании большого количества моделей зонирования, в которых границы используемых зон не совпадают с существующей системой кадастрового деления территории (границами существующих земельных участков), результирующая комплексная модель может включать большое коли-

чество полигонов, среди которых могут оказаться достаточно малые по размеру участки. Это создает своего рода «шум» в результирующей модели. В результате карта может получиться не наглядной и «пестрой». Пример такой ситуации можно увидеть, если к трем моделям зонирования (рисунок 2.5) добавить еще одну, которая разбивает фрагмент территории на две части, как показано на рисунке 2.7 (граница зон — толстая линия). В центре рисунка видны два треугольника, которые не подходят для размещения объекта.



Рисунок 2.6 — Представление результатов ранжирования  
в виде тематической карты

Для устранения таких зашумляющих элементов предложен способ, который предполагает введение дополнительного ограничения на минимальный размер участка. Этот размер определяется ЛПР через параметр минимальной площади участка для размещения объекта  $S_{\min}$ . Для учета этого ограничения предложен специальный алгоритм, который осуществляет постобработку комплексной модели, полученной путем пересечения зон.



Рисунок 2.7 — Наложение моделей зонирования

Он включает следующие действия:

1. Выявляется множество полигонов  $P$ , имеющих площадь меньше заданного минимального значения.
2. В  $P$  находятся полигоны, имеющие общие границы. Все полигоны, имеющие общую границу, объединяются в кластер. Получаем множество кластеров  $Q$ .
3. Удаляются все полигоны, не попавшие в кластеры, и все кластеры, суммарная площадь которых меньше  $S_{\min}$ .
4. Берется очередной кластер и, если его площадь имеет значение больше  $2 S_{\min}$ , предпринимается попытка разделить его на две части (на два новых кластера). При этом площадь каждого нового кластера должна быть больше чем  $S_{\min}$ .
5. Если попытка не удастся, кластер преобразуется в один полигон в результирующем множестве  $P'$  и кластер удаляется из множества  $Q$ . Значение критерия в данном полигоне определяется по формуле (2.12):

$$\ddot{a} = \frac{\sum_i a_i s_i}{\sum_i s_i}, \quad (2.12)$$

где  $a_i$  и  $s_i$  — значение критерия и площадь полигона соответственно.

6. Если попытка удастся, один кластер в  $Q$  заменяется на два новых и осуществляется переход к п. 4.

7. Процесс продолжается, пока множество  $Q$  не станет пустым. Результат находится в множестве  $P'$ .

В результате выполнения всех действий получаем тематическую карту, все зоны которой можно рассматривать как площадки, на которых существует искомое решение.

### **2.3 Пример решения задачи комплексного анализа альтернатив с использованием моделей зонирования**

Рассмотрим пример анализа участка территории для размещения промышленного объекта. В примере использованы данные по городу Иваново, полученные при выполнении различных проектов по разработке ГИС, выполненных в ИГЭУ [42; 48]. Будем считать, что интерес представляет стоимость присоединения к электрическим сетям для заданного энергопотребления. Модели зонирования представлены в виде градостроительных ограничений для размещения промышленных предприятий и моделью зонирования доступности газопровода среднего давления.

Рассматриваемая территория состоит из 88 земельных участков. Модель зонирования доступности газопроводной сети представлена буферными зонами размером 200 м. Градостроительное зонирование представлено в виде четырех производственных зон генерального плана.

$A_1$  — оценочная стоимость присоединения к электрическим сетям (руб.).

$A_2$  — доступность газопровода среднего давления (1 — земельный участок входит в область, 0 — вне области).

$A_3$  — градостроительное зонирование (1 — земельный участок входит в зону, 0 — вне зоны).

Для расчета стоимости присоединения к электрическим сетям использовалось значение максимальной заявленной мощности, равной 150 кВт. Фрагмент

построения комплексной модели зонирования приведен на рисунке 2.8, а в таблице 2.4 приведены данные по оценке зон.

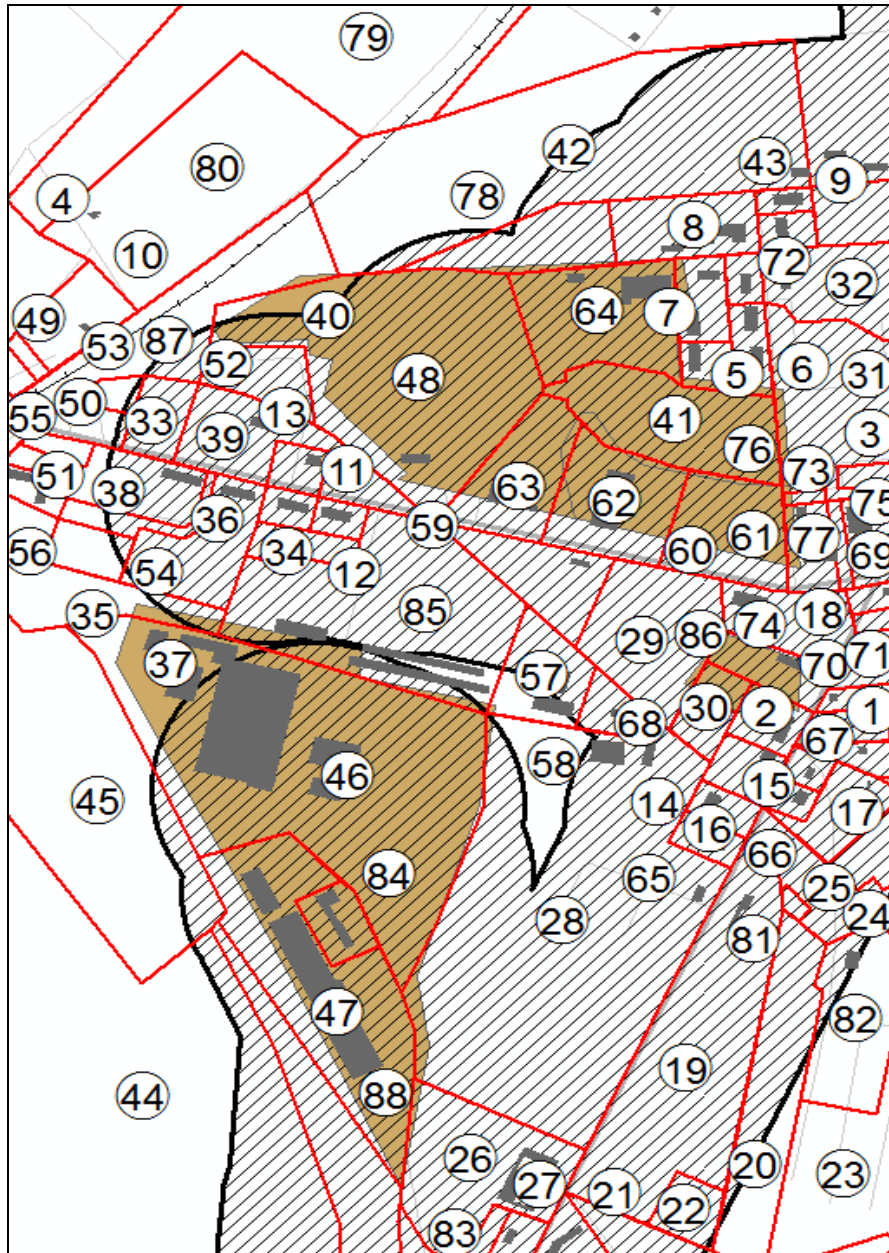


Рисунок 2.8 — Фрагмент комплексной модели зонирования территории города Иваново:

- границы земельных участков;
- зоны промышленных предприятий;
- буфер 200 м для газопровода среднего давления






Таблица 2.4 — Данные и оценки зон

Номер зоны	Значение атрибута для зоны			Оценка	Номер зоны	Значение атрибута для зоны			Оценка
	А <sub>1</sub> , руб.	А <sub>2</sub>	А <sub>3</sub>			А <sub>1</sub> , руб.	А <sub>2</sub>	А <sub>3</sub>	
1	651528	1	0		45	936610	1	0	
2	589851	1	0		46	596743	1	1	596743
3	770186	1	0		47	1145190	1	1	1145190
4	811125	0	0		48	634581	1	1	634581
5	824242	1	0		49	977812	0	0	
6	743159	1	0		50	718008	0	0	
7	916136	1	0		51	769960	1	0	
8	759375	1	0		52	978523	1	0	
9	716168	1	0		53	919555	1	0	
10	993519	0	0		54	836778	1	0	
11	368110	1	0		55	684346	0	0	
12	310250	1	0		56	665520	0	0	
13	472415	1	0		57	758908	1	0	
14	568229	1	0		58	741205	1	0	
15	600662	1	0		59	591337	1	0	
16	519579	1	0		60	692556	1	0	
17	1200033	1	0		61	809376	1	1	809376
18	649311	1	0		62	921074	1	1	921074
19	650812	1	0		63	650798	1	1	650798
20	475109	1	0		64	1021650	1	1	1021650
21	537296	1	0		65	643906	1	0	
22	583220	1	0		66	660123	1	0	
23	707547	1	0		67	735800	1	0	
24	473146	1	0		68	1216249	1	0	
25	881107	1	0		69	773639	1	0	
26	650812	1	0		70	741205	1	0	
27	631665	1	0		71	573634	1	0	
28	843268	1	0		72	575625	1	0	
29	789213	1	0		73	908777	1	0	
30	476335	1	1	476335	74	914182	1	0	
31	678293	1	0		75	838505	1	0	
32	597210	1	0		76	760726	1	0	
33	738860	1	0		77	937758	1	0	
34	717012	1	0		78	1074247	1	0	
35	715339	1	0		79	1283749	0	0	
36	326466	1	0		80	923449	0	0	
37	803287	1	0		81	1324360	1	0	
38	868336	0	0		82	864307	1	0	
39	861915	1	0		83	688651	1	0	
40	632981	1	0		84	848674	1	1	848674
41	794618	1	1	794618	85	596743	1	0	
42	1041813	1	0		86	1216249	1	1	1216249
43	733698	1	0		87	634581	1	0	
44	654007	1	0		88	1145190	1	0	

В результате исключения участков по ограничениям ( $A_2 > 0$ ,  $A_3 > 0$ ) на карте остаются участки области допустимых решений, которые ранжированы по критерию стоимости технологического присоединения к электрической сети (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 — Фрагмент карты с ранжированием участков по стоимости присоединения к электрическим сетям:

	— 476 335—624 318 руб.;		— 920 284—1 068 266 руб.;
	— 624 319—772 301 руб.;		— 1 068 267—1 216 249 руб.
	— 772 302—920 283 руб.		

Наиболее светлый цвет на карте показывает выгодные при заданных условиях варианты размещения объектов. В данном примере для простоты выбраны три параметра анализа. В реальных ситуациях сюда могут быть добавлены модели зонирования по формам собственности земли и стоимости ее аренды, данные по системам теплоснабжения и водоснабжения, данные по транспортной доступности и наличию железнодорожных путей, данные о населенности прилегающих территорий, экологические факторы и ограничения и другие (см. таблицу 2.1). Тем не менее полученные результаты, разумеется, не дают полной информации для ЛПР об инвестиционной привлекательности решений. Этот метод должен использоваться в комплексе с другими методами экономического анализа. Он лишь расширяет арсенал существующих методов, но не заменяет их.

## 2.4 Выводы по 2-й главе

1. Задачу размещения промышленных объектов можно формально представить в виде известного в теории принятия решений выражения, основанного на представлении этого процесса через процессы формирования альтернатив, оценки их последствий по заданным критериям и последующего ранжирования альтернатив по заданным критериям. При этом часть критериев связана с географическим положением объекта и может быть представлена в ГИС с помощью моделей зонирования.

2. Представление критериев и ограничений в виде моделей зонирования позволяет реализовать в среде ГИС универсальный по отношению к критериям метод поддержки принятия решений, который включает приведение разнородных исходных данных о состоянии территории и целях проведения анализа к единому процессу построения тематической карты в среде ГИС.

3. Предложенный метод включает этап построения комплексной модели зонирования, на основе которой можно осуществлять многокритериальное сравнение альтернатив с учетом пространственных и непространственных факторов.

4. Метод реализован и апробирован на реальном примере с учетом условий энергоснабжения участков на территории города Иваново.



## Глава 3 Разработка и исследование методов и алгоритмов построения моделей зонирования

### 3.1 Характеристика задач построения моделей зонирования

Предложенный метод поддержки принятия решений при поиске и выборе вариантов размещения промышленных объектов, как было показано в главе 2, предполагает наличие построенных зон, разделяющих территорию на полигональные участки по некоторому критерию или ограничению. При этом существует необходимость оперативного построения систем зон в процессе анализа с учетом заданных пользователем условий.

С практической точки зрения задача построения модели зонирования по заданному критерию в ГИС сводится к созданию слоя полигональных объектов, в котором каждому полигону поставлено в соответствие значение или некоторый диапазон значений критерия. Исходными данными для построения служат множества наборов географических объектов, представленных на карте. Эти объекты представляются на карте в виде множества слоев  $S$ . Слой  $s_i \in S$  определяет тип пространственной локализации объектов и вектор атрибутов  $A^S = \langle a_1^S, \dots \rangle$ . Каждый объект  $e_n$  в слое имеет свой уникальный идентификатор  $n$ , множество координат  $G = \{x_1, y_1; \dots x_n, y_n\}$ , определяющих его местоположение и форму, и вектор значений атрибутов  $A_n = \langle a_1^S, \dots \rangle$ .

$$E = \langle e_1 \dots e_n \rangle. \quad (3.1)$$

Задача построения модели зонирования может быть представлена как алгоритмически определенная функция (3.2):

$$F(S') \rightarrow M, S' \in S. \quad (3.2)$$

Функция  $F$  должна реализовать две взаимосвязанные и нетривиальные задачи:

1. Определение значения критерия  $a_i$  для каждого полигона из  $M$  на основе данных  $S'$ .

## 2. Определение границ всех полигонов в М.

Первая задача связана с необходимостью агрегирования показателей множества объектов, расположенных в зоне. Часто такое агрегирование сводится к суммированию или некоторому пространственному интегралу по площади участка для непрерывных величин. Например, количество жителей, проживающих в зоне, можно определить, сложив количество жителей во всех жилых домах, расположенных в этой зоне. В то же время определение такого показателя, как удаленность зоны от некоторого источника ресурса, не является столь же простой и однозначной задачей. В известных методах анализа размещения производственных объектов обычно берутся некоторые фиксированные точки, считающиеся центрами районов потребления [40, с. 222], без указания метода определения координат этих точек, и прямые евклидовы расстояния от указанных точек до источника ресурса. Однако в реальных задачах на городских территориях, когда протяженность зон может превосходить расстояние до источника, а распределение объектов в зоне может быть неравномерным, такие допущения сильно искажают результат анализа. В данной работе подобные задачи агрегирования данных решаются с использованием методов и средств пространственного анализа ГИС. Это отличает данную работу от традиционных подходов и позволяет повысить адекватность используемых моделей анализа.

Построение границ зон также может составлять серьезную проблему, что отражено в работах [53; 54] в соавторстве. Причинами этого могут быть недостаточный объем данных об объектах для принятия решения об отнесении их к той или иной зоне и наличие неопределенностей, которые разрешаются на стадиях проектирования. Примером таких неопределенностей является отнесение некоторого незастроенного земельного участка к зоне обслуживания, например ЭП. Такое решение в действительности принимается после изучения конкретной заявки и особенностей прилегающей к данному участку территории. В результате инженерных исследований может оказаться, что и для потребителя, и поставщика выгоднее выполнить присоединение не к ближайшей по евклидову расстоянию, а к более удаленной подстанции, например по условиям выбора трассы для проклад-

ки кабеля. Данные задачи также могут быть учтены на основе методов пространственного анализа ГИС и являются предметом исследования в данной диссертации.

### **3.2 Зонирование на основе использования базовых методов и средств ГИС**

Современные ГИС располагают широким арсеналом базовых методов пространственного анализа, которые могут и должны применяться для решения задач зонирования. При этом они должны быть встроены в СППР в виде комплексных процедур, настроенных на решение прикладных задач и использование определенных наборов данных. Описание таких методов и средств их реализации в виде инструментов можно найти, например, в документации к программной платформе разработки ArcGIS 10.1 [120]. В составе этих инструментов реализованы некоторые известные алгоритмы построения зон. К таким базовым методам зонирования можно отнести следующие.

1. Зонирование с использованием векторных моделей географических объектов путем слияния по атрибуту (Dissolve). Этот метод создает новое покрытие путем слияния соседних полигонов, которые имеют одинаковые значения атрибутов объектов в поле для слияния.

2. Зонирование путем создания полигонов Тиссена (Create Thiessen Polygons). Другое название полигонов Тиссена — диаграммы Вороного. Данный инструмент используется для разделения области с точечными объектами на зоны (полигоны) близости. Каждый полигон Тиссена содержит только одну входную точку, и любое место в пределах этого полигона находится ближе к связанной с ним точке, чем к точке любого другого полигона.

3. Зонирование с использованием растровых моделей географических объектов на основе анализа плотности точек (Point Density). Инструмент вычисляет плотность точечных объектов вокруг каждой ячейки выходного растра. Если значение поля численности отличается от нуля, то оно определяет количество подсчетов точки. Примером применения данного инструмента служит расчет плотности населения на основе данных численности в жилых домах.

В выполненной работе были исследованы возможности применения базовых методов зонирования для получения элементов комплексной модели зонирования. Примером такого решения является модуль построения зон обслуживания котельных, реализованный средствами ArcGIS.

Для построения модели используются базы данных источников и потребителей, которые должны включать в качестве атрибутов адреса объектов. Это позволяет нанести их на карту в автоматическом режиме с использованием средств адресного геокодирования, входящих в состав инструментов анализа ГИС. Под потребителями в данном случае понимают жилые здания и комплексы зданий промышленных предприятий. При отсутствии отдельных данных о потреблении в непромышленном секторе, они могут быть получены путем расчетов по нормативам на основе представленных в картах характеристик зданий (площади, числу жителей и т.п.). В базе данных потребителей должно быть поле, определяющее его принадлежность к источнику.

В данном случае процесс построения модели зонирования в среде ArcGIS может быть оформлен и сохранен для повторного использования в виде последовательности применения нескольких готовых инструментов в среде системы моделирования ModelBuilder. На рисунке 3.1 показан процесс построения карты зонирования для системы теплоснабжения. В нотации программы ModelBuilder элементы в виде эллипса означают наборы данных, а прямоугольные блоки — программно реализованные функции ArcGIS.

С помощью разработанных методов и средств пространственного моделирования построена экспериментальная модель зонирования системы энергоснабжения города Иваново. При построении модели использованы карты землепользования, поддерживаемые в информационной системе Ивановского городского комитета по управления имуществом, данные генерального плана развития города, цифровые схемы различных коммунальных сетей, базы данных информационной аналитической системы топливно-энергетического баланса региона [105] и ряд других источников данных. На рисунке 3.2 приведен пример

просмотра модели в Интернет-браузере на экспериментальном сайте, поддерживаемом средствами ArcGIS Server.



Рисунок 3.1 — Модель процесса построения карты зонирования системы теплоснабжения в ModelBuilder



Рисунок 3.2 — Представление модели зонирования энергоснабжения в браузере

По такому же сценарию могут быть созданы карты зонирования по электроэнергии и газоснабжению при наличии полных данных о пространственной структуре системы в базе геоданных. Однако при анализе инвестиционных решений возникает необходимость создавать зоны в условиях различных неопределенностей. Пример такой неопределенности приведен в разделе 3.3.1. В этом случае для построения зон приходится разрабатывать специальные проблемно-ориентированные методы и алгоритмы, в состав которых вводятся различные эвристические правила, применяющиеся в зависимости от ситуации.

### **3.3 Разработка проблемно-ориентированного метода зонирования по стоимости технологического присоединения к энергетическим сетям**

#### *Подход к разработке метода*

Применение проблемно-ориентированных методов, которые учитывают особенности предметной области анализа, дают возможность построить зоны в тех случаях, когда базовые методы напрямую применить не удастся или требуется создавать сложные цепочки преобразований данных с необходимостью подбора и исследования адекватности параметров этих преобразований. Создание таких цепочек непосредственно в процессе анализа требует значительных затрат. Кроме того, получаемые решения с использованием готовых методов могут оказаться вычислительно затратными.

Выходом в данной ситуации является разработка программных средств, в которых реализуются специализированные методы построения зон и комплексные алгоритмы проблемно-ориентированного анализа. В этом случае на уровне алгоритма можно предусмотреть различные способы сокращения действий пользователей и сокращения объемов вычислений, основываясь на семантике процесса, а также подбирать рациональные уровни детализации представления пространственных объектов и процессов.

Разработка проблемно-ориентированных методов моделирования предусматривается в большинстве современных инструментальных ГИС. В частности, платформа ArcGIS включает широкий арсенал возможностей для реализации программ, использующих базовые функции в сочетании с функциями, разработанными сторонними разработчиками на универсальных языках программирования.

В данной диссертационной работе предложен метод зонирования территории по стоимости присоединения к энергетическим сетям, который изложен на примере электрических сетей. При использовании метода для других видов сетей (газовых, тепловых, водопроводных) суть его не меняется, но меняются отдельные компоненты и алгоритмы расчетов. Эти вопросы будут уточнены в конце этой главы, после изложения сути метода на примере электрических сетей среднего напряжения.

### ***Метод зонирования по стоимости технологического присоединения к электрическим сетям***

Расчет платы за технологическое присоединение к электрическим сетям является важным фактором при принятии решений о размещении объектов на территории. Стоимость такого присоединения может составлять значительную часть затрат при строительстве промышленного объекта (за исключением бытовых потребителей мощностью менее 15 кВт, расположенных на расстоянии не более 300 метров в городах и 500 метров в сельской местности от объектов электрической сети, для которых стоимость присоединения фиксирована [83, п. 87]). Бизнес-процесс технологического присоединения к электрическим сетям рассмотрен в работах [21; 20]. Однако для получения информации о стоимости технологического присоединения в каждой конкретной точке территории инвестор или застройщик в соответствии с действующими нормативными документами должен подать заявку в электросетевую компанию. При этом он должен иметь документы на право использования земельного участка и ожидать результатов расчета 30 дней. Предлагаемая ниже методика предложена в работе [109] в соавторстве.

Разработанный алгоритм базируется на утвержденных Федеральной службой по тарифам методических указаниях по определению размера платы за технологическое присоединение к электрическим сетям [90] и утверждаемых региональными службами по тарифам стандартизированных тарифных ставок, формул платы за технологическое присоединение и ставок за единицу максимальной мощности для применения при расчете платы за технологическое присоединение. Ниже использованы тарифы, формулы и ставки, установленные Региональной службой по тарифам Ивановской области [87]. При этом метод и его программная реализация позволяют использовать любые другие тарифы, формулы и ставки.

В методе используются средства пространственного анализа ГИС для автоматической оценки всех возможных способов присоединения представленных на карте территории ЗУ к представленным там же ЭП или ЛЭП. При этом учитываются заявленная для присоединения мощность и величина имеющихся резервов мощности на объектах электрической сети.

Примеры и источники получения исходных данных и карт для проведения анализа рассмотрены в статье [51]. В проведенных исследованиях и примерах авторами использовались данные по ЭП города Иваново напряжения 6—10 кВ и оценивалась возможность присоединения к этим объектам путем прокладки подземных кабелей. Однако сам метод позволяет учитывать возможность присоединения по воздушным ЛЭП. На рисунке 3.3 приведен фрагмент карты города, на котором представлены ЭП (черные точки) и границы ЗУ с расположенными на них зданиями. Эти объекты учитываются при прогнозировании длин трасс кабельных ЛЭП.

Метод построения тематической карты, на которой представлены градации стоимости присоединения объекта указанной мощности и напряжения для всех ЗУ города, включает следующие основные этапы:

1. Формирование исходной базы геоданных для проведения расчетов.
2. Формирование множества альтернатив присоединения каждого ЗУ к близлежащим ЭП.



3. Построение предполагаемых трасс ЛЭП и расчет их прогнозируемой длины для всех альтернатив.

4. Расчет нормативной стоимости технологического присоединения для каждой альтернативы с учетом величины заявленной мощности, длин трасс и имеющихся на ЭП резервов мощности.

5. Выбор для каждого ЗУ варианта присоединения к одной из ЭП с учетом стоимости технологического присоединения.

6. Ранжирование ЗУ по стоимости присоединения и отображение средствами ГИС результатов этого ранжирования.



Рисунок 3.3 — Фрагмент карты города исходных данных:  
черные точки — ЭП; линии — границы ЗУ

Реализация каждого из этапов связана с решением нетривиальных задач и некоторых допущений. Первый этап предполагает построение моделей пространственных данных в ГИС, которые обеспечат возможность дальнейшего анализа. В разработанном методе используются векторные модели ЗУ и ЭП для формирования альтернатив и представления результатов анализа, а также растровая модель территории для автоматической трассировки кабельных ЛЭП.

Формирование множества альтернатив присоединения для каждого ЗУ производится путем поиска ближайших по евклидовому расстоянию ЭП. В реализации метода авторы находили 6 ближайших ЭП, поскольку на практике, по причине различных ограничений, присоединения не всегда осуществляются к ближайшей по прямому расстоянию ЭП (из-за удлинения трассы при обходе препятствий или из-за отсутствия резерва мощности). Выбранное количество ЭП установлено в результате эксперимента, в котором для присоединения к ЭП потребителя с максимальной заявленной мощностью до 50 кВт на карте Иваново было достаточно рассмотреть не более 6 ближайших по евклидову расстоянию ЭП.

Построение кабельных трасс является неформальной задачей, которая связана с вопросами проектирования и не может быть решена в автоматическом режиме. Однако для целей предварительной оценки важно получить лишь приблизительную длину предполагаемой трассы. Для нахождения такой длины авторы использовали алгоритм построения кратчайших маршрутов на растровой модели (будем называть ее растром) с учетом непреодолимых препятствий. Он позволяет автоматически строить трассы в обход существующих зданий, которые представляются в растровой модели как множества ячеек, выделенных путем наложения векторного слоя зданий на сетку растра.






На рисунке 3.4 показан реальный пример представления исходных данных на карте города Иваново для оценки длины прокладываемого кабеля (слева) и результат автоматического построения на этой модели маршрута кабельной трассы (справа). Буферные зоны вокруг зданий в 1 метр определены для учета ограничения прокладки кабелей вблизи зданий, установленного Правилами устройства электроустановок [99, п. 2.3.85]. Темно-серые ячейки — непреодолимые препятствия для алгоритма трассировки. Черная линия — построенная трасса, по которой рассчитывается прогнозируемая длина кабельной ЛЭП.

Задача трассировки может решаться с использованием различных алгоритмов. Исследование растровых алгоритмов трассировки приведены в следующем подразделе. Результаты исследований показывают, что для целей предварительной приближенной оценки длин трасс этот метод дает приемлемые результаты. В

качестве точек начала и конца трасс используя спроецированные на растр точки центроидов ЗУ и ЭП.



Рисунок 3.4 — Фрагмент карты для оценки длины кабеля:

- |   |                                   |  |                        |
|---|-----------------------------------|--|------------------------|
|   | — строения;                       |   | — место присоединения; |
|  | — буферные зоны для строений, 1м; |  | — источник             |
|  | — граф дорог;                     |  |                        |

Расчет нормативной стоимости вариантов присоединения на 2013 год производится по формуле (3.3), взятой из документа [87, прил. 5]:

$$P_{\text{тп}} = C_1 \cdot N_i + \left( \sum_i C_{2i} \cdot L_i + \sum_i C_{3i} \cdot L_i + \sum_i C_{4i} \cdot N_i \right) \cdot z_{\text{изм.ст}}, \quad (3.3)$$

где  $P_{\text{тп}}$  — плата за технологическое присоединение энергопринимающих устройств заявителя, руб.;

$C_1$  — стандартизированные тарифные ставки на покрытие расходов сетевой организации на технологическое присоединение к электрическим сетям энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам, по организационным мероприятиям (не включающим в себя разработку сетевой организацией проектной документации согласно обязательствам, предусмотренным техническими условиями, и выполнение технических условий сетевой организацией, включая осуществление сетевой организацией мероприятий по присоединению устройств под действие аппаратуры

противоаварийной и режимной автоматики в соответствии с техническими условиями) в соответствии с [87, прил. 1], руб/кВт.;

$N_i$  — объем максимальной мощности, указанный в заявке на технологическое присоединение заявителем, кВт;

$C_{2i}$ ,  $C_{3i}$  — стандартизированные тарифные ставки на покрытие расходов сетевой организации на строительство воздушных ( $C_2$ ) и (или) кабельных ( $C_3$ ) линий электропередачи на  $i$ -м уровне напряжения в соответствии с [87, прил. 2, 3], руб/км;

$L_i$  — протяженность воздушных и (или) кабельных линий на  $i$ -м уровне напряжения, строительство которых предусмотрено согласно выданным техническим условиям для технологического присоединения заявителя, км;

$C_{4i}$  — стандартизированные тарифные ставки на покрытие расходов сетевой организации на строительство подстанций на  $i$ -м уровне напряжения в соответствии с [87, прил. 4], руб/кВт;

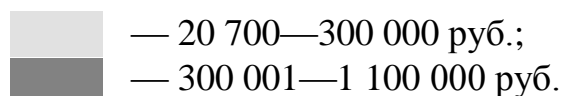
$Z_{\text{изм.ст}}$  — индекс изменения сметной стоимости по строительно-монтажным работам для Ивановской области, в которой располагаются существующие узловые подстанции, к которым предполагается технологическое присоединение устройств, на квартал, предшествующий кварталу, в котором определяется плата за технологическое присоединение, к федеральным единичным расценкам 2001 года, рекомендуемый Министерством регионального развития Российской Федерации в рамках реализации полномочий в области сметного нормирования и ценообразования в сфере градостроительной деятельности [95].

Для присоединения ЗУ выбирается ЭП с наименьшей стоимостью и используется как прогноз стоимости присоединения объекта при его размещении на данном ЗУ. Рассчитанные стоимости представляются пользователю в виде тематической карты, на которой цветом отображаются множества ЗУ, попадающие в определенные диапазоны стоимости, или выделяются ЗУ, для которых стоимость присоединения оказывается ниже заданного пользователем порога. В обоих случаях пользователь получает карты зонирования территории по стоимости присоединения объекта заданной мощности. На рисунке 3.5 приведен

фрагмент такой карты. На ней светлым цветом показаны зоны города, в которых технологическое присоединение потребителя максимальной заявленной мощностью 50 кВт должно по нормативному расчету стоить менее 300 000 руб.



Рисунок 3.5 — Пример результатов зонирования на карте города Иваново:



### ***Применение метода при решении задач поддержки принятия решений***

Разработанный метод может применяться как для построения моделей зонирования, используемых в дальнейшем при анализе на базе комплексной модели (см. главу 2), так и для создания специализированных программных средств, ориентированных на решение конкретной задачи поиска мест размещения по стоимости технологического присоединения к электрическим сетям. Во втором случае появляется возможность создания специализированной ГИС, которая может поставляться как самостоятельный программный продукт, ориентированный на анализ заявок пользователей электросетевых компаний.

На рисунке 3.6 представлена диаграмма деятельности в языке UML [154], показывающая последовательность действий при решении данной задачи средствами в специализированной ГИС. Верхняя точка начала работы алгоритма соответствует стадии начала подготовки модели. Вторая входная точка алгоритма соответствует началу анализа конкретной заявки.

На этапе подготовки модели для каждого земельного участка определяются длины предполагаемых трасс ЛЭП до заданного количества ближайших ЭП. Этот этап является предварительным, и его расчет выполняется при изменении структуры сети, добавлении земельных участков или изменении конфигурации объектов, представляемых как препятствия. Количество ближайших ЭП задается в модели. Задать число ЭП можно, например, при помощи определенного радиуса вокруг ЗУ, при котором стоимость прокладки ЛЭП явно будет превышать стоимость наращивания мощности на ближайшей подстанции. Таким образом, можно уменьшить время выполнения этапа предварительного расчета.

Данный метод может применяться для других видов сетей, в которых источники ресурсов представлены в виде точечных объектов, таких как газорегуляторный пункт в газовой сети или тепловые пункты в тепловой сети. Для применения предложенного подхода количество ближайших объектов для расчета, методика расчета и способы построения трасс могут быть изменены в соответствии с нормативами в этих сетях.

Присоединение к электрическим сетям для демонстрации предложенного метода выбрано из-за доступных методик и тарифов в нормативно-правовых актах и данных о раскрытии информации о резервах мощности. В России наблюдается процесс принятия нормативно-правовой базы по регулированию технологического присоединения для других видов инженерных коммуникаций.

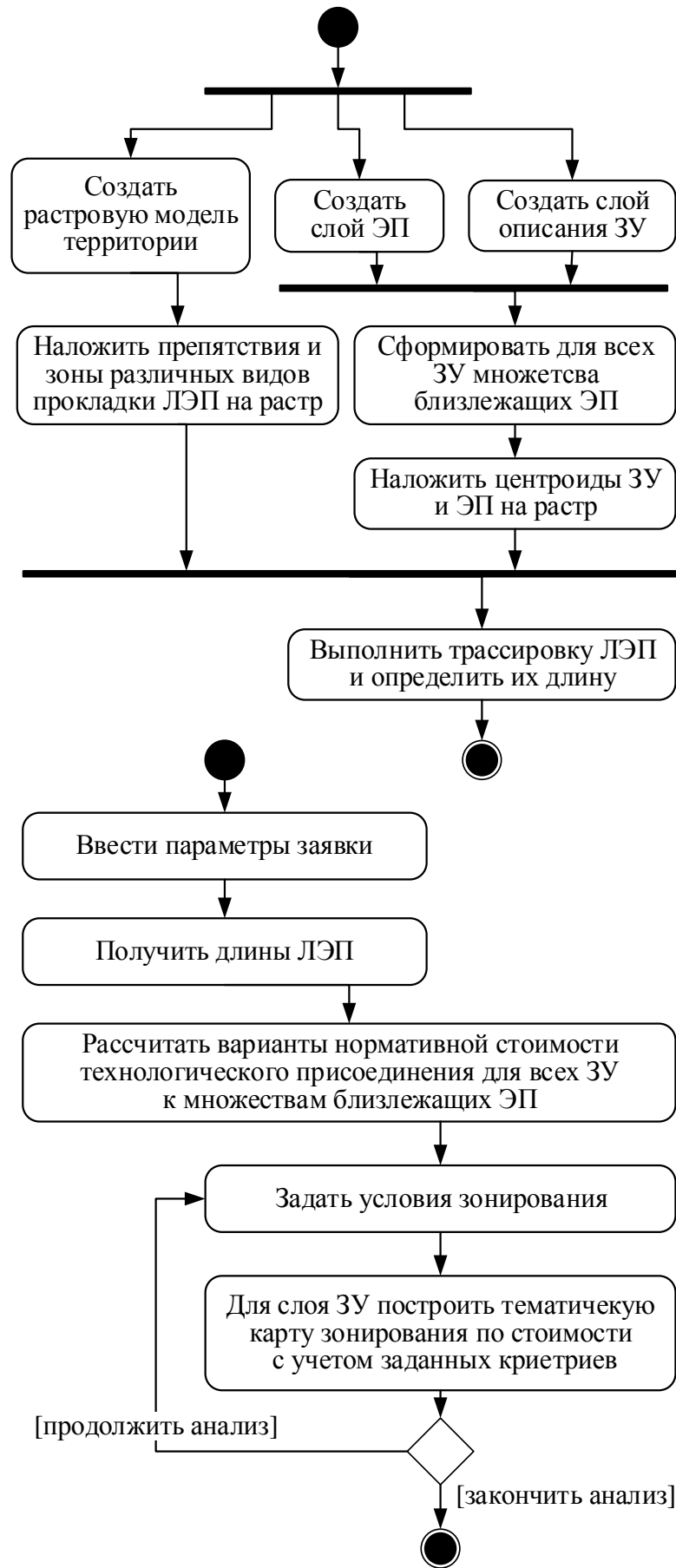


Рисунок 3.6 — Диаграмма деятельности разработанного метода

Разделение на этапы подготовки модели и расчета конкретной заявки позволяет использовать предложенный метод в виде веб-сервисов в сети Интернет, когда необходимо строить модели зонирования динамически при изменении параметров заявки в режиме реального времени. В этом случае на основе оценочных длин трасс, полученных на предварительном этапе, быстро рассчитываются варианты стоимости технологического присоединения к ЭП.

Для некоторых объектов требуется резервирование электрической энергии. Это определяется категорией надежности на этапе заявки. Например, для второй категории надежности необходимо питание от 2 независимых источников. В этом случае в методе определяются две ЭП с минимальной стоимостью технологического присоединения, удовлетворяющие данным заявки.

Разработанный метод применим для других инженерных коммуникаций, в которых присоединение осуществляется посредством врезки. К таким сетям можно отнести сети газо-, тепло- и водоснабжения. В этом случае источники питания могут быть представлены на карте как точечными, так линейными или полигональными объектами.

Формирование множества альтернатив для присоединения задается буфером от ЗУ на карте. Для каждого ЗУ определяются длины предполагаемых трасс до попавших в установленную область объектов рассматриваемой сети. Например, для участка газопровода, имеющего постоянный диаметр и расход газа, определяется длина трассы для врезки, далее определяется длина трассы для следующего участка или объекта газовой сети и т.д.

Способы получения приблизительных длин предполагаемых трасс будут рассмотрены далее.



### **3.4 Исследование алгоритмов для прогнозирования длин трасс при присоединении потребителя к сети**

#### *Исследование и выбор алгоритмов для расчета длин трасс при присоединении потребителя к точечному источнику энергоснабжения*

Поиск пути на карте в общем случае является не тривиальной задачей, однако сегодня существует большое количество алгоритмов для ее решения. В разработанном методе, как уже отмечалось, задача трассировки используется только для определения расстояния между источником и потребителем ресурса с учетом имеющихся препятствий и ограничений. Для этого можно использовать различные методы, в том числе и довольно упрощенные, основанные на использовании коэффициентов, удлиняющих трассу с учетом некоторых территориальных факторов [50], и другие подходы [62; 134]. В данной работе был исследован вариант оценки длины трассы с учетом реальных условий и ограничений, отраженных на карте территории.

Анализ существующих методов прокладки маршрутов на карте, используемых в различных приложениях, включая компьютерные игры и реальные проекты выбора маршрутов трубопроводов, показал, что наиболее универсальным из них является метод на базе использования алгоритмов поиска путей по растровым моделям данных. В этом случае территория делится равномерной сеткой на квадратные ячейки. Условия в каждой ячейке считаются однородными. Задача заключается в выборе такой цепочки ячеек, для которой суммарная стоимость пути будет минимальной. Для каждой ячейки стоимость ее пересечения определяется некоторым коэффициентом — весом. Ячейку можно пересекать либо по диагонали, либо по одной из сторон. Некоторые ячейки могут быть отмечены как препятствия, которые запрещено пересекать.

Задача поиска кратчайшего пути между двумя вершинами графа в зарубежных источниках называется All-Pairs Shortest Path problem (APSP) или Pathfinding [149]. Эта задача относится к одной из классических задач в теории графов. Растр можно считать графом, в котором его ячейки — это вершины, а ли-

нии, соединяющие центры смежных ячеек, — ребра. Очевидно, что одна ячейка (вершина графа) в сетке имеет 8 смежных ячеек. При этом длина (вес) 4-х горизонтальных и вертикальных ребер равен шагу сетки  $d$ , а 4-х диагональных —  $d\sqrt{2}$ . В программной реализации для скорости вычислений целесообразно использовать некоторую нормированную систему координат, в которой размер ячейки устанавливается равным 10, а диагонального ребра — 14. Это позволяет использовать целочисленную арифметику при расчетах и сокращает время вычислений. Полученную на таком графе длину маршрута  $l'$  после получения решения можно привести к реальной по простой формуле:  $l=l' \cdot 0,1 \cdot d$ .

Задача состоит в нахождении цепи из источника в сток, минимизирующей стоимость (время) прохождения потока заданной величины по данной цепи. Постановка задачи приведена в [130]. Пусть каждой дуге  $(i, j)$  ориентированной сети поставлено в соответствие некоторое число  $c_{ij} > 0$ , называемое обобщенной стоимостью дуги. Фиктивным, или «бесплатным», дугам приписывается стоимость  $c_{ij} = 0$ , а каждой паре узлов  $(i, j)$ , для которых не существует дуги, соединяющей их, приписывается стоимость  $c_{ij} = \infty$ . Задача состоит в нахождении в заданной сети такой цепи из источника  $s$  в сток  $t$ , для которой стоимость прохождения единицы потока по этой цепи минимальна. Формальное представление задачи (3.4):

$$\sum_i \sum_j c_{ij} f_{ij} \rightarrow \min, \quad (3.4)$$

при условиях (3.5)—(3.7):

$$\sum_j f_{sj} - \sum_j f_{js} = 1, \quad (3.5)$$

$$\sum_j f_{ij} - \sum_j f_{ji} = 0, i \neq s, i \neq t, \quad (3.6)$$

$$\sum_j f_{tj} - \sum_j f_{jt} = -1, t \in T. \quad (3.7)$$

Согласно равенству (3.5), единица потока вытекает из источника. Равенство (3.6) гарантирует сохранение данной единицы потока при протекании по сети. Согласно равенству (3.7), единица потока втекает в сток. В качестве кратчайшей цепи может быть взята последовательность смежных дуг  $(i, j)$ .

С учетом специфики постановки задачи (имеется множество стоков, из которых выбирается сток по условию минимальной суммарной стоимости технологического присоединения) в нее вносятся следующие дополнения. Известна присоединяемая мощность  $p^*$  в источнике. (В данном случае источником названы точки размещения объектов для сохранения преемственности терминологии с принятой математической постановкой задач поиска путей на графах. С точки зрения предметной области — это потребители ресурса.) Для каждого узла сети, который не является стоком, стоимость присоединения  $b_i$  устанавливается равной бесконечности. (В контексте решаемой прикладной задачи стоки — это места присоединения источника энергоснабжения, например электрические подстанции.) Для узлов, в которых располагаются точки возможного присоединения к сети (множество стоков, элементами которого являются номера  $t$ ), вычисляется стоимость присоединения к ним  $b_i$  с учетом имеющегося в нем резерва  $p_i$  мощности по формуле (3.8):

$$b_i = (p^* - p_i) \Delta c. \quad (3.8)$$

Здесь  $\Delta c$  — удельная стоимость для строительства единицы недостающей мощности. Если  $b_i < 0$ , это означает, что резерв превышает потребность и принимается  $b_i = 0$ . Критерий задачи (3.4) приобретает вид (3.9):

$$\sum_i \sum_j c_{ij} f_{ij} + \sum_j b_j f_{ij} \rightarrow \min. \quad (3.9)$$

Сформулированная задача может быть решена с помощью алгоритма, в основу которого положен подход алгоритма Дейкстры. Общий метод решения задачи поиска пути на основе алгоритма Дейкстры приводится в [44, с. 509]. Вместе с тем на практике разработано множество алгоритмов с учетом специфики регулярного графа, получаемого в результате растеризации территории и области применения алгоритма. Так, в играх часто используется другая, менее формальная постановка задачи: найти короткий (не обязательно оптимальный) путь между источником и стоком в обход существующих препятствий.

В данной работе при выборе проведено исследование таких алгоритмов в целях поиска прагматичного подхода, в котором минимизация критерия (3.4) мо-

жет выполняться нестрого при строгом соблюдении всех ограничений. Это обусловлено несколькими факторами. Во-первых, целью работы алгоритма является лишь оценка длины с учетом наиболее важных ограничений, основным из которых является существующая застройка. И во-вторых, при проектировании учитывается множество различных условий, которые не реально учесть при грубой оценке. Поэтому оптимальный путь при имеющихся допущениях всё равно окажется не тем, который, скорее всего, будет получен в результате инженерного проектирования.

В самом простом случае обходить препятствия можно трассировкой вокруг препятствия, следуя вокруг него. Данный подход не нашел большого распространения из-за невозможности поиска пути с наименьшей стоимостью.

Решением вышеописанной проблемы является использование эвристических алгоритмов поиска по первому лучшему совпадению. Наибольшее распространение для поиска оптимального пути приобрели: алгоритм поиска  $A^*$  (A star), алгоритм поиска по первому наилучшему совпадению (Best-First Search), алгоритм поиска в ширину (Breadth-First-Search), алгоритм Дейкстры (Dijkstra's algorithm) [149]. Одним из последних представленных в 2011 году стал алгоритм «прыжковые точки» (Jump Point Search) [144].

Используя два фрагмента карты территории, было выполнено исследование наиболее популярных алгоритмов поиска пути с использованием реализации [150] для шага 2 м (см. п. 3.4.3).

В первом случае фрагмент карты, представленный на рисунке 3.7, состоит из относительно простых форм препятствий.

Второй фрагмент карты, представленный на рисунке 3.8, состоит из более сложной конфигурации препятствий.

На рисунках 3.9—3.11 приведены примеры построения трасс на растровой модели для первого фрагмента карты с помощью различных алгоритмов.

Полученные оптимальные пути можно объединить в следующие группы алгоритмов:

1.  $A^*$ .

2. Breadth-First-Search, Dijkstra's algorithm.

3. Best-First-Search, Jump Point Search.

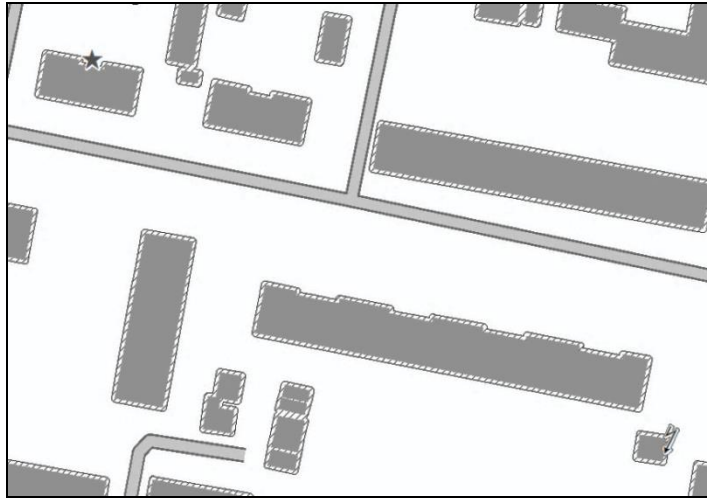


Рисунок 3.7 — Фрагмент карты для первого варианта расчета:











- |   |                                   |   |                        |
|---|-----------------------------------|---|------------------------|
|    | — строения;                       |   | — место присоединения; |
|   | — буферные зоны для строений, 1м; |  | — источник             |
|  | — граф дорог;                     |   |                        |



Рисунок 3.8 — Фрагмент карты для второго варианта расчета:

- |   |                                   |  |                        |
|---|-----------------------------------|--|------------------------|
|  | — строения;                       |  | — место присоединения; |
|  | — буферные зоны для строений, 1м; |  | — источник             |
|  | — граф дорог;                     |  |                        |

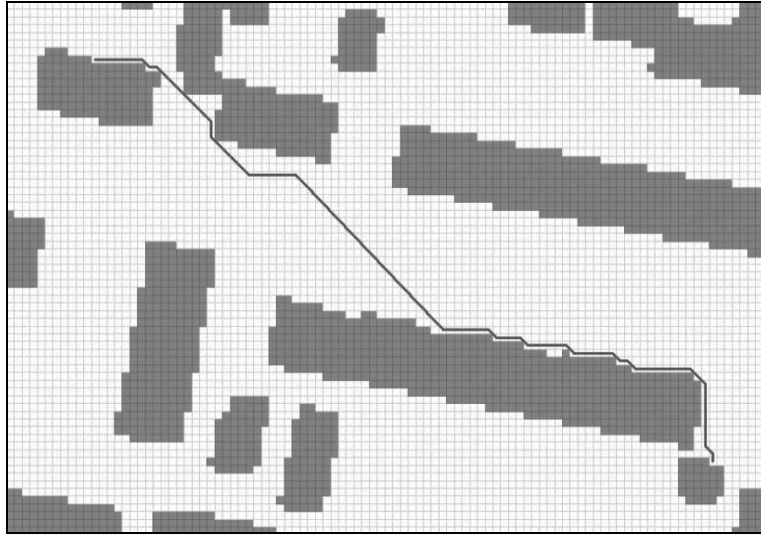


Рисунок 3.9 — Оптимальный путь для первой группы алгоритмов

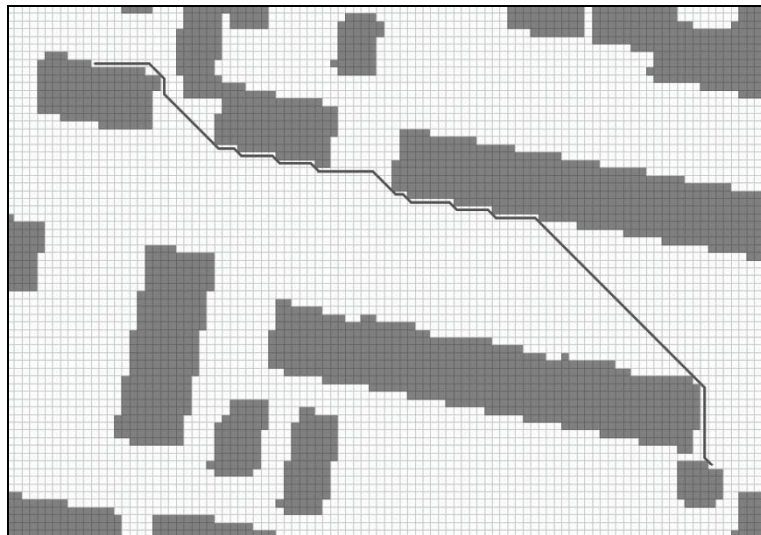


Рисунок 3.10 — Оптимальный путь для второй группы алгоритмов

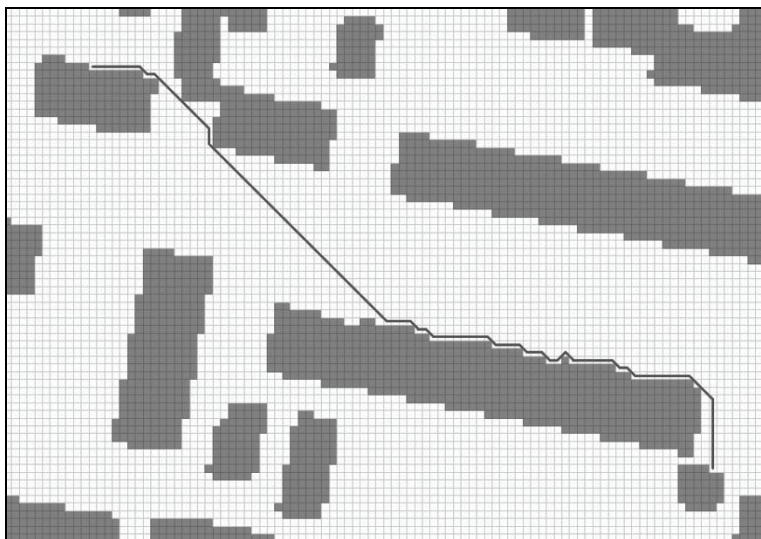


Рисунок 3.11 — Оптимальный путь для третьей группы алгоритмов

На рисунках 3.12—3.16 приведены примеры построения трасс на растровой модели для первого фрагмента карты с помощью различных алгоритмов.

Результаты испытаний представлены в таблице 3.1 .

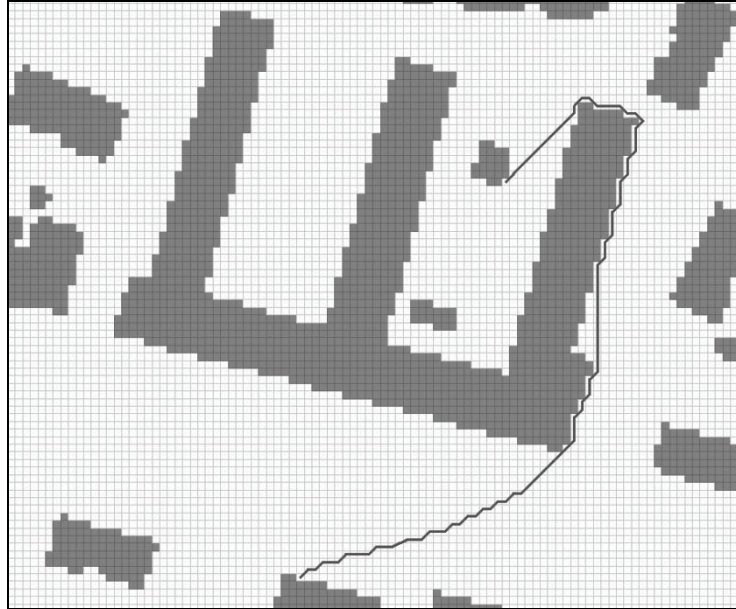


Рисунок 3.12 — Оптимальный путь для алгоритма A\*

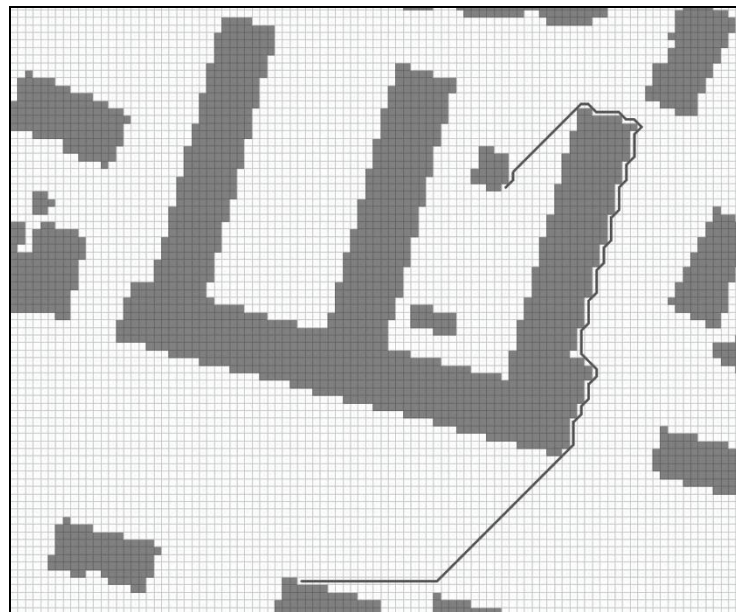


Рисунок 3.13 — Оптимальный путь для алгоритма Best-First-Search

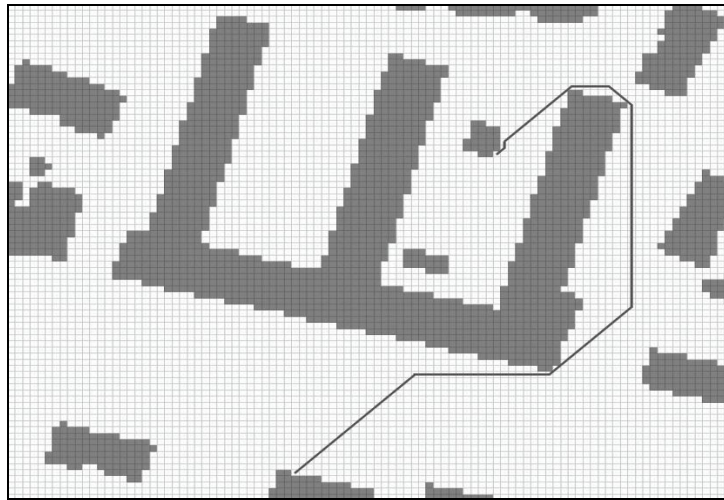


Рисунок 3.14 — Оптимальный путь алгоритма Breadth-First-Search

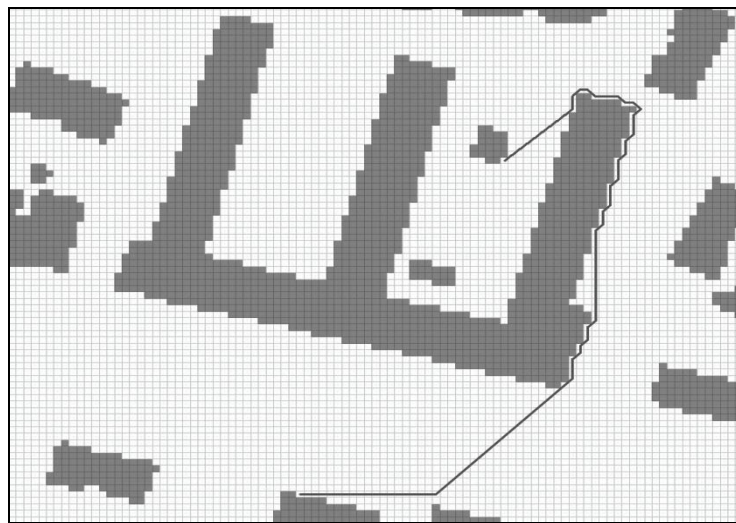
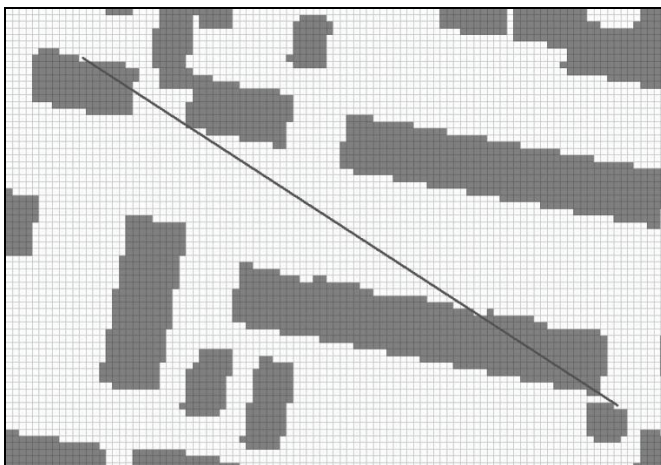
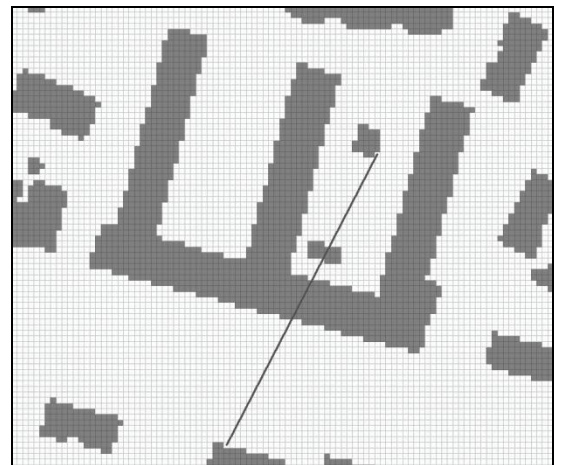


Рисунок 3.15 — Оптимальный путь для алгоритма Jump Point Search



а)



б)

Рисунок 3.16 — Евклидово расстояние для исходных вариантов карт:

а — первый фрагмент; б — второй фрагмент



Таблица 3.1 — Испытание алгоритмов поиска пути

Наименование	Первый фрагмент карты			Второй фрагмент карты		
	Длина пути, м	Кол-во операций	Время, мс	Длина пути, м	Кол-во операций	Время, мс
1. Алгоритм поиска A* (A star)	216	2871	4	213	4663	3
2. Алгоритм Дейкстры (Dijkstra's algorithm)	216	15090	11	213	19876	15
3. Поиск в ширину (Breadth-First-Search)	216	13616	8	213	20639	7
4. Поиск по первому наилучшему совпадению (Best-First-Search)	217	380	1	237	2630	10
5. Jump Point Search	216	71	1	213	201	2
6. Евклидово расстояние	190			117		

Наилучшие показатели по количеству выполненных операций и затраченного времени на расчеты показывают алгоритмы 1, 4 и 5. Перечисленные алгоритмы способны находить оптимальный путь между двумя точками, и их можно использовать для частного случая предложенного в данной работе метода зонирования для точечных объектов. Характер других задач также предполагает нахождение оптимального пути от места присоединения до ближайшего источника из множества возможных источников, которые представлены в виде массива узлов графа. Для построения оптимальных маршрутов от заданной точки до фиксированного числа ближайших точечных источников, с последующим расчетом платы за технологическое присоединение с учетом резерва мощности на источниках, в работе использован алгоритм A\*. Такой подход предполагает выбор количества ближайших источников, до которых выполняется поиск оптимального маршрута, и предназначен для источников, которые можно представить в виде точки, т.е. одного узла графа (например, ЭП).

Для разработки алгоритма трассировки к линейным объектам инженерных коммуникаций далее целесообразно рассматривать алгоритм поиска в ширину и

алгоритм Дейкстры, которые позволяют последовательно проходить узлы графа от места присоединения для поиска ближайшего источника.

***Разработка алгоритма трассировки для выбора маршрутов трасс  
при присоединении потребителя к линейным объектам инженерных  
коммуникаций***

Идеи разработанного метода применимы к решению задач зонирования по стоимости технологического присоединения к другим видам сетей. Особенности в данном случае будут сводиться к виду формулы (3.3), виду объектов, которые рассматриваются в качестве источников распределяемого ресурса, и условиям, учитываемым в алгоритмах трассировки.

Особенностью газовых и водопроводных сетей является присоединение путем врезки в существующие трубопроводы. При этом наличие резерва в трубе определяется разницей ее пропускной способности и существующей прокачки. При отсутствии резерва требуется замена труб на существующих участках перегруженных трубопроводов. Такой же способ учета резервов мощности применяется на воздушных ЛЭП с тем отличием, что присоединение к ним может осуществляться только на опорах. Для определения длины новой трассы необходимо построить маршрут ее прохождения до ближайшего места врезки или ближайшей опоры ЛЭП. Данный метод прогнозирования расстояния можно использовать также при анализе стоимости прокладки участка дороги для связи объекта с существующими дорожными сетями.

В традиционной постановке задачи трассировка до линейных объектов и множества целевых точек в рассмотренных выше алгоритмах не ставятся. В работе предложен подход, предполагающий представление конечной цели построения трассы в виде не одной точки, а множества точек, которые получаются в результате растеризации слоев трубопроводов. Анализ существующих алгоритмов поиска кратчайших путей на графах показывает, что подобные задачи можно решать с использованием алгоритмов на графах, относящихся к классу поиска в ширину [44, с. 452—586], к которым в общей

постановке (3.1)—(3.4) относится алгоритм Дейкстры. Из рассмотренных в разделе 3.4.1 алгоритмов поиска кратчайшего расстояния от точки до точки с учетом препятствий пригодными для решения этой задачи являются алгоритм поиска в ширину и алгоритм Дейкстры (номер 3 и 4 в таблице 3.1).

Работа алгоритма поиска в ширину основана на расширении области поиска на каждой новой итерации. Расширение в ширину равно одной единице и представляет собой постепенно увеличивающийся квадрат, как показано на рисунке 3.17. Из этой схемы понятно, что при определенном расположении препятствий алгоритм поиска в ширину не может определить оптимальный путь.

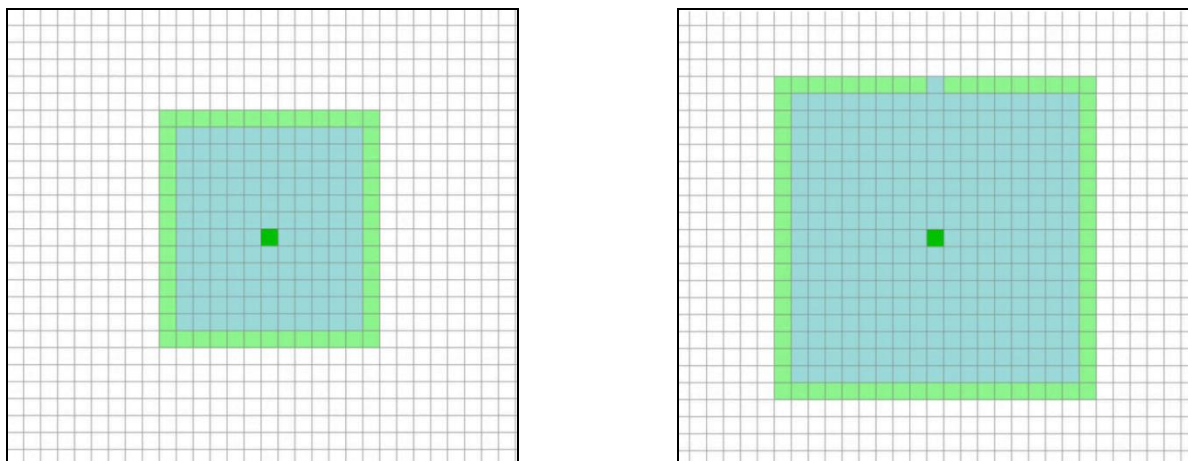


Рисунок 3.17 — Иллюстрация работы алгоритма поиска в ширину

Алгоритм Дейкстры находит оптимальные маршруты и их длину между вершиной источника и всеми остальными вершинами графа, представленного в виде раstra, посещает вершины графа, начиная с отправной точки. Затем многократно проверяет ближайшие, пока еще не рассмотренные, вершины, расширяясь наружу от начальной точки до тех пор, пока не достигнет цели либо не будут рассмотрены все вершины (рисунок 3.18). Для алгоритма Дейкстры необходимо соблюдать условие не отрицательности весов дуг, что в данной задаче всегда справедливо.

Как понятно из принципа работы алгоритма, в качестве цели (стока) можно использовать любое множество ячеек. Для этого их следует пометить как целевые, и кратчайший путь будет зафиксирован при встрече «волны» поиска с

первой ячейкой из множества стоков. Множество ячеек стоков может быть сформировано путем растеризации линейных и площадных объектов. Пример работы алгоритма поиска ближайших трасс трубопроводов приведен на рисунке 3.19.

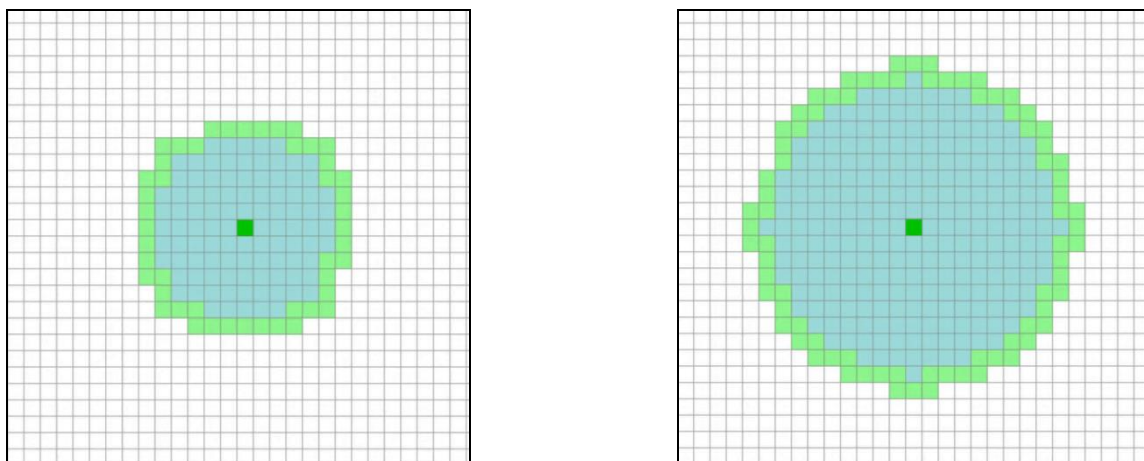


Рисунок 3.18 — Иллюстрация работы алгоритма Дейкстры



Рисунок 3.19 — Поиск кратчайшего расстояния до линейных объектов:

- |   |                |   |                       |
|---|----------------|---|-----------------------|
|  | — препятствия; |  | — газопровод;         |
|  | — путь 1;      |  | — место присоединения |
|  | — путь 2;      |   |                       |

Таким образом, для решения задачи прогнозирования длин трасс для присоединения к существующим источникам ресурсов на территориях целесообразно использовать модифицированный алгоритм Дейкстры.

Особенности работы предложенного алгоритма позволяют использовать его для определения длин трасс как для точечных, так и для линейных объектов, с возможностью проверки существующего резерва мощности. Блок-схема алгоритма приведена на рисунке 3.20.

При реализации алгоритмов кроме поиска путей необходимо учитывать особенности применения, касающиеся обработки ситуаций, в которых решение не может быть найдено. Так, поскольку модели создаются автоматически, точка начала или конца трассы может оказаться внутри замкнутой области непроходимых ячеек или попадать на такую ячейку. В этих случаях применяются различные эмпирические правила, такие как поиск ближайшей проходимой ячейки или первой проходимой ячейки на прямой линии, соединяющей начальную и конечную точки трассы. Кроме того, определены условия принудительной остановки алгоритма, когда длина трассы в процессе построения начинает превышать заданную кратность прямого расстояния между точками начала и конца трассы. Применение той или иной комбинации правил, настраивающих алгоритм на конкретный вид коммуникаций и ограничений, определяется на стадии реализации прикладных программных решений

### ***Исследование разработанного алгоритма трассировки***

Применение разработанного метода на практике связано со значительным объемом вычислений. При этом задача имеет полиномиальную сложность и может решаться в ограниченное время. Однако это время существенно зависит от ряда параметров задачи: шага дискретизации растровой модели, длин трасс, количества запусков алгоритма при решении задачи построения моделей зонирования. Общие методики оценки производительности алгоритмов поиска путей на графах обычно рассматривают предельные случаи, например время поиска наиболее длинного пути и т.д. В данном случае такие методики неприемлемы, поскольку условия применения алгоритмов существенно другие.

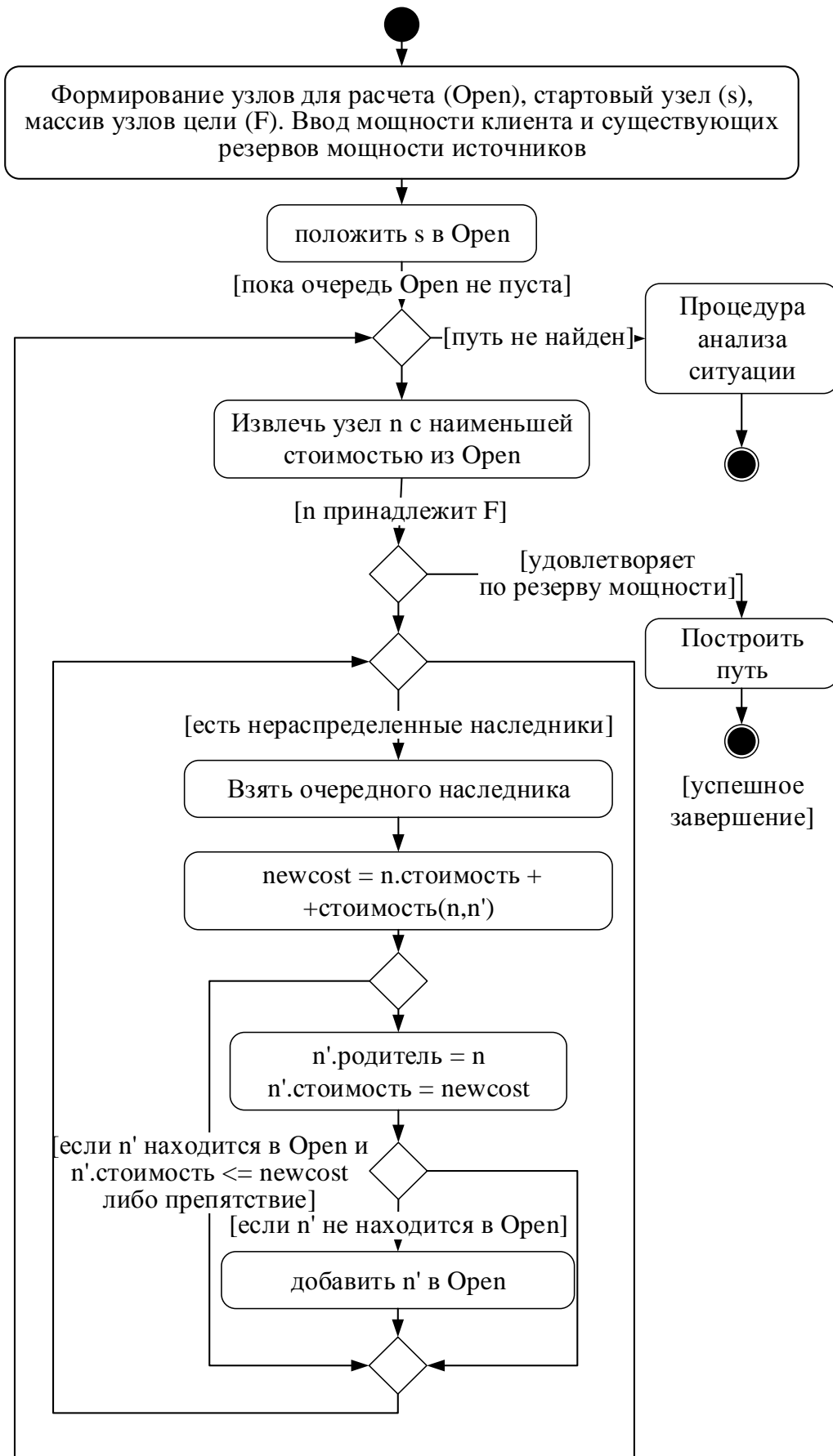


Рисунок 3.20 — Блок-схема разработанного алгоритма

Для примера можно рассмотреть результаты эксперимента по построению модели зонирования по стоимости присоединения к электрической сети на карте города Иваново. В нем использовались реальные данные о зданиях и об электрических подстанциях из различных информационных систем подразделений Администрации города Иваново и энергетических компаний.

Одной из задач настройки алгоритма на предметную область является определение шага дискретизации. Различные варианты шага дискретизации для фрагмента карты 44x44 м показаны на рисунке 3.21. Очевидно, что чем мельче шаг, тем точнее можно учесть форму препятствий и уменьшить вероятность появления различных артефактов, таких как слияние объектов, между которыми имеются узкие проходы. Но так же очевидно, что при этом увеличивается сложность расчета, поскольку в квадратичной зависимости увеличивается число узлов графа, на котором проводится поиск путей. Экспертным путем было установлено, что рациональным шагом дискретизации можно считать величину 1—2 метра, поскольку она соизмерима с точностью представления формы и положения зданий на большинстве открытых карт (в более высокой точности нет смысла при других заданных допущениях) и при этом получается приемлемая размерность графа.

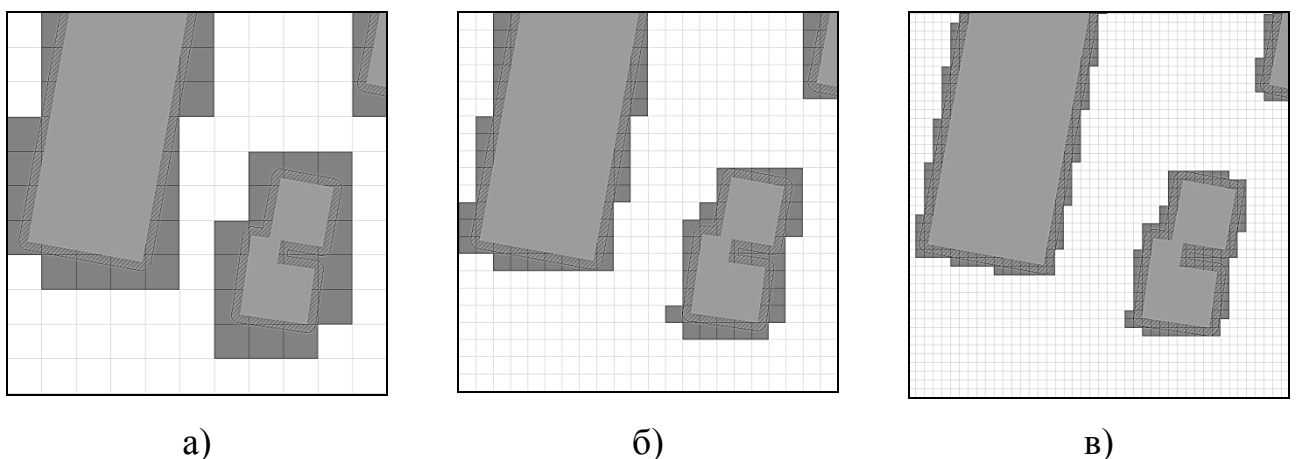


Рисунок 3.21 — Варианты шага дискретизации:

а — размер ячейки 4x4 м; б — размер ячейки 2x2 м; в — размер ячейки 1x1 м

В примере для города Иваново растровая модель была сгенерирована с шагом сетки 2 метра. При этом размер матрицы растровой модели для территории города составил 5400x5400 элементов. Количество ЭП составляло 950, а количество ЗУ — 9800. Для каждого ЗУ были определены оценочные длины трасс для присоединения к ЭП с учетом препятствий в виде существующих строений и широких участков водоемов. При этом выбранные длины трасс в среднем составляли 72 м. Распределение длин по частоте показано на рисунке 3.22.

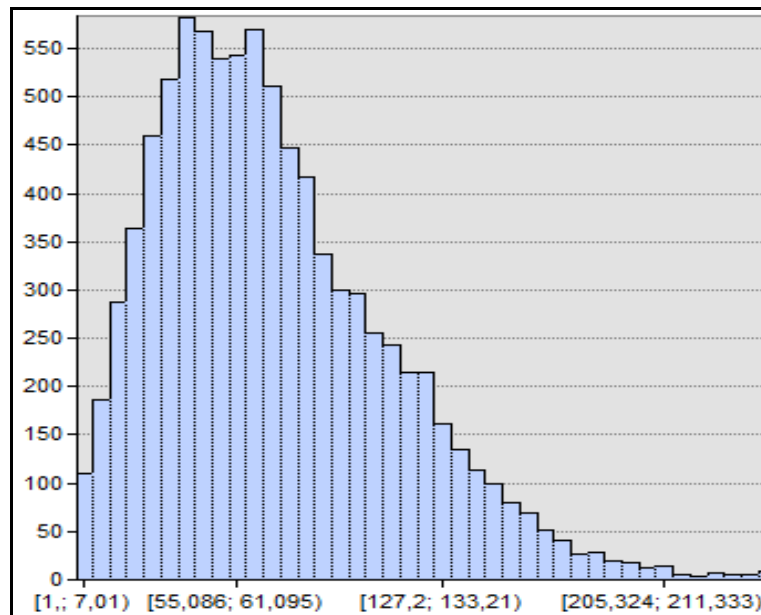


Рисунок 3.22 — Гистограмма прогнозных длин трасс для присоединения ЗУ к ЭП

В целом время на проведения всех вычислений может варьироваться в значительных пределах. В проведенном эксперименте оно составляло менее часа на персональном компьютере. Однако данный расчет выполняется однократно на начальном этапе применения модели и повторяется при появлении на карте новых объектов (ЭП и зданий). Изменение характеристик ЭП и параметров заявки не требуют изменения этой модели. При этом используется другая начальная точка входа алгоритма.

Время расчета может быть при необходимости существенно сокращено за счет изменения рассмотренных настроек метода построения модели зонирования,



а также за счет применения специализированного оборудования и распараллеливания вычислительно процесса.

Разработанный алгоритм трассировки был использован для расчета стоимости технологического присоединения объекта к электрическим сетям на территории г. Иваново по формуле (3.3) для фрагмента карты на рисунке 3.23. Максимальная заявленная мощность и фактическая стоимость технологического присоединения получены из данных раскрытия информации ОАО «Ивгорэлектросеть» [104]. Результаты приведены в таблице 3.2.

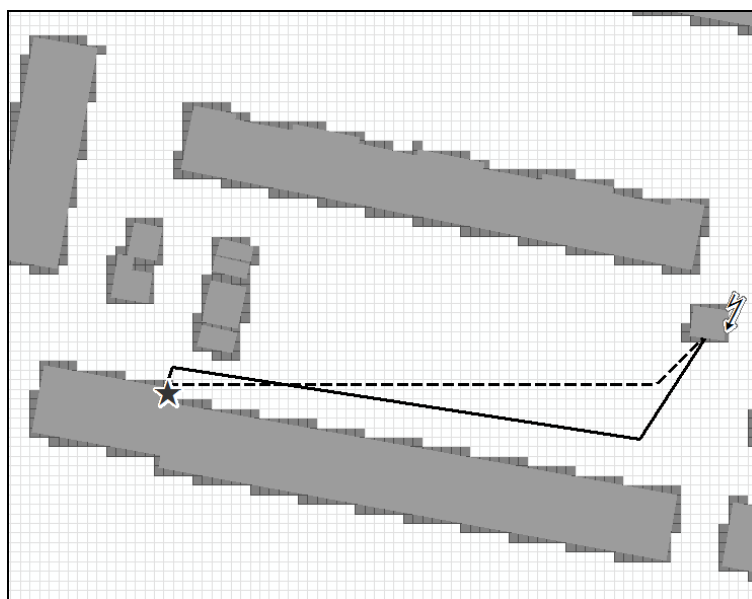


Рисунок 3.23 — Расчетный и фактический путь трассы ЛЭП:

- препятствия;
- фактический путь;
- расчетный путь
- ★ — место присоединения;
- ⚡ — ТП;

Таблица 3.2 — Испытание алгоритмов поиска пути

Максимальная заявленная мощность, кВт	Фактическая стоимость, руб.	Расчетная стоимость, руб.	Отклонение, %
30	323 714	334 293	3,3
26,2	253 099	261 400	3,1

Рассмотренный пример показывает причины возникновения отклонений расчетной и действительной стоимостей, которые заключаются в том, что реаль-

ные маршруты трасс отличаются от прогнозируемых вследствие наличия дополнительных условий, которые не учитываются в алгоритме. Пример показал хорошее совпадение результатов, однако это нельзя считать доказательством адекватности для общего случая. К сожалению, в настоящее время данные раскрытия информации не позволяют однозначно сопоставить стоимости по контрактам с местоположением присоединяемых потребителей. Поэтому провести полноценный количественный анализ адекватности на большом количестве примеров не представляется возможным. Вместе с тем ценность метода во многом заключается в возможности получения общей картины распределения стоимостей по территории, которая не будет существенно зависеть от возможных отклонений результатов для отдельных объектов.

### **3.5 Выводы по 3-й главе**

1. Построение моделей зонирования в ГИС представляет собой задачу построения слоя полигонов, в пределах для каждого из которых значение критерия постоянно или находится в заданном диапазоне. Эта задача в общем случае решается алгоритмическим путем.

2. В ГИС существуют программно-реализованные алгоритмы и методы, которые в результате настройки и их комбинаций могут быть использованы для построения моделей зонирования.

3. Для построения моделей зонирования по стоимости присоединения к инженерным коммуникациям требуется использовать проблемно-ориентированные методы и алгоритмы зонирования. Предложен метод зонирования, который позволяет учесть конкретные факторы прокладки коммуникаций в районе анализа на основе алгоритмов трассировки на растровых моделях данных.

4. Анализ и испытания различных вариантов реализации алгоритмов поиска путей на растровых моделях показал, что алгоритмы обеспечивают необходимый уровень точности и скорости решения задачи получения прогноза длины трассы для присоединения объекта к инженерной сети.

## **Глава 4 Разработка программных средств ГИС для решения задач размещения объектов**

### **4.1 Геоинформационная система моделирования и анализа территориально распределенных технических систем «ГИС МодА»**

#### *Общее описание и структура*

Разработанные методы и средства были использованы в составе программного продукта «Геоинформационная система моделирования и анализа территориально распределенных технических систем ГИС МодА». Этот продукт был создан в рамках НИР по теме «Разработка моделей, методов и программных средств агрегирования информации в процессах управления территориальными организационно-техническими системами», выполненной в ИГЭУ по ФЦП «Научно-педагогические кадры инновационной России». Программа зарегистрирована в Федеральной служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (приложение А) [117]. Она внедрена в ИГЭУ (приложение Б) и использована в качестве инструментального программного средства при разработке ряда приложений, в частности в ОАО «Костромаэнерго» (см. п. 4.2) и Комитете по управлению имуществом города Иваново.

В данной разработке использован опыт и программные наработки коллектива отдела геоинформационных технологий, в котором работает автор, по созданию программного обеспечения инструментальных и прикладных ГИС за длительный период [33; 55; 59]. Участие автора в разработке заключалось в реализации функций анализа с использованием моделей зонирования, разработке структуры комплекса в части реализации данных функций и в разработке методов и средств интеграции функций анализа с другими информационными системами и ГИС.

Программный комплекс ГИС МодА включает традиционные средства ввода, хранения, визуализации и анализа пространственных данных и специализированные программные средства, предназначенные для создания пространственных моделей в виде систем зонирования территории по различным критериям, решения задач распределения ресурсов и размещения объектов. Программный комплекс может применяться для решения задач инвестиционного анализа и планирования в различных организациях, в первую очередь в органах власти на местах.

Программный комплекс организован по модульному принципу. Он включает несколько компонентов, которые могут взаимодействовать друг с другом и другими программными продуктами на основе открытых международных стандартов. Структура комплекса представлена на рисунке 4.1.

**Программа визуализации ГИС** (пользовательский интерфейс) GIS-Moda.exe, GISModacontrol.dll — приложение, в котором непосредственно работает конечный пользователь. Используется для подготовки данных для анализа и удобного отображения результатов анализа. Данное приложение включает базовые функции ГИС по визуализации и хранению данных в пространственной базе данных.

**Средства интеграции с корпоративными системами** (DataAccess.dll, веб-сервис аналитических метод) — набор конвертеров пространственных данных для обмена данными с другими программными продуктами ГИС и набор интерфейсных программ, позволяющих использовать библиотеку аналитических программ в среде других информационных систем.

**Библиотека программ анализа** — подключаемая библиотека с набором математических методов, позволяющих создавать различные пространственные модели и решать задачи распределения ресурсов и размещения объектов. Библиотека имеет открытый интерфейс и может подключаться в других программных продуктах ГИС. Исходные данные для анализа и результаты анализа передаются программам библиотеки и обратно в формате GML, являющимся международным стандартом консорциума OGS.

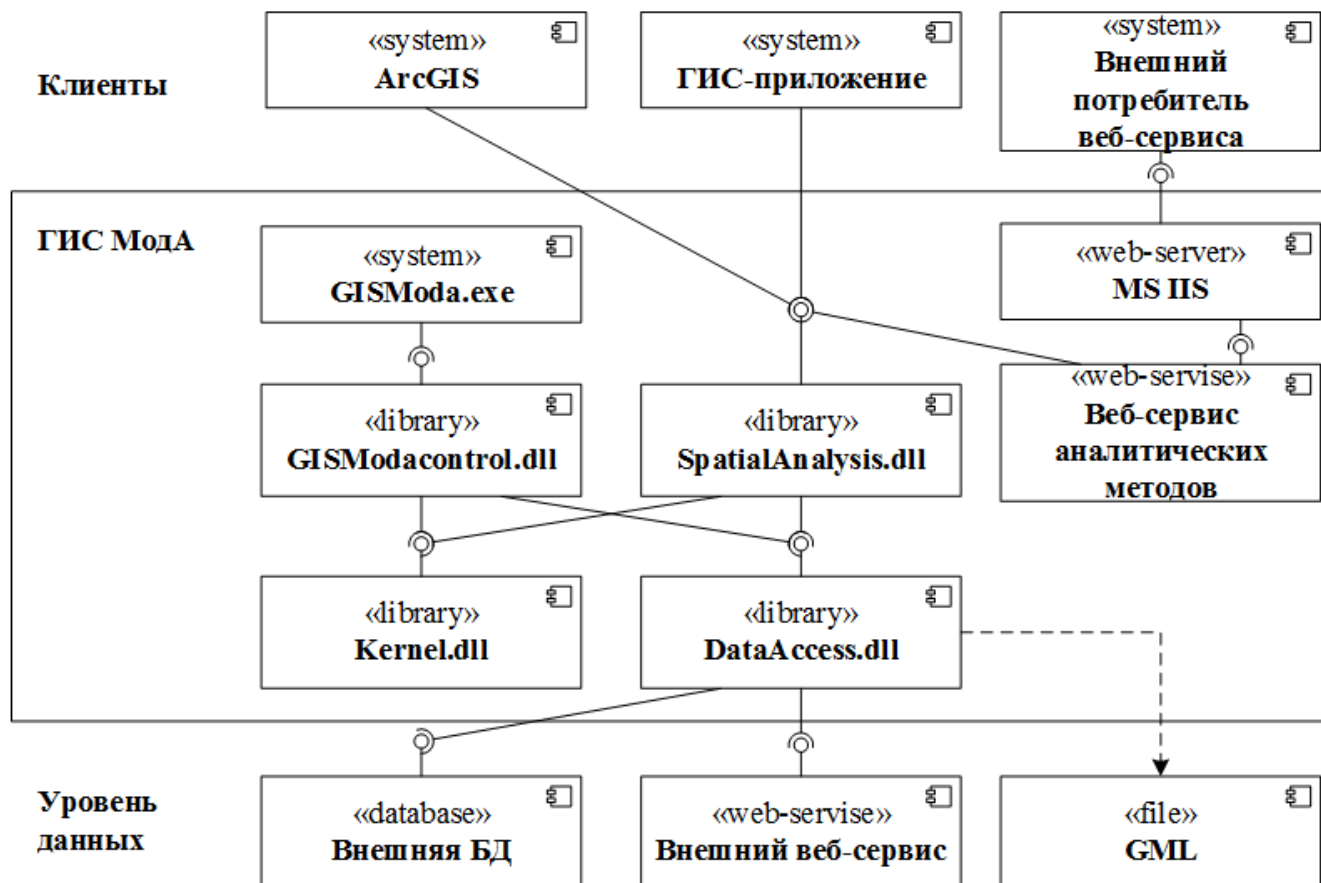


Рисунок 4.1 — Структура программного комплекса ГИС МодА

**ГИС-сервисы** — набор веб-сервисов, совместимых со стандартом OWS (OGC Web Service Common).

Благодаря своей архитектуре компоненты программного комплекса могут взаимодействовать с компонентами других ГИС и встраиваться в распределенные информационные системы в сети Интернет. Например, библиотека аналитических программ может применяться с использованием средств подготовки данных и визуализации известной ГИС платформы ArcGIS.

### *Реализация основных функций анализа пространственных данных*

Отличительной особенностью разработанного программного комплекса является наличие расширяемой библиотеки методов анализа территориально распределенных технических систем, в реализации которой автор принимал

непосредственное активное участие. Среди реализованных программ анализа следует выделить следующие:

1. Построение модели зонирования по источникам энергоснабжения на основе данных о принадлежности потребителей.
2. Построение модели зонирования по источникам энергоснабжения на основе топологической модели инженерной сети.
3. Построение моделей зонирования по стоимости присоединения к сети.
4. Агрегирование данных в моделях зонирования.
5. Построение комплексных моделей зонирования.
6. Устранение мелких зон (шума) в комплексной модели зонирования.
7. Ранжирование зон по критерию.

В разработанных алгоритмах построения моделей зонирования использованы два способа определения границ зон:

1. Существующее покрытие земельных участков.
2. Границы, построенные с помощью диаграмм Вороного.

Первый способ предполагает наличие заранее созданных полигональных слоев, соответствующих реальным или условным земельным участкам. Условные земельные участки могут формироваться при отсутствии точных кадастровых данных за счет анализа расположения различных объектов и естественных границ (зданий и сооружений, заборов и ограждений, улиц, границ растительности и водных объектов и т.д.). Использование алгоритма построения диаграмм Вороного вокруг точечных объектов, за которые могут быть приняты центры зданий или адресные метки, позволяет получить покрытие из границ, отстоящих на одинаковые расстояния от всех использованных в анализе точек. Однако эти границы обычно не совпадают с естественными и выглядят «пилообразно». Поэтому при простоте построения их приходится использовать с осторожностью.

Кроме перечисленных программ в состав библиотеки входят программы для решения задач транспортной логистики, кластеризации и других, которые разрабатывались другими участниками проекта. При этом набор методов

(программ) в библиотеке постоянно расширяется, а сами программы совершенствуются.

Разделение библиотеки функций пространственного анализа и базовых компонентов ГИС позволило создавать эффективные, компактные и простые в применении специализированные ГИС-приложения как в сфере СППР для размещения промышленных объектов, так и в других сферах применения ГИС.

#### **4.2 Геоинформационная система учета и анализа технологических присоединений к электрическим сетям**

Программный комплекс «Геоинформационная система учета и анализа технологических присоединений к электрическим сетям» разработан в ИГЭУ при активном участии автора на стадиях анализа требований к продукту, проектирования, конструирования и внедрения. Комплекс предназначен для создания информационных систем, позволяющих автоматизировать процессы анализа заявок на технологические присоединения к электрическим сетям и публиковать информацию о возможностях технологических присоединений к электрическим сетям с использованием картографического представления данных. Программный комплекс внедрен в филиале ОАО МРСК-Центр «Костромаэнерго». Акт внедрения приведен в приложении В. Свидетельство о регистрации программы «ЭнерГИС» приведено в приложении Г.

Программный комплекс включает средства для ввода, отображения, хранения и анализа пространственных данных об объектах электрических сетей разных классов напряжений. Для отображения и анализа данных используются цифровые географические карты. В качестве источника таких карт использован ресурс в сети Интернет: OpenStreetMap, который предоставляет свободные данные, распространяемые по лицензии Open Data Commons Open Database License (ODbL).

Данные о местоположении объектов (опорах ЛЭП, подстанциях, присоединяемых объектах) хранятся в географических координатах, получаемых с помощью устройств GPS. Ввод данных о местоположении объектов может осуществляться автоматически через обменные файлы, выгружаемые из корпоративных

баз данных энергосетевых компаний. На рисунке 4.2 приведен пример отображения данных об объектах электрической сети в среде программы.

Программный комплекс позволяет вести базу данных заявок на технологическое присоединение с указанием объектов присоединения и мест присоединения на карте, анализировать возможности и условия присоединения, отображать на карте данные об объектах сетевой компании и потребителях, формировать модели зонирования территории по наличию резервов мощности и другим показателям электроснабжения.

Полезной на практике возможностью является использование данных о границах земельных участков государственного земельного кадастра с портала Росреестра и данных дистанционного зондирования (спутниковая фотосъемка) для точного определения местоположения земельного участка на карте. На рисунке 4.3 показан пример указания местоположения потребителя на космическом снимке с наложенными на него данными о границах земельного участка Росреестра.

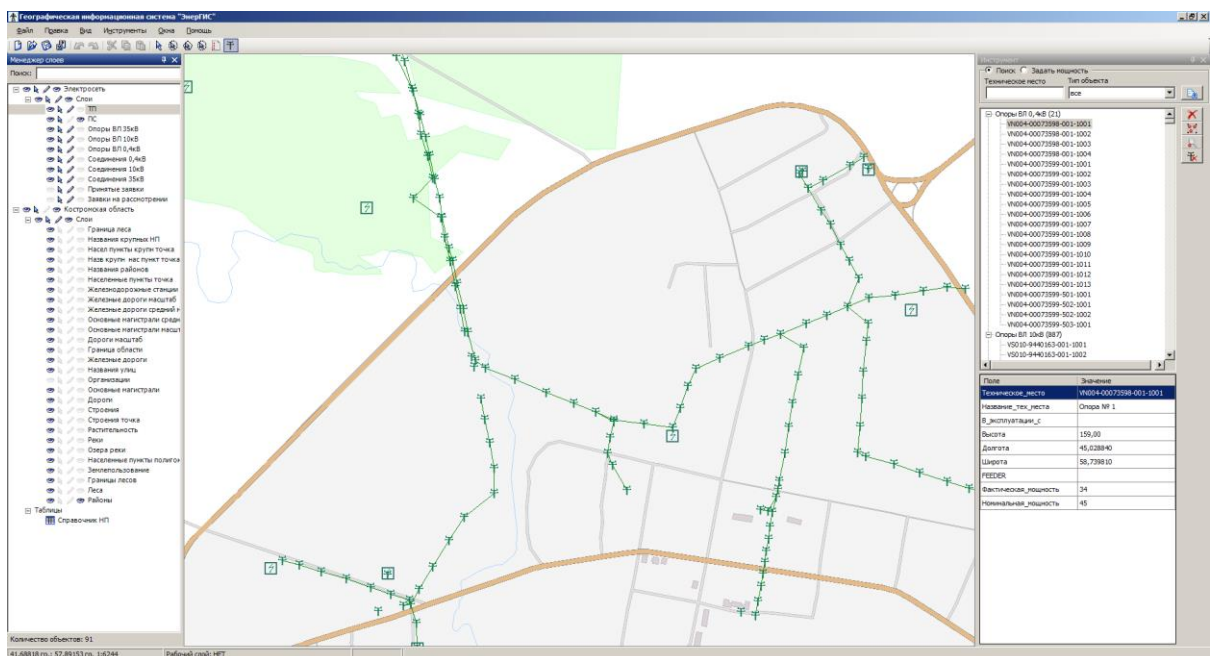


Рисунок 4.2 — Пример отображения данных об объектах сети



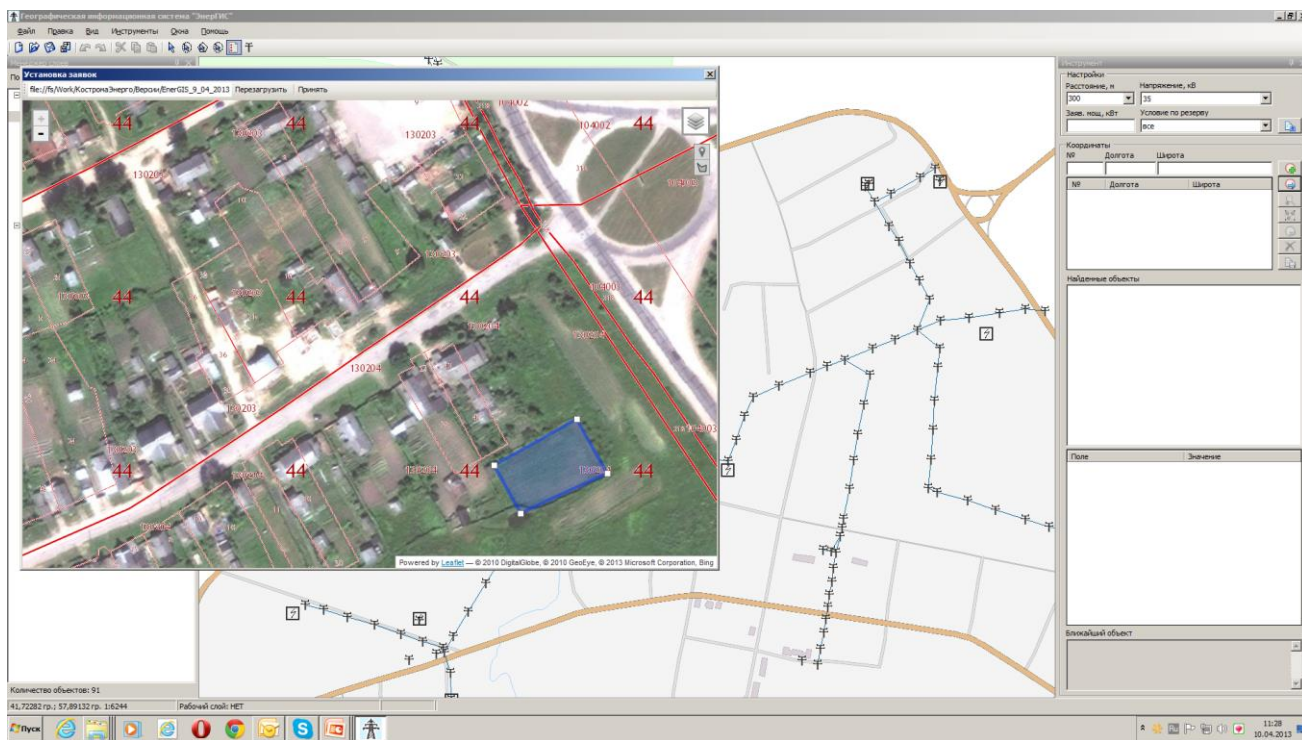


Рисунок 4.3 — Задание исходных данных для проведения анализа условий технологического присоединения

Далее строятся буферные зоны и путем оверлея слоев определяется выполнение требования о необходимости использования фиксированной стоимости присоединения для бытовых потребителей мощностью менее 15 кВт, расположенных на расстоянии не более 300 метров в городах и 500 метров в сельской местности от объектов электрической сети. Кроме того, рассчитываются расстояния до ближайшего объекта сети соответствующего напряжения и до ближайшего места присоединения, имеющего соответствующий резерв мощности. Результаты анализа отображаются выделением объектов на карте и выводятся в специальных формах, как показано на рисунке 4.4.

Программный комплекс реализован на базе инструментальной ГИС МодА. Автором разработаны основные алгоритмы и методы анализа данных, а также механизмы интеграции с интернет-порталом Росреестра посредством веб-сервисов.

Программа может применяться в региональных электросетевых компаниях, а также в службах развития инфраструктуры и управления топливно-

энергетическим комплексом региональных органов власти и местного самоуправления.

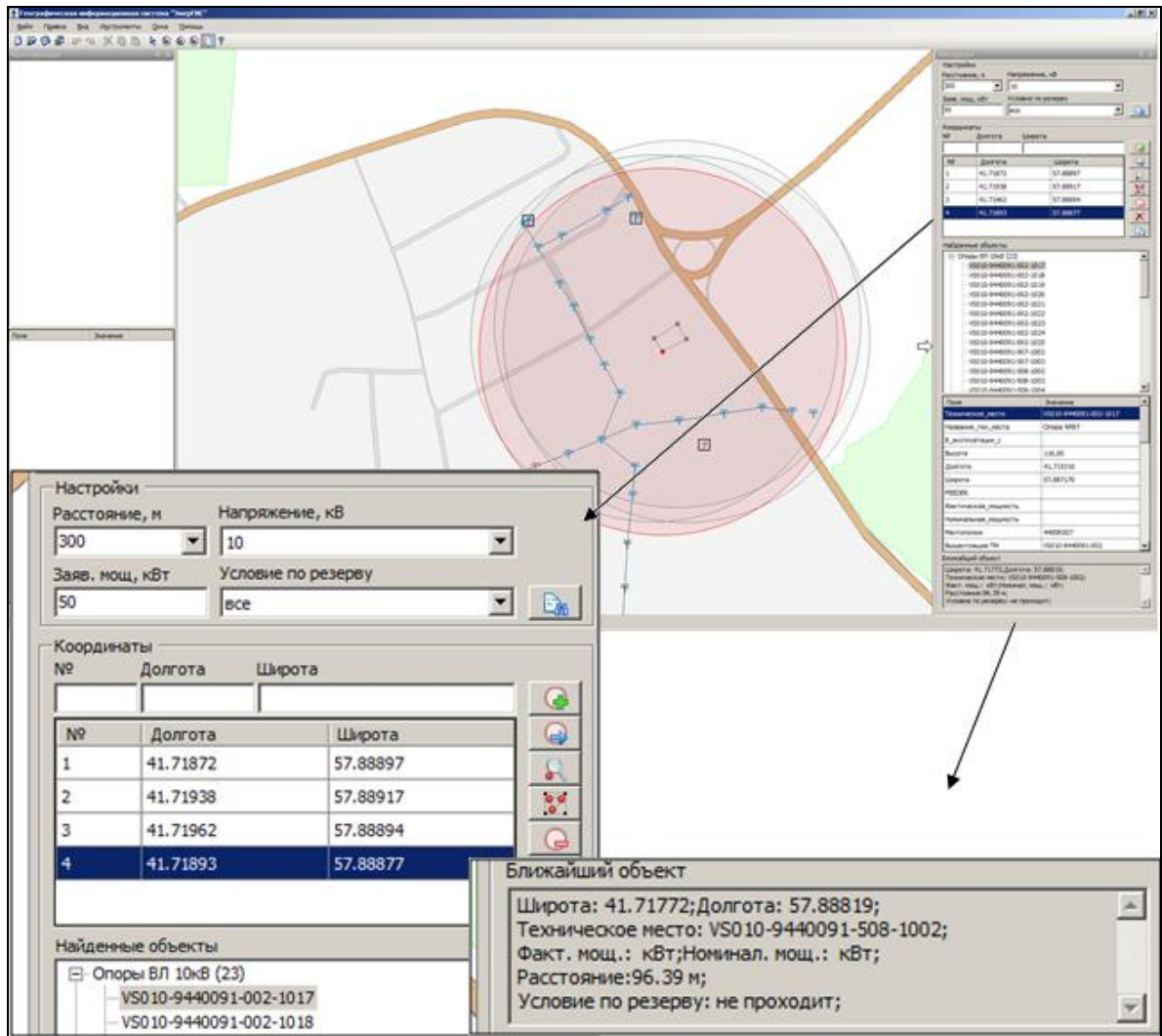


Рисунок 4.4 — Пример отображения результатов анализа условий технологического присоединения

### 4.3 Разработка системы поддержки принятия решений в Администрации города Иваново

Коллектив отдела геоинформационных технологий ИГЭУ, в котором работает автор, на протяжении многих участвует в разработке информационных систем Администрации города Иваново [48; 58].

Начиная с 2011 года при участии автора диссертации начаты работы по созданию СППР Администрации города Иваново. Первым этапом этой работы является создание и внедрение информационной системы «Категорированный учет населения», которая предполагает анализ обеспеченности населения различными видами ресурсов и услуг. Акт внедрения приведен в приложении Д.

В частности, в составе данного программного комплекса разрабатываются программные средства, позволяющие решать задачи формирования избирательных участков, которые являются зонами обслуживания участковых избирательных комиссий. На базе программного комплекса ведется учет территориальных объединений жителей, а также решаются другие задачи учета и анализа деятельности организаций и граждан, которые сводятся к задачам зонирования.

Окно программы, решающее задачу распределения зданий по участкам, показано на рисунке 4.5. Данная задача является задачей зонирования. Критерием построения зон является компактность участков (максимальная близость всех жилых зданий внутри зоны к зданию избирательной комиссии). Ограничениями являются допустимые нормы избирателей в каждом участке и связность территории участка.

В составе данной разработки автором решалась задача создания на базе ГИС МодА приложения, обеспечивающего возможность отображения данных в виде моделей зонирования с возможностью дальнейшего использования полученных моделей при комплексном анализе в задачах размещения объектов. В разработанной экспериментальной версии программы автоматически формируются границы участков по базе данных категорированного учета объектов жилищного фонда. При этом используется метод зонирования слиянием по атрибуту. Фрагмент построенной карты зонирования территории по избирательным участкам показан на рисунке 4.6.

Анализ Категории Справка **УЧЁТ НАСЕЛЕНИЯ**

Применить настройки адреса найти очистить excel

Население

Колонки таблицы

Поля

Фамилия

Имя

Отчество

Пол

дата рождения

Район

Улица

Дом

Квартира

Вид регистрации

дата регистрации

Дата смерти

№ АЗ рег. смерти

дата рег. смерти

Орган рег. смерти

Источник

Категории

Возраст

Инвалидность

Пенсия

Избиратели

Изменение значения категории

Категория **Инвалидность**

Значение **Г группы** Изм.

Распределение категорий

Категория 1 **Избиратели(н)**

Категория 2 **Изб. уч.(а)**

Адреса

Колонки таблицы

Поля

Район

Улица

Номер

Тип

Кол-во жителей

Категории

Изб. уч.

Поликл.

Уч.суд

Изменение зн. кат.

Категория **Изб. уч.**

Значение **1** Изм.

Улица	Номер	Кол-во жителей	Изб. уч.
10-й Проезд	16	67	2
10-й Проезд	17/126	2	1
10-й Проезд	18	55	15
10-й Проезд	2	109	2
10-й Проезд	20	163	1
10-й Проезд	21	2	1
10-й Проезд	22		1
10-й Проезд	23	7	1
10-й Проезд	24/2	1	1
10-й Проезд	29	4	1
10-й Проезд	31	3	1
10-й Проезд	32	5	1
10-й Проезд	34	29	1
10-й Проезд	36	25	1
10-й Проезд	37	1	1
10-й Проезд	39	5	1
10-й Проезд	45		1
10-й Проезд	47	1	1
10-й Проезд	51	146	1
10-й Проезд	8	78	1

Страница 1 из 1524 , Записей 20 из 30467 Страницы: 1 2 3 4 5 след >>|

Распределение населения по категориям excel

	избиратель	По кат. Избирательный участок	Всего
1	545	545	646
2	401	401	493
3	83361	83361	99570
4	1306	1306	1500
5	9306	9306	11053
6	73	73	89
7	86	86	110
8	8	8	13
9	1187	1187	1390
10	1345	1345	1647
11	0	0	0
12	0	0	0
13	0	0	0
14	0	0	0
15	85	85	98
По кат. Избиратели	97703		

Рисунок 4.5 — Окно программы распределения зданий по участкам

Для построения карты используются данные о земельных участках и промышленных объектах информационной системы «Имущественно-земельный кадастр» Ивановского городского комитета по управлению имуществом. В данной информационной системе в качестве базовой ГИС с 2013 года используется ГИС МодА. Акт внедрения приведен в приложении Е. Интеграционные возможности этой ГИС позволяют осуществлять обмен пространственными данными, необходимыми для применения методов

зонирования, и результатами зонирования в составе распределенной системы муниципальных информационных ресурсов города Иваново.

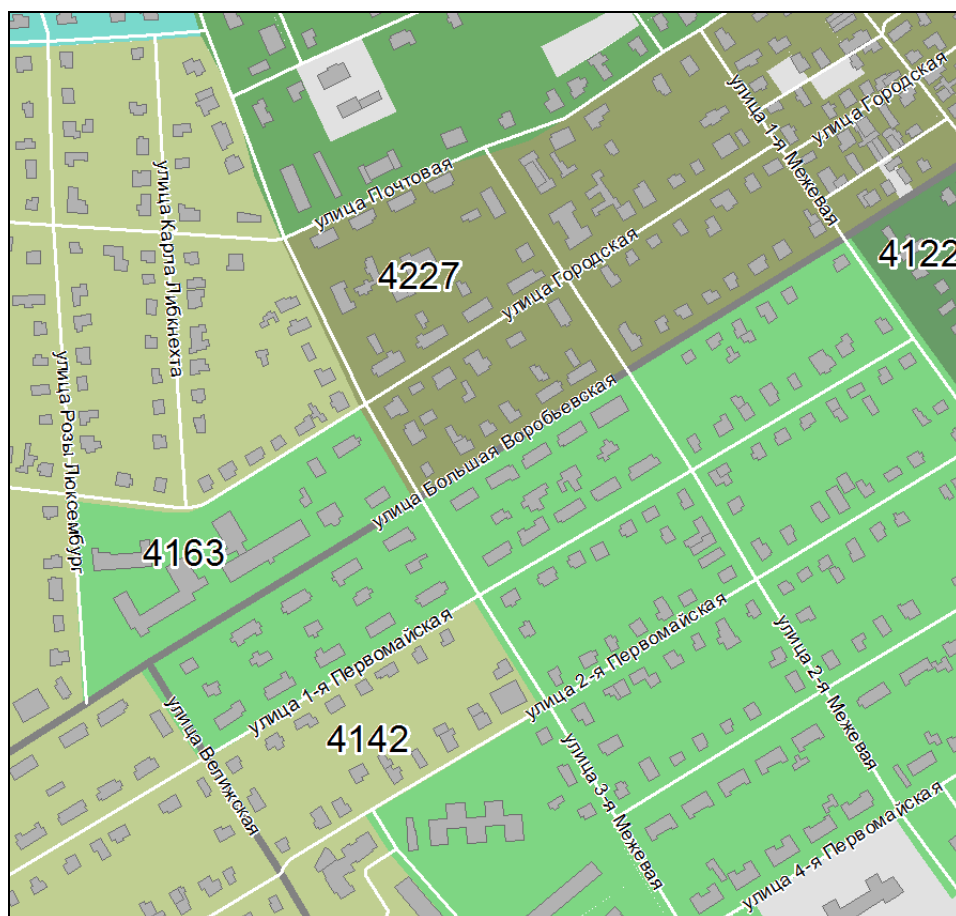


Рисунок 4.6 — Фрагмент зонирование территории по принадлежности к избирательным участком

#### 4.4 Разработка сайта для анализа размещения на базе методов зонирования территории города Иваново

В целом задача разработки СППР для решения задач размещения промышленных объектов является сложной и многогранной задачей. Анализ географических факторов является лишь одним из аспектов анализа, который должны проводить инвесторы. Поэтому данная работа не может претендовать на решение всех проблем СППР в сфере размещения инвестиций и анализа размещения объектов на территориях. Она создает предпосылки для создания комплексных СППР и дает возможность разрабатывать компоненты таких СППР с использование предло-

женных методов и технических решений. Для демонстрации и исследований разработанного подхода автором разработан экспериментальный сайт, на котором в настоящее время представлен ряд моделей зонирования территории города Иваново с возможностью динамического изменения параметров моделей. В частности, на нем приведены примеры зонирования по потреблению электроэнергии, по нормативной стоимости прокладки кабеля до ближайшей электрической подстанции при технологическом присоединении, по зонам обслуживания котельных.

Сайт является прототипом публичной СППР, ориентированной на инвестора. Он позволяет выбирать земельные участки по заданным значениям пользователя с использованием предложенных методов и средств. На рисунке 4.7 показан общий вид сайта.

Конечный пользователь имеет возможность в режиме реального времени выбирать набор интересных ему критериев, изменять их значение, выбирать метод анализа сформированных альтернатив. На рисунке 4.8 показано решение задачи из подраздела 2.3 в виде ранжирования участков с применением метода главного критерия по оценочной стоимости технологического присоединения к электрическим сетям.

Использование итерационного процесса выбора критериев и изменения их значений позволяет пользователю повысить оперативность принятия решения по размещению объекта.

На рисунке 4.9 показан пример изменения значения критерия и представление результатов анализа в виде наилучшего варианта участка.

Средства анализа, представленные на сайте, позволяют отображать различные аспекты пространственной структуры потребления электроэнергии и резервов электрической мощности. На рисунке 4.10 приведен фрагмент карты распределения резерва мощности по территории города по фидерам 6 кВ. В данном случае в качестве источников рассматривались подстанции класса напряжения 110—35 кВ (показаны на карте звездочкой), а в качестве потребителей — подстанции класса напряжения 6—10 кВ. Зонирование осуществлялось с использованием методов, рассмотренных в 3-й главе.

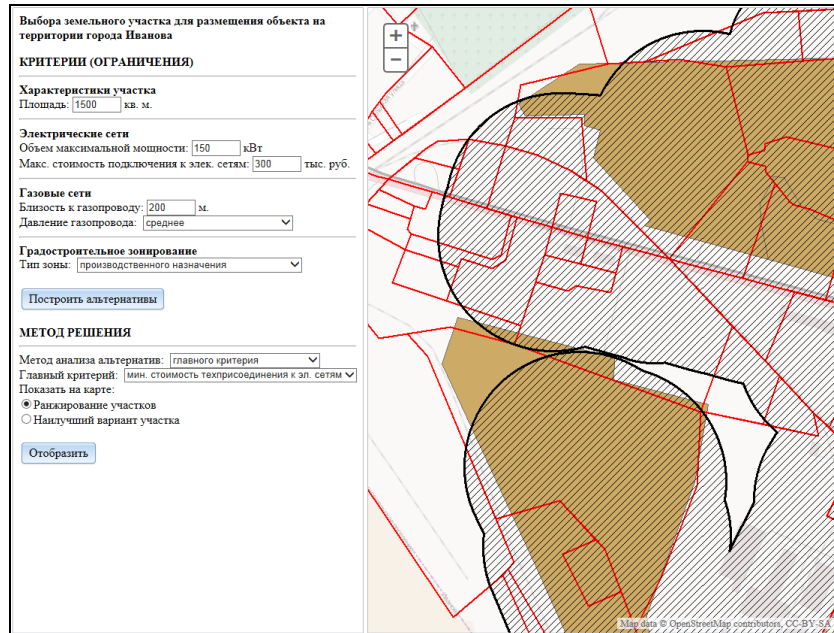


Рисунок 4.7 — Общий вид сайта СППР выбора земельного участка для размещения объекта на территории г. Иваново

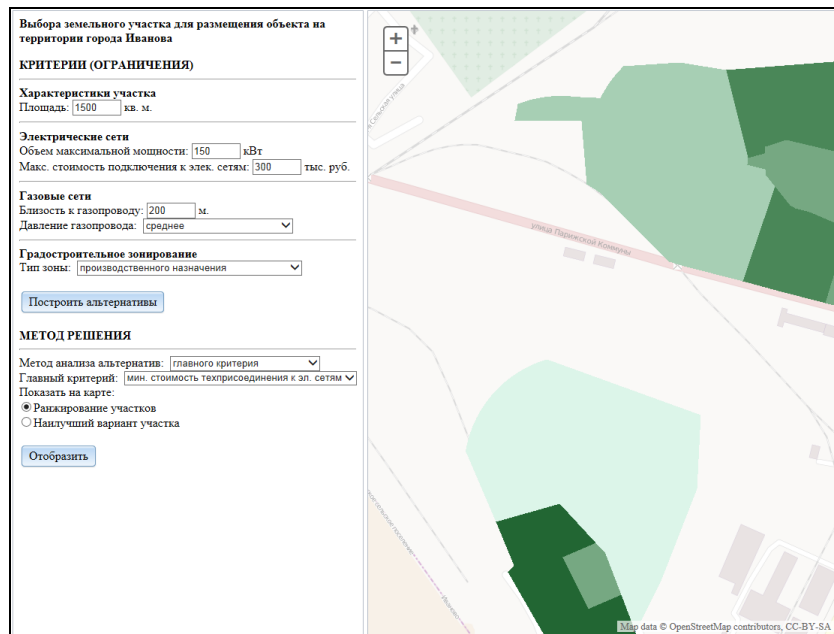


Рисунок 4.8 — Представление результатов в виде ранжирования участков на карте

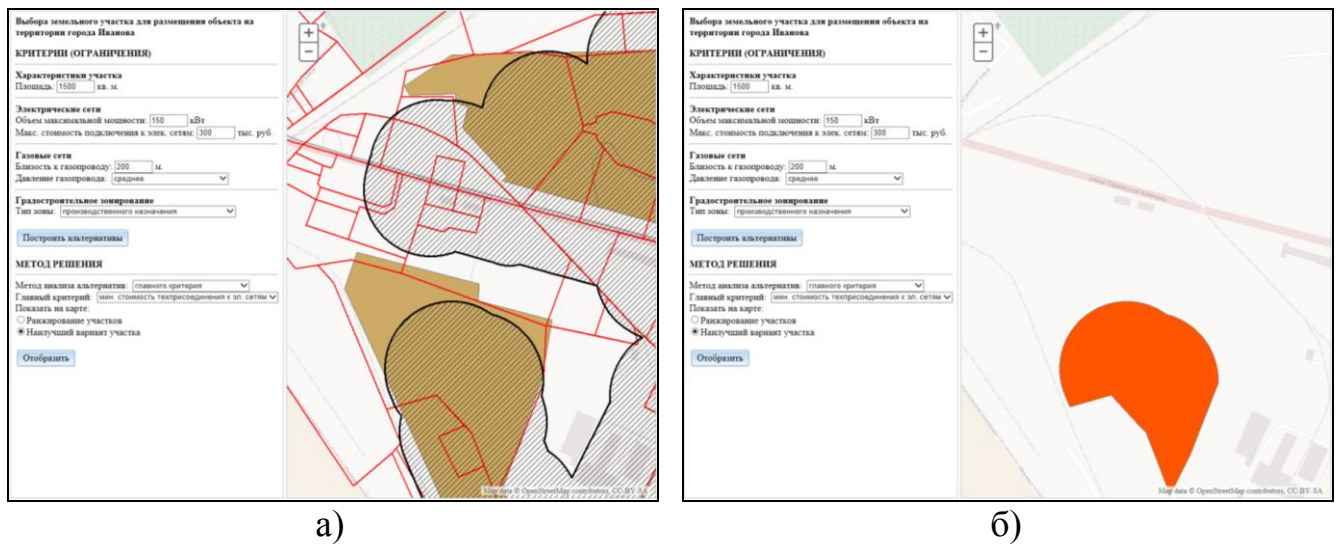


Рисунок 4.9 — Изменение значения критерия и результат отображения на карте:  
а — исходные данные; б — результаты анализа

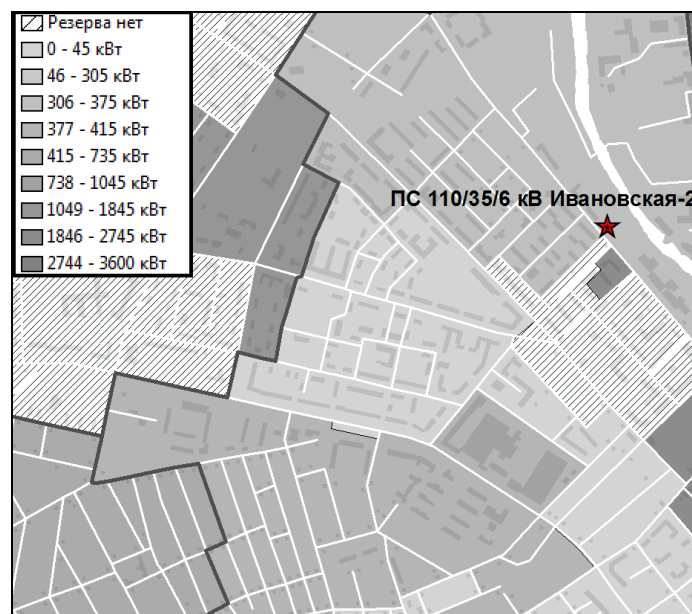


Рисунок 4.10 — Фрагмент карты распределения резерва мощности по фидерам

На рисунке 4.11 показан тот же участок карты с отображением величины мощности подстанций класса 6 кВ размером кружка. На рисунке 4.12 данные об этих подстанциях приведены в агрегированном виде по кварталам. Исходные данные о потребителях и источниках получены на сайте ОАО «Ивгорэлектросеть» [104].





Рисунок 4.11 — Фрагмент карты отображения величины текущего резерва мощности на трансформаторных подстанциях 6 кВ с учетом присоединенных потребителей, кВт

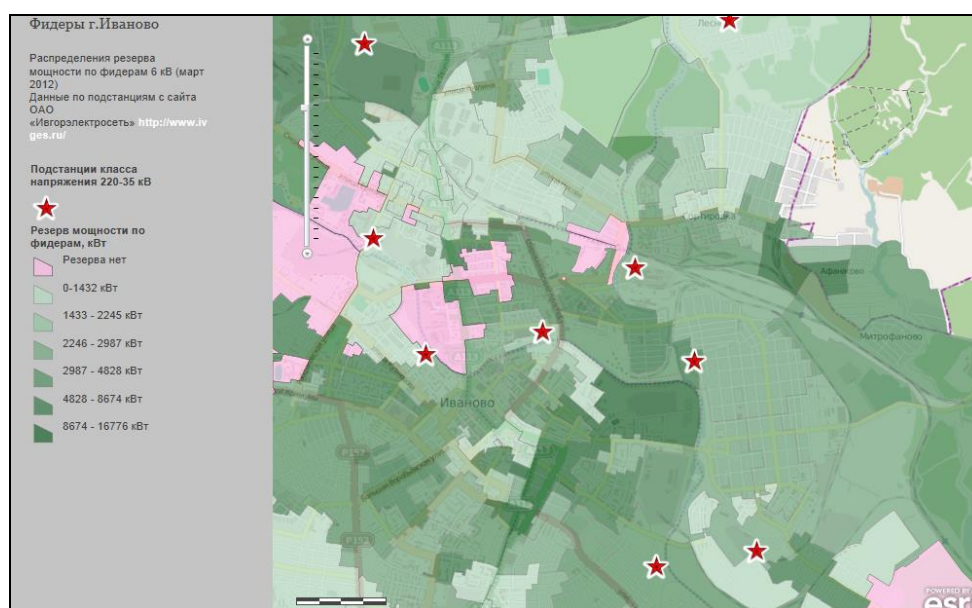


Рисунок 4.12 — Пример отображения результатов зонирования системы электроснабжения города Иваново

Разработанный сайт может представлять интерес для органов местного самоуправления, малых предприятий и частных лиц. За счет размещения на нем инструментов анализа пользователи могут наглядно видеть различные «срезы» дан-

ных и получать результаты зонирования по различным критериям на уровне подстанций 110—35 кВ, их фидеров и подстанций 6—10 кВ.

Сайт разработан на базе облачной ГИС ArcGIS Online. При этом для построения моделей зонирования использованы процедуры пространственного анализа, которые реализованы в составе программного комплекса ГИС МодА. Интеграция осуществлялась с помощью веб-сервисов, которые получают входные данные и возвращают результаты анализа в виде наборов данных на языке GML (международный стандарт для обмена пространственными данными, разработанный на базе XML).

#### **4.5 Выводы по 4-й главе**

1. Разработанные методы и алгоритмы зонирования реализованы в составе комплекса инструментальных программных средств в виде компонентов, которые могут быть интегрированы в различные информационные системы посредством использования стандартов веб-сервисов. Таким средством является разработанный программный комплекс «Геоинформационная система моделирования и анализа территориально распределенных технических систем ГИС МодА».

2. На основе использования разработанных компонентов реализованы несколько прикладных решений в сфере энергетики и муниципального управления, реализующих функции СППР.

3. Реализован действующий прототип СППР, ориентированной на инвесторов, решающих задачи выбора площадок для размещения промышленных объектов.

4. Выполненные практические разработки подтверждают практическую ценность полученных результатов работы.

## Заключение

В работе исследованы методы решения задач поддержки принятия решений при выборе участков для размещения промышленных объектов различного назначения на территориях городов, основанные на использовании моделей зонирования территорий, поддерживаемых средствами ГИС.

### *Основные теоретические и практические результаты работы*

1. Выполнен анализ методов учета пространственных факторов при выборе и оценке земельных участков для размещения промышленных объектов. Выявлены возможности представления различных географических факторов и ограничений, влияющих на выбор местоположения объектов в виде моделей зонирования в среде ГИС.

2. Предложен новый подход к решению задач формирования и оценки вариантов размещения промышленных объектов, основанный на построении комплексной модели зонирования, позволяющей проводить многокритериальный анализ земельных участков.

3. Разработан новый метод расчета затрат на присоединение промышленных объектов к сетям инженерных коммуникаций на стадии поиска и предварительного инвестиционного анализа вариантов размещения с учетом конфигурации существующей застройки территории.

4. Проанализированы возможности применения существующих алгоритмов построения оптимальных маршрутов на растровых картографических моделях для решения задач прогнозирования трасс инженерных коммуникаций. Предложен и реализован модернизированный алгоритм для моделирования маршрута трассы для присоединения промышленных объектов к существующим коммуникациям, учитывающий особенности присоединения к различным видам инженерных сетей и наличие резервов в источниках ресурсов.

5. Разработан инструментальный программный комплекс для решения задач анализа размещения объектов на основе применения моделей зонирования, который обеспечивает возможность использования различных программных платформ

разработки ГИС и распределенных решений в сети Интернет. На базе программного комплекса реализованы несколько прикладных программных продуктов.

Результаты работы были применены при разработке различных информационных систем, позволяющих решать задачи поддержки принятия решений с использованием моделей зонирования в различных сферах муниципального управления и энергоснабжения.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке СППР в сети Интернет, ориентированных на публичное использование широким кругом лиц, в первую очередь представителями малого и среднего бизнеса, при инвестиционном планировании и поиске вариантов размещения промышленных объектов.

**Список сокращений и условных обозначений**

ГИС — Географическая информационная система

ИСОГД — Информационная система обеспечения градостроительной деятельности

ЭЭС — Электроэнергетическая система

Интернет — информационно-телекоммуникационная сеть Интернет

ЛПР — Лицо, принимающее решение

СППР — Система поддержки принятия решений

ЗУ — Земельные участки

ЭП — Электрические подстанции

### Список литературы

1. Алексеева, Е. В. Алгоритмы локального поиска для задачи о  $p$ -медиане с предпочтениями клиентов [Текст] : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.01.09 / Алексеева Екатерина Вячеславовна. — Новосибирск, 2007. — 92 с.
2. Андрианов, Д. Е. Геоинформационные системы : исследование, анализ и разработка [Текст] / Д. Е. Андрианов. — М. : Гос. науч. центр РФ — ВНИИГеосистем, 2004. — 184 с.
3. Андрианов, Д. Е. Разработка муниципальных геоинформационных систем [Текст] / Д. Е. Андрианов, С. С. Садыков, Р. А. Симаков. — М. : Мир, 2006. — 105 с.
4. Арзамасцев, Д. А. Модели оптимизации развития энергосистем [Текст] / Д. А. Арзамасцев, А. В. Липес, А. Л. Мызин ; под ред. Д. А. Арзамасцева. — М. : Высш. шк., 1987. — 272 с.
5. Арзамасцев, Д. А. Оптимизационные модели развития электрических сетей энергосистем [Текст] / Д. А. Арзамасцев, А. В. Липес ; Урал. политехн. ин-т им. С. М. Кирова. — Свердловск, 1987. — 71 с.
6. Афанасьева, Н. Н. Оценка объектов специализированной недвижимости: системный подход [Текст] / Н. Н. Афанасьева, М. Г. Левин ; Костром. гос. технол. ун-т. — Кострома, 2004.
7. Бегтин, И. В. Проблема открытых данных в России [Текст] / И. В. Бегтин // Земля из космоса : наиболее эффективные решения. — 2011. — № 11. — С. 20—25.
8. Береснев, В. Л. Дискретные задачи размещения и полиномы от булевых переменных [Текст] / В. Л. Береснев. — Новосибирск : Изд-во Ин-та математики, 2005. — 408 с.
9. Бурков, В. Н. Основы математической теории активных систем [Текст] / В. Н. Бурков. — М. : Наука, 1986.

10. В России 21 % земельного фонда не числится в кадастре [Электронный ресурс]. 16.08.2013. — Загл. с экрана. — URL: <http://www.24rus.ru/more.php?UID=100835> (дата обращения: 01.11.2013).

11. Воропай, Н. И. Математическое моделирование развития электроэнергетических систем в современных условиях [Текст] / Н. И. Воропай, В. В. Труфанов // Электричество. — 2000. — № 10. — С. 6.

12. Воропай, Н. И. Современное состояние и проблемы электроэнергетики России [Текст] / Н. И. Воропай, С. И. Паламарчук, С. В. Подковальников // Проблемы прогнозирования. — 2001. — № 5. — С. 49—69.

13. Выбор оптимального варианта размещения объекта обслуживания населения [Текст] / А. С. Ломиногин [и др.] // Системы управления и информационные технологии. — 2006. — № 3. — С. 152—157.

14. Гермейер, Ю. Б. Введение в теорию исследования операций [Текст] / Ю. Б. Гермейер. — М. : Наука, 1971.

15. Гимади, Э. Х. Задача размещения на сети с центрально-связными областями обслуживания [Текст] / Э. Х. Гимади // Управляемые системы : сб. науч. тр. — Новосибирск : Ин-т математики СО АН РАН СССР, 1984. — Вып. 25. — С. 38—47.

16. Горский, Ю. М. Системно-информационный анализ процессов управления [Текст] / Ю. М. Горский. — Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1988.

17. Градостроительный кодекс РФ: федер. закон от 29. 12. 2004 № 190-ФЗ (редакция от 01.11.2013)) // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. — Режим доступа: локальный.

18. Гранберг, А. Г. Основы региональной экономики [Текст] / А. Г. Гранберг. — М. : ИД ГУ ВШЭ, 2004. — 495 с.

19. Графкина, М. В. Теория и методы оценки геоэкологической безопасности создаваемых природно-технических систем : автореф. дис. ... док. техн. наук : 25.00.36 / Графкина Марина Владимировна. — М., 2008. — 34 с.

20. Денисов, А. Р. Моделирование потока заявок на технологическое присоединение к электрическим сетям [Текст] / А. Р. Денисов, М. Г. Левин [и др.]

// Прикаспийский журнал : управление и высокие технологии. — 2013. — № 1 (21). — С. 60—71.

21. Денисов, А. Р. Синтез и анализ модели «как есть» бизнес-процесса «Технологическое присоединение к электрическим сетям» [Текст] / А. Р. Денисов [и др.] // Вестн. КГУ им. Н. А. Некрасова. — 2012. — Т. 18, № 1. — С. 37—40.

22. Джамрад, М. Размещение объекта обслуживания населения на основе метода дискретной оптимизации [Текст] / М. Джамрад, О. А. Романченко, О. Н. Толстикова // Управление большими системами : сб. тр. — 2006. — № 14. — С. 123—134.

23. Дискретные задачи размещения [Электронный ресурс] : Оптимизационные алгоритмы. — Загл. с экрана. — URL: <http://www.math.nsc.ru/AP/benchmarks/CFLP/cflp.html> (дата обращения: 01.11.2013).

24. Жизняков, А. Л. Вопросы применения вейвлет-преобразования для обработки данных в ГИС [Текст] / А. Л. Жизняков, С. С. Садыков // Геоинформатика / Geoinformatika. — 2005. — № 1. — С. 3—6.

25. Забудский, Г. Г. Алгоритм решения минимаксной задачи размещения объекта на плоскости с запрещенными зонами [Текст] / Г. Г. Забудский // Автоматика и телемеханика. — 2004. — № 4. — С. 93—100.

26. Забудский, Г. Г. Оптимальное размещение опасного объекта на плоскости с учетом зон различного влияния [Текст] / Г. Г. Забудский, Ю. А. Бурлаков // Омский науч. вестн. Сер. : Приборы, машины и технологии. — 2011. — № 3 (103). — С. 18—22.

27. Забудский, Г. Г. Решение задач размещения в евклидовом пространстве / Г. Г. Забудский, И. В. Нежинский [Текст] // Вестн. ОмГУ. — 1999. — Вып. 2. — С. 17—19.

28. Земельный кодекс Российской Федерации : федер. закон от 25. 10. 2001 № 136-ФЗ (редакция от 01.11.2013) // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. — Режим доступа: локальный.



29. Зонирование территории Российской Федерации по величине риска от наводнений [Текст] / Нигметов Г. М. [и др.] // Технологии гражданской безопасности. — 2003. — № 1—2. — С. 30—36.

30. Зуга, И. М. Автоматизированное проектирование схем размещения объектов предприятий из условия минимизации занимаемой ими площади [Текст] / И. М. Зуга, В. Г. Хомченко // Омский науч. вестн. Сер. : Приборы, машины и технологии. — 2011. — № 2 (90). — С. 163—167.

31. Изотова, Е. А. Выбор места размещения объекта капитального строительства на территории города Южно-Сахалинска с использованием геоинформационных систем [Текст] / Е. А. Изотова, Г. А. Кияшко // Вологодские чтения. — 2012. — № 80. — С. 20—22.

32. Инвестиционная политика на территории муниципального образования [Текст] / под общ. ред. В. И. Шеина. — М. : РИЦ «Муниципальная власть», 2001. — 310 с.

33. Инструментальный программный комплекс ГИС WinPlan [Текст] / С. В. Косяков [и др.] // Вестн. ИГЭУ. — 2003. — Вып. 1.

34. Исаченко, А. П. Установление местоположения земельных участков с повышенной инвестиционной привлекательностью при территориальном планировании и градостроительном зонировании [Текст] / А. П. Исаченко // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. — 2009. — № 4. — С. 74—81.

35. Калинкина, Н. А. Зонирование территории Самары с целью размещения объектов среднего профессионального образования (СПО) [Текст] / Н. А. Калинкина // Строительство и реконструкция. — 2011. — № 2. — С. 53—56.

36. Каминский, А. Л. Оценка вариантов территориального размещения строительных объектов с учетом инвестиционной привлекательности регионов РФ [Текст] : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / Каминский Александр Лазаревич. — М., 2000. — 127 с.

37. Кистанов, В. В. Региональная экономика России [Текст] / В. В. Кистанов, Н. В. Копылов. — М. : Финансы и статистика, 2003. — 584 с.

38. Климентова, К. Б. Оценки оптимальных значений и методы решения задач размещения с предпочтениями клиентов [Текст] : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 05.13.01 / Климентова Ксения Борисовна. — Иркутск, 2010. — 124 с.

39. Клир, Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач [Текст] : пер. с англ. / Дж. Клир. — М. : Радио и связь, 1990.

40. Кобелев, Н. Б. Практика применения экономико-математических методов и моделей [Текст] / Н. Б. Кобелев. — М. : Финстатинформ, 2000. — 246 с.

41. Коваленко, Е. Г. Региональная экономика и управление [Текст] / Е. Г. Коваленко. — СПб. : Питер, 2005. — 288 с.

42. Комплексная автоматизация процессов управления землёй и имуществом муниципального образования на основе корпоративного Интернет-портала [Текст] / С. В. Косяков [и др.] // Вестн. ИГЭУ. — 2009. — Вып. 3. — С. 85—90.

43. Кондратьев, В. Д. Методы решения задачи размещения объектов обслуживания [Текст] / В. Д. Кондратьев // Управление большими системами: сб. тр. / Рос. акад. наук, Ин-т проблем упр. им. В. А. Трапезникова. — М. : ИПУ. — 2008. — № 20. — С. 46—56.

44. Кормен, Т. Алгоритмы : построение и анализ = Introduction to Algorithms [Текст] : пер. с англ. / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест ; под ред. А. Шеня. — М. : МЦНМО, 2000. — 960 с.

45. Костров, А. В. Основы информационного менеджмента [Текст] / А. В. Костров. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Финансы и статистика, 2009. — 528 с.

46. Костров, А. В. Подход к организации управления сложными системами [Текст] / А. В. Костров, О. С. Коротеева // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. — 2010. — № 15. — С. 80—84.

47. Костров, А. В. Эффективность использования ресурсов информационной системы [Текст] / А. В. Костров // Методы и устройства передачи и обработки информации. — 2003. — № 3. — С. 272—282.

48. Косяков, С. В. Интеграция муниципальных информационных ресурсов с использованием Интернет-технологий [Текст] / С. В. Косяков, А. Б. Гадалов, А. В. Огородников // Вестн. ИГЭУ. — 2007. — Вып. 3. — С. 69—75.

49. Косяков, С. В. Метод построения моделей территориального агрегирования сетей для анализа пространственной структуры систем энергоснабжения городов [Текст] / С. В. Косяков, А. Б. Гадалов, О. В. Фомина // Вестн. ИГЭУ. — 2005. — Вып. 4. — С. 118—122.

50. Косяков, С. В. Модели, методы и средства пространственного анализа и проектирования территориально распределенных технических систем : на примере сетей энергоснабжения городов [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук 05.13.12 (05.13.01) ; защищена 25.03.2005 / Косяков Сергей Витальевич. — Иваново, 2005.

51. Косяков, С. В. Моделирование и анализ систем энергоснабжения территорий методами зонирования и агрегирования информации [Текст] / С. В. Косяков, А. М. Садыков // Вестн. ИГЭУ. — 2011. — Вып. 4. — С. 55—60.

52. Косяков, С. В. Моделирование пространственных данных при решении задач дискретной оптимизации в среде ГИС [Текст] / С. В. Косяков, А. Б. Гадалов, А. М. Садыков // Информационные технологии. — 2012. — № 7. — С. 27—31.

53. Косяков, С. В. Мягкие вычисления в построении карт зонирования территорий по параметрам систем энергоснабжения [Текст] / С. В. Косяков, С. С. Новосельцева, А. М. Садыков // Состояние и перспективы развития электротехнологии (XVII Бенардосовские чтения) : материалы междунар. науч.-техн. конф. / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина» ; Академия электротехн. наук Российской Федерации. — Иваново, 2013. — С. 338—341.

54. Косяков, С. В. Построение и публикация в сети Интернет карт зонирования систем энергоснабжения территорий [Текст] / С. В. Косяков, Е. Р. Пантелеев, А. М. Садыков // Вестн. ИГЭУ. — 2012. — Вып. 5. — С. 59—62.

55. Косяков, С. В. Разработка кадастровых информационных систем на платформе Microsoft. NET [Текст] / С. В. Косяков // Информ. бюл. ГИС-Ассоциация. — № 3. — 2004. — С. 11—19.

56. Косяков, С. В. Разработка метода поддержки принятия решений по реконструкции городских систем энергоснабжения с учетом пространственных факторов [Текст] / С. В. Косяков, А. М. Садыков // Состояние и перспективы развития электротехнологии (XVI Бенардосовские чтения) : материалы междунар. науч.-техн. конф. / Федеральное агентство по образованию, ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина» ; Академия электротехн. наук Российской Федерации. — Иваново, 2011. — С. 360—362.

57. Косяков, С. В. Разработка методов и средств анализа проектных рисков при выборе мест размещения производственных и энергетических объектов на базе ГИС и интернет-технологий [Текст] / С. В. Косяков, А. М. Садыков // Модернизация отраслевой производственной инфраструктуры : тез. докл. науч.-практ. конф. / КГУ им. Н. А. Некрасова. — Кострома, 2012. — С. 76—80.

58. Косяков, С. В. Разработка проекта муниципальной информационной системы города Иванова [Текст] / С. В. Косяков // Вестн. ИГЭУ. — 2008. — Вып. 4.

59. Косяков, С. В. Разработка специализированных приложений ГИС и САПР на основе инструментального программного комплекса Scale Objects [Текст] / С. В. Косяков, И. А. Данилин // Информационные технологии. — № 8. — 2003. — С. 45—52.

60. Кочетов, Ю. А. Методы локального поиска для дискретных задач размещения [Текст] : дис. ... д-ра физ.-мат. наук : 05.13.18 / Кочетов Юрий Андреевич. — Новосибирск, 2009. — 267 с.

61. Кошкарев, А. В. Региональные геоинформационные системы [Текст] / А. В. Кошкарев, В. П. Каракин. — М. : Наука, 1987. — 126 с.

62. Кузнецов, И. С. Поиск маршрута прокладки инженерных сетей с наименьшей стоимостью [Текст] / И. С. Кузнецов, Р. Н. Кузнецов, А. А. Горских

// Науч. вестн. Воронеж. гос. архит.-строит. ун-та. Строительство и архитектура / Воронеж. гос. архит.-строит. ун-т. — Воронеж, 2009. — № 4 (16). — С. 31—38.

63. Кулинич, И. А. Совершенствование организации размещения розничной торговой сети города [Текст] : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / Кулинич Иван Александрович. — Красноярск, 2012. — 28 с.

64. Лайкин, В. И. Геоинформатика [Текст] / В. И. Лайкин, Г. А. Упоров. — Комсомольск-на-Амуре : Изд-во АмГПГУ, 2010. — 162 с.

65. Ларионов, В. И. Зонирование территории в районе автозаправочной станции по риску взрывов бензино-воздушной смеси при заправке емкостей [Текст] / В. И. Ларионов, В. А. Акатьев, А. Л. Александров // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. — 2005. — № 1. — С. 178—187.

66. Ларичев, О. И. Качественные методы принятия решений [Текст] / О. И. Ларичев, Е. М. Мошкович. — М.: Наука, 1996. — 210 с.

67. Ларичев, О. И. Теория подсознательных решающих правил — новый взгляд на экспертное мышление [Текст] / Тр. VIII нац. конф. по искусственному интеллекту с международным участием. — М. : Физматлит, 2002. — С. 1—14.

68. Лемперт, А. А. Математическая модель и программная система для решения задачи размещения логистических объектов [Текст] / А. А. Лемперт, А. Л. Казаков, Д. С. Бухаров // Управление большими системами : сб. тр. — 2013. — № 41. — С. 270—284.

69. Мазеин, Н. В. Факторы размещения черной металлургии мира : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.24 / Мазеин Никита Васильевич. — М., 2009. — 20 с.

70. Макаренко, К. В. Управление развитием корпорации на основе геосетевого подхода и математической модели размещения ее подразделений [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.10 / Макаренко Константин Викторович. — Челябинск, 2012. — 23 с.

71. Мелькумов, В. Н. Определение оптимального маршрута трассы газопровода на основе карт стоимости влияющих факторов / В. Н. Мелькумов,

И. С. Кузнецов, Р. Н. Кузнецов // Науч. вестн. ВГАСУ. Строительство и архитектура. — 2009. — № 1 (13). — С. 21—27.

72. Месарович, М. Общая теория систем : математические основы [Текст] / М. Месарович, Я. Такахара. — М. : Мир, 1978.

73. Методы и модели прогнозных исследований взаимосвязей энергетики и экономики [Текст] / Ю. Д. Кононов [и др.] . — Новосибирск : Наука. Сиб. отделение, 2009. — 178 с.

74. Митчелл, Э. Руководство по ГИС Анализу [Текст]. Ч. 1. Пространственные модели и взаимосвязи : пер. с англ. / Э. Митчелл. — Киев, ЗАО ЕСОММ Со ; Стилос, 2000. — 198 с.

75. Михалевич, В. С. Оптимизационные задачи производственно-транспортного планирования [Текст] / В. С. Михалевич, В. А. Трубин, Н. З. Шор // Модели, методы, алгоритмы. — М. : Наука, 1986. — 264 с.

76. Моисеев, Н. Н. Математические задачи системного анализа [Текст] / Н. Н. Моисеев. — М. : Наука, 1981.

77. Молодюк, В. В. Совершенствование управления субъектами инфраструктуры электроэнергетики на основе геоинформационных технологий [Текст] / В. В. Молодюк, Я. Ш. Исамухамедов, В. А. Баринов // Энергетик. — 2012. — № 2. — С. 41—43.

78. Набережная, А. В. Обзор количественных методов оптимизации размещения бизнес-объектов [Текст] / А. В. Набережная, О. М. Шиккульская // Прикаспийский журнал : управление и высокие технологии. — 2012. — № 1. — С. 142—146.

79. Некрасов, Н. Н. Региональная экономика. Теория, проблемы, методы [Текст] / Н. Н. Некрасов. — М. : Экономика, 1978.

80. Никитина, А. В. Исследование природно-ресурсного потенциала прибрежных территорий в качестве фактора возможности размещения промышленного объекта [Текст] / А. В. Никитина, А. Н. Гульков // Технологии нефти и газа. — 2010. — № 1. — С. 8—12.

81. О государственной регистрации прав на недвижимое имущество и сделок с ним: федер. закон от 21.07.1997 № 122-ФЗ (ред. от 03.11.2013) // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. — Режим доступа: локальный.

82. О государственном кадастре недвижимости : федер. закон от 24.07.2007 № 221-ФЗ (ред. от 02.07.2013) // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. — Режим доступа: локальный.

83. О ценообразовании в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике [Текст] : постановление Правительства РФ от 29.12.2011 № 1178. — 2012. — № 4. — С. 504.

84. Об информационном обеспечении градостроительной деятельности : постановление Правительства РФ от 09.06.2006 № 363 // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. — Режим доступа: локальный.

85. Об инфраструктуре, обеспечивающей информационно-технологическое взаимодействие информационных систем, используемых для предоставления государственных услуг в электронном виде : постановление Правительства РФ от 8 июня 2011 года № 451 // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. — Режим доступа: локальный.

86. Об установлении перечня видов и состава сведений кадастровых карт : приказ Минэкономразвития России от 19 октября 2009 г. № 416 // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. — Режим доступа: локальный.

87. Об установлении стандартизированных тарифных ставок, формулы платы за технологическое присоединение и ставок за единицу максимальной мощности для применения при расчете платы за технологическое присоединение к электрическим сетям ОАО «Ивановская городская электрическая сеть» : постановление региональной службы по тарифам Ивановской области от 29 декабря 2012 г. № 525-э/2 // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. — Режим доступа: локальный.

88. Об утверждении документов по ведению информационной системы обеспечения градостроительной деятельности : приказ Минрегиона Российской

Федерации от 30.08.2007 № 85 // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. — Режим доступа: локальный.

89. Об утверждении методики определения размера платы за предоставление сведений, содержащихся в информационной системе обеспечения градостроительной деятельности : приказ Минэкономразвития от 26.02.2007 № 57 // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. — Режим доступа: локальный.

90. Об утверждении методических указаний по определению размера платы за технологическое присоединение к электрическим сетям: приказ Федеральной службы по тарифам России от 30 ноября 2010 г. № 365-э/5 // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. — Режим доступа: локальный.

91. Об утверждении перечня первоочередных мер по внедрению региональной системы «Открытое правительство» в Ивановской области на 2012—2013 годы : распоряжение Правительства Ивановской обл. от 11.11.2012 № 323-рп // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. — Режим доступа: локальный.

92. Об утверждении стандартов раскрытия информации субъектами оптового и розничных рынков электрической энергии : постановление Правительства РФ от 21.01.2004 № 24 // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. — Режим доступа: локальный.

93. Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : федер. закон от 23.11.2009 № 2 61-ФЗ // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. — Режим доступа: локальный.

94. Открытые данные Большого Правительства [Электронный ресурс] : О Совете. — Загл. с экрана. — URL: <http://открытыеданные.большоеправительство.рф/about> (дата обращения: 01.11.2013).

95. Письмо № 13478-СД / 10 ; Министерство регионального развития Российской Федерации от 15.08.2013 // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. — Режим доступа: локальный.



96. Подиновский, В. В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач [Текст] / В. В. Подиновский, В. Д. Ногин. — М. : Наука, 1982. — 256 с.

97. Пономарев, М. В. Объекты размещения отходов : правовые аспекты выбора земельного участка [Текст] / М. В. Пономарев // Твердые бытовые отходы. — М. : Отраслевые ведомости. — 2012. — № 2. — С. 46—49.

98. Потапов, Г. В. Спутниковые снимки в реальном времени : возможности и ограничения веб-сервисов [Текст] / Г. В. Потапов, М. Ю. Потанин, Д. Ю. Куделько // Земля из космоса : наиболее эффективные решения. — 2010. — № 7. — С. 28—32.

99. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [Текст]. — Изд. 7-е. — СПб. : Изд-во ДЕАН, 2007. — 704 с.

100. Прангишвили, И. В. Системный подход и общесистемные закономерности [Текст] / И. В. Прангишвил. — М. : СИНТЕГ, 2000.

101. Прогнозирование уровня весенних паводков и мониторинг зон затопления на основе ГИС-технологий и систем искусственного интеллекта [Текст] / В. А. Владимиров [и др.] // Стратегия гражданской защиты : проблемы и исследования. — 2012. — Т. 2. — С. 519—540.

102. Прохоров, Ю. К. Управленческие решения [Текст] / Ю. К. Прохоров, В. В. Фролов. — 2-е изд., испр. и доп. — СПб : СПбГУ ИТМО, 2011. — 138 с.

103. Публичная кадастровая карта [Электронный ресурс] : Федеральная служба государственной регистрации кадастра и картографии. — Загл. с экрана. — URL: <http://maps.rosreestr.ru/PortalOnline> (дата обращения: 01.11.2013).

104. Раскрытие информации ОАО «Ивгорэлектросеть» [Электронный ресурс]. — Загл. с экрана. — URL: <http://ivges.ru/doc.jsp?id=8151> (дата обращения: 01.11.2013).

105. Ратманова, И. Д. Информационная модель топливно-энергетического комплекса как основа анализа энергетической безопасности региона / И. Д. Ратманова, Н. В. Железняк, С. Д. Коровкин // Информационные технологии. — 2009. — № 9. — С. 9—15.

106. Региональная экономика [Текст] / Т. Г. Морозова [и др.] ; под ред. Т. Г. Морозовой. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2012. — 527 с.

107. Римшин, В. И. Предоставление земельных участков для строительства с предварительным согласованием места размещения объектов [Текст] / В. И. Римшин, Е. А. Омельченко, Л. И. Шубин // Изв. Орлов. гос. техн. ун-та. Сер. : Строительство. Транспорт. — 2008. — № 2—18. — С. 52—55.

108. Садыков, А. М. Дискретные задачи размещения объектов в геоинформационных системах [Текст] / А. М. Садыков // Инновационные проекты молодых ученых за 2011 г. : сб. отчетов / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». — Иваново, 2012. — Т. 2. — С. 148—151.

109. Садыков, А. М. Метод зонирования территории по стоимости технологического присоединения к электрическим сетям [Текст] / С. В. Косяков, А. М. Садыков // Вестн. ИГЭУ. — 2013. — Вып. 5. — С. 77—81.

110. Садыков, А. М. Метод поддержки принятия решения по размещению промышленных объектов на основе моделей зонирования [Текст] / А. М. Садыков // Энергия 2013 : тез. докл. регион. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». — Иваново, 2013. — С. 238—240.

111. Садыков, А. М. Пространственное моделирование и анализ систем энергоснабжения территорий [Текст] / А. М. Садыков // Вузовская наука — региону : материалы X всерос. науч.-техн. конф. / Вологод. гос. ун-т. — Вологда : ВоГТУ, 2012. — Т. 1. — С. 161—163.

112. Садыков, С. С. Методы и алгоритмы выделения признаков объектов в системах технического зрения / С. С. Садыков, Н. Н. Стулов — М. : Горячая линия—Телеком, 2005. — 204 с.

113. Сазонов, Э. В. Зонирование территорий при градостроительном проектировании с позиции обеспечения экологической безопасности [Текст] /

Э. В. Сазонов, В. В. Смольянинов // Науч. вестн. Воронеж. гос. архит.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. — 2010. — № 3. — С. 120—130.

114. Саленко, М. А. Структурирование описания инвестиционного потенциала региона для представления в интернете [Текст] / М. А. Саленко, И. Д. Блатт, А. Н. Оленев // Изв. Том. политехн. ун-та. — 2008. — Т. 312. — № 6. — С. 79—84.

115. Самардак, А. С. Геоинформационные системы [Текст] / А. С. Самардак. — Владивосток : ТИДОТ ДВГУ, 2005. — 123 с.

116. Свеженцева, О. В. Оптимизация размещения источников питания при формировании рациональной конфигурации системы электроснабжения [Текст] / О. В. Свеженцева, Н. И. Воропай // Электричество. — 2012. — № 10. — С. 7—14.

117. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Геоинформационная система моделирования и анализа территориально распределенных технических систем / А. А. Амирбеков [и др.] ; № 2012616621. 24. 07. 2012. — М. : Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.

118. Системный подход при управлении развитием электроэнергетики [Текст] / Л. С. Беляев [и др.]. — Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние. 1980.

119. Скрыль, М. Современные ИСОГД с точки зрения информатики и геоинформатики [Текст] / М. Скрыль // InternetGeo. Кадастр и город : ИСОГД, муниципальные ГИС. — 2011. — № 3.

120. Справка | ArcGIS Resources [Электронный ресурс] : Esri. — URL: <http://resources.arcgis.com/ru/help/> (дата обращения: 01.11.2013).

121. Старова, Е. В. Правовое регулирование предоставления земельных участков для размещения объектов промышленности [Текст] / Е. В. Старова // Политика и общество. — 2009. — № 10. — С. 70—75.

122. Строительные нормы и правила 2.07.01-89\* [Текст] : Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений / Госстрой России. — М. : ОАО ЦПП, 2011.

123. Строительные нормы и правила П-89-80\* [Текст] : Генеральные планы промышленных предприятий : утв. постановлением Госстроя СССР от 30 декабря 1980 г. № 213 (с изм. от 11 января 1985 г.).

124. Текущий и планируемый резерв по источникам питания (подлежащая раскрытию информация) | МРСК Центра и Приволжья [Электронный ресурс]. — Загл. с экрана. — URL: <http://www.mrsk-cp.ru/?id=6529> (дата обращения: 01.11.2013).

125. Тикунов, В. С. Устойчивое развитие территорий : картографо-геоинформационное обеспечение [Текст] / В. С. Тикунов, Д. А. Цапук. — Москва ; Смоленск : Изд-во СГУ, 1999. — 176 с.

126. Трахтенгерц, Э. А. Компьютерные методы реализации экономических и информационных управленческих решений. В 2 т. Т. 1. Методы и средства / Э. А. Трахтенгерц. — М. : СИНТЕГ, 2009. — 172 с.

127. Трофимова, Л. А. Управленческие решения (методы принятия и реализации) [Текст] / Л. А. Трофимова, В. В. Трофимов. — СПб. : Изд-во СПбГУЭФ, 2011. — 190 с.

128. Фасхутдинова, Г. Д. Застройка микрорайона города Казани с зонированием территории для развития и использования единой системы жилищно-строительной кооперации [Текст] / Г. Д. Фасхутдинова, М. М. Искандаров, А. Н. Афанасьева, В. М. Ланцов // Изв. Казан. гос. архит.-строит. ун-та. — 2011. — № 4. — С. 142—154.

129. Фетисов, Г. Г. Региональная экономика и управление [Текст] / Г. Г. Фетисов, В. П. Орешин. — М. : ИНФРА-М, 2006. — 416 с.

130. Филлипс, Д. Методы анализа сетей : пер. с англ. [Текст] / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас. — М. : Мир, 1984. — 496 с.

131. Цветков, В. Я. Геоинформационные системы и технологии [Текст] / В. Я. Цветков. — М. : Финансы и статистика, 1998. — 288 с.

132. Чандра, А. М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы [Текст] / А. М. Чандра, С. К. Гош. — М. : Техносфера, 2008. — 312 с.

133. Шакиров, В. А. Многокритериальный анализ вариантов размещения энергетических объектов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01 / Шакиров Владислав Альбертович. — Братск, 2007. — 22 с.

134. Шакиров, В. А. Многокритериальный предпроектный анализ вариантов трассы ЛЭП [Текст] / В. А. Шакиров // Тр. Братского гос. ун-та. Сер. : Естественные и инженерные науки развитию регионов Сибири. — Братск : БрГУ, 2006. — Т. 2. — С. 85—87.

135. Шапорова, Л. А. Природные предпосылки зонирования пригородной территории города Красноярска [Текст] / Л. А. Шапорова, Л. Хонг, С. Санинг // Журнал Сибирского федер. ун-та. Сер. : Техника и технологии. — 2013. — Т. 6, № 5. — С. 580—590.

136. Шипулин, В. Д. Основные принципы геоинформационных систем [Текст] / В. Д. Шипулин / Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва. — Харьков : ХНАГХ, 2010. — 337 с.

137. Экономико-математические методы и модели принятия решений в энергетике [Текст] / И. М. Артюгина [и др.] . — Л. : Изд-во ЛГУ, 1991. — 222 с.

138. Экономико-математическое моделирование размещения промышленных объектов в регионе (на примере деревообрабатывающего производства) [Текст] / Ладошкин А. И. // Экономические науки. — 2009. — № 55. — С. 309—313.

139. A new approach for substation expansion planning [Текст] / M. N. Sepasian [et al. ] // IEEE Trans. Power Systems. — 2006. — Vol. 21, N 2.

140. Belal Mohammadi Kalesar. Optimal substation placement and feeder routing in distribution system planning using genetic algorithm [Текст] / Belal Mohammadi Kalesar, Ali Reza Seifi // Elixir Elec. Engg. 37. — 2011. — P. 3908—3915.

141. Crawford, D. M. A mathematical optimization technique for locating and siting distribution substations, and deriving their optimal service.- IEEE Trans [Текст] / D. M. Crawford, S. B. Holt // Power Appar. and Systems. — 1975. — Vol. 94, N 3.

142. Farrag, M. A. A new model for distribution system planning [Текст] / M. A. Farrag , M. M. El-Metwally , M. S. El-Bages // Electrical Power and Energy Systems 21. — 1999. — P. 523—531.

143. Gönen, T. Distribution system planning using mixedinteger programming [Текст] / T. Gönen, B. L. Foote // Proc. Inst. Elect. Eng. — 1981. — Vol. 128, N 2. — P. 70—79.

144. Harabor, D. Online Graph Pruning for Pathfinding on Grid Maps. In Proceedings of the 25th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI) [Текст] / D. Harabor, A. Grastien. — San Francisco, 2011. — P. 1114—1119.

145. Hewings G. J., Rees J. M., Stafford H. A. Industrial location and regional systems [Текст] . N.Y. : J.F. Bergin Publishers, 1981. — 385 p.

146. Kainz, W. The Mathematics of GIS. Department of Geography and Regional Research University of Vienna [Электронный ресурс] / W. Kainz // — URL: [http://homepage.univie.ac.at/wolfgang.kainz/Lehrveranstaltungen/15th\\_Nordic\\_Summer\\_School/The\\_Mathematics\\_of\\_GIS\\_Draft.pdf](http://homepage.univie.ac.at/wolfgang.kainz/Lehrveranstaltungen/15th_Nordic_Summer_School/The_Mathematics_of_GIS_Draft.pdf) (дата обращения: 01.11.2013).

147. Michael J de Smith. Geospatial Analysis : A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools [Текст] / Michael J de Smith, Michael F Goodchild, Paul A Longley // 4nd edition. Troubador Publishing Ltd. — Matador, 2013.

148. Old-eld, J. V. Dynamic programming network flow procedure for distribution system planning in Proc. Power Industry Computer Applications [Текст] / J. V. Old-eld, M. A. Lang — 1965.

149. Pathfinding with A\* [Электронный ресурс]. — URL: <http://theory.stanford.edu/~amitp/GameProgramming/> (дата обращения: 01.11.2013).

150. PathFinding.js [Электронный ресурс]. — URL: <http://qiao.github.io/PathFinding.js/visual> (дата обращения: 01.11.2013).

151. Sedghi, M. Distribution network expansion using hybrid SA / TS algorithm [Текст] / M. Sedghi, M. Aliakbar-Golkar // Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering. — 2009. — Vol. 5, N 2.

152. Sepasian M. N., Seifi H., Foroud A. A. et al. A new approach for substation expansion planning [Текст]. — IEEE Trans. Power Systems, 2006. —Vol. 21, N 2.

153. Thomson, G. L. A branch and bound model for choosing optimal substation locations [Текст] / G. L. Thomson, D. L. Wall // IEEE Trans. Power Appar. and Systems. — 1981. — Vol. 100, N 5.

154. UML 2.2 Specification [Электронный ресурс] : Object Management Group, 2009. URL: <http://doc.omg.org/formal/2005-07-05.pdf> (дата обращения: 01.11.2013).

155. Weber, A. Über den Standort der Industrien, Teil 1 [Электронный ресурс] : Reine Theorie des Standortes. T übingen : J. C. B. Mohr, 1909. URL: <https://archive.org/details/ueberdenstandort00webeuoft> (дата обращения: 01.11.2013)

## Список иллюстрированного материала

Рисунок 1.1 — Фрагмент схемы генерального плана города.....	15
Рисунок 1.2 — Фрагмент Публичной кадастровой карты с информацией по земельному участку ИГЭУ.....	17
Рисунок 1.3 — Зоны транспортной доступности для точки города .....	25
Рисунок 1.4 — Фрагмент «среза» растра плотности населения .....	26
Рисунок 1.5 — Фрагмент интерактивной карты центров загрузки питания ИвЭнерго .....	31
Рисунок 2.1 — Процесс принятие решений .....	38
Рисунок 2.2 — Схема метода поддержки принятия решений на основе моделей зонирования .....	49
Рисунок 2.3 — Выбор области по заданным критериям.....	50
Рисунок 2.4 — Ранжирование участков (показано градациями закраски) .....	51
Рисунок 2.5 — Наложение моделей зонирования .....	56
Рисунок 2.6 — Представление результатов ранжирования в виде тематической карты.....	58
Рисунок 2.7 — Наложение моделей зонирования .....	59
Рисунок 2.8 — Фрагмент комплексной модели зонирования территории города Иваново .....	61
Рисунок 2.9 — Фрагмент карты с ранжированием участков по стоимости присоединения к электрическим сетям.....	63
Рисунок 3.1 — Модель процесса построения карты зонирования системы теплоснабжения в ModelBuilder .....	69
Рисунок 3.2 — Представление модели зонирования энергоснабжения в браузере .....	69
Рисунок 3.3 — Фрагмент карты города исходных данных .....	73
Рисунок 3.4 — Фрагмент карты для оценки длины кабеля .....	75
Рисунок 3.5 — Пример результатов зонирования на карте города Иваново.....	77
Рисунок 3.6 — Диаграмма деятельности разработанного метода .....	79



Рисунок 3.7 — Фрагмент карты для первого варианта расчета .....	85
Рисунок 3.8 — Фрагмент карты для второго варианта расчета .....	85
Рисунок 3.9 — Оптимальный путь для первой группы алгоритмов .....	86
Рисунок 3.10 — Оптимальный путь для второй группы алгоритмов.....	86
Рисунок 3.11 — Оптимальный путь для третьей группы алгоритмов .....	86
Рисунок 3.12 — Оптимальный путь для алгоритма A* .....	87
Рисунок 3.13 — Оптимальный путь для алгоритма Best-First-Search.....	87
Рисунок 3.14 — Оптимальный путь алгоритма Breadth-First-Search .....	88
Рисунок 3.15 — Оптимальный путь для алгоритма Jump Point Search.....	88
Рисунок 3.16 — Евклидово расстояние для исходных вариантов карт .....	88
Рисунок 3.17 — Иллюстрация работы алгоритма поиска в ширину .....	91
Рисунок 3.18 — Иллюстрация работы алгоритма Дейкстры .....	92
Рисунок 3.19 — Поиск кратчайшего расстояния до линейных объектов .....	92
Рисунок 3.20 — Блок-схема разработанного алгоритма.....	94
Рисунок 3.21 — Варианты шага дискретизации.....	95
Рисунок 3.22 — Гистограмма прогнозных длин трасс для присоединения ЗУ к ЭП.....	96
Рисунок 3.23 — Расчетный и фактический путь трассы ЛЭП .....	97
Рисунок 4.1 — Структура программного комплекса ГИС МодА.....	101
Рисунок 4.2 — Пример отображения данных об объектах сети .....	104
Рисунок 4.3 — Задание исходных данных для проведения анализа условий технологического присоединения .....	105
Рисунок 4.4 — Пример отображения результатов анализа условий технологического присоединения .....	106
Рисунок 4.5 — Окно программы распределения зданий по участкам .....	108
Рисунок 4.6 — Фрагмент зонирование территории по принадлежности к избирательным участком.....	109
Рисунок 4.7 — Общий вид сайта СППР выбора земельного участка для размещения объекта на территории г. Иваново .....	111

Рисунок 4.8 — Представление результатов в виде ранжирования участков на карте.....	111
Рисунок 4.9 — Изменение значения критерия и результат отображения на карте.....	112
Рисунок 4.10 — Фрагмент карты распределения резерва мощности по фидерам	112
Рисунок 4.11 — Фрагмент карты отображения величины текущего резерва мощности на трансформаторных подстанциях 6 кВ с учетом присоединенных потребителей, кВт .....	113
Рисунок 4.12 — Пример отображения результатов зонирования системы электроснабжения города Иваново .....	113

## Приложение А

**Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ  
«Геоинформационная системы моделирования и анализа территориально  
распределенных технических систем (ГИС МоДА)»**

**РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ**



**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о государственной регистрации программы для ЭВМ

**№ 2012616621**

**Геоинформационная система моделирования и анализа  
территориально распределенных технических систем  
(ГИС МоДА)**

Правообладатель(ли): **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» (ИГЭУ) (RU)**

Автор(ы): **Косяков Сергей Витальевич, Амирбеков Артем Амангельдыевич, Гадалов Александр Борисович, Дербенева Евгения Алексеевна, Жидовинов Константин Александрович, Карпов Максим Андреевич, Мочалов Александр Сергеевич, Садыков Артур Мунавирович (RU)**

Заявка № **2012614206**

Дата поступления **25 мая 2012 г.**

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ  
**24 июля 2012 г.**



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности



**Б.П. Симонов**

## Приложение Б

**Акт о внедрении результатов диссертационной работы в учебный процесс на кафедре программного обеспечения компьютерных систем ИГЭУ**


  
 УТВЕРЖДАЮ  
 Проректор  
 по учебной работе ИГЭУ  
 \_\_\_\_\_ А.В. Гусенков  
 М.П.

**Акт**

внедрения результатов диссертационной работы А.М. Садыкова в учебный процесс на Кафедре программного обеспечения компьютерных систем

Настоящим актом подтверждаем, что в результаты диссертационной работы инженера-программиста отдела геоинформационных технологий информационно-вычислительного центра ФГБОУ ВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина" (ИГЭУ) А.М. Садыкова внедрены в учебный процесс в ИГЭУ в рамках дисциплины «Геоинформационные системы». Данная дисциплина преподаётся студентам магистратуры направления 231000 «Программная инженерия» и студентам специалитета по специальности 230105 «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем». А.М. Садыков участвует в преподавании указанной дисциплины и руководит исследовательскими и выпускными квалификационными работами студентов по направлению своих научных исследований.

Декан ИВТФ



В.М. Кокин

Зав. кафедрой ПОКС



С.В. Косяков

## Приложение В

**Акт о внедрении результатов диссертационной работы в филиале ОАО  
МРСК-Центр «Костромаэнерго»**

**УТВЕРЖДАЮ**

Заместитель генерального директора  
– директор филиала ОАО «МРСК  
Центра» – Костромаэнерго»

**А.С. СЛЕБОВ**



2013 г.

**о внедрении результатов научно-исследовательской работы**

Настоящим актом подтверждается, что разработанная в ФГБОУ ВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина" программа "Геоинформационная система учета и анализа технологических присоединений к электрическим сетям "ЭнерГИС" внедрена в филиале ОАО МРСК-Центр "Костромаэнерго". Данный программный комплекс разработан на базе Геоинформационной системы моделирования и анализа территориально распределенных технических систем - "ГИС МодА" (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2012616621 от 24.07.2012). При разработке и внедрении ГИС были использованы результаты кандидатской диссертационной работы А.М. Садыкова, который осуществлял разработку алгоритмов анализа условий и возможностей технологических присоединений новых потребителей к электрическим сетям.

Научная значимость результатов работы заключается в разработке методов и алгоритмов оценки стоимости подключения потребителей к электрической сети с учетом местоположения, напряжения и мощности, указанных заявителем. Практическая значимость внедренных результатов работы заключается в снижении затрат на оценку заявок и сроков рассмотрения заявок.

Заместитель директора по развитию  
и реализации услуг

А.А.Никонов

Приложение Г

**Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ  
«Геоинформационная система учета и анализа технологических  
присоединений к электрическим сетям «ЭнерГИС»**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**СВИДЕТЕЛЬСТВО**  
о государственной регистрации программы для ЭВМ  
**№ 2014610605**

**Геоинформационная система учета и анализа  
технологических присоединений к электрическим сетям  
«ЭнерГИС»**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего профессионального  
образования «Ивановский государственный энергетический  
университет имени В.И. Ленина» (ИГЭУ) (RU)*

Авторы: *см. на обороте*

Заявка № **2013660584**  
Дата поступления **18 ноября 2013 г.**  
Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ **15 января 2014 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

  
Б.П. Симонов



## Приложение Д

**Акт о внедрении результатов диссертационной работы в Администрации  
города Иваново**

**УТВЕРЖДАЮ**

Заместитель главы Администрации  
города Иваново, руководитель  
аппарата Администрации города



А.А. Параничев

**Акт**

**о внедрении результатов диссертационной работы**

Настоящим актом подтверждаем, что в 2013 году в Администрации города Иваново была внедрена информационная система категорированного учета населения и объектов жилищного фонда, разработанная в ФГБОУ ВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина" (ИГЭУ). При разработке этой информационной системы использованы результаты кандидатской диссертационной работы инженера-программиста ИГЭУ А.М. Садыкова в виде методов и программных средств, позволяющих вести категорированный учет и анализ групп объектов недвижимости.

Разработанные научные методы позволяют решать задачи информационной поддержки принятия решений при формировании границ избирательных участков, зон обслуживания различных организаций и планировании распределения различных ресурсов на территории города Иваново.

Начальник управления информационных  
ресурсов Администрации города Иваново

Л.Д. Костерина

## Приложение Е

**Акт о внедрении результатов диссертационной работы в Ивановском городском комитете по управлению имуществом****УТВЕРЖДАЮ**

Председатель  
Ивановского городского комитета  
по управлению имуществом



Н.Л. Бусова  
М.П.

**Акт****о внедрении результатов научно-исследовательской работы**

Настоящим актом подтверждается, что разработанная в ФГБОУ ВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина" программный комплекс «Геоинформационная система моделирования и анализа территориально распределенных технических систем - "ГИС МоДА" (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2012616621 от 24.07.2012) внедрена в Ивановском городском комитете по управлению имуществом в составе Автоматизированной информационной системы «Имущественно-земельный кадастр» (АИС «ИЗК»). При разработке и внедрении АИС «ИЗК» были использованы средства ГИС «МоДА» для анализа местоположения земельных участков, являющиеся результатом кандидатской диссертационной работы А.М. Садыкова.

Научная и практическая значимость результатов работы А.М. Садыкова заключается в разработке методов и алгоритмов анализа возможности использования земельных участков для различных видов использования.

Начальник отдела информационного сопровождения  
и эксплуатации муниципального нежилого фонда



А.Н.Леонтьев