

УДК 004.414

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

С.В. Косяков, А.М. Садыков  
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
г. Иваново, Российская Федерация  
E-mail: ksv@igt.ispu.ru

### Авторское резюме

**Состояние вопроса:** Задачи поиска и анализа вариантов размещения различных объектов на территории являются актуальными для широкого круга инвесторов. При этом одним из критериев при выборе и оценке вариантов является стоимость подключения объекта к инженерным сетям. В научных публикациях по этой теме рассматриваются методики, в которых для учета данного критерия используются субъективные оценки или упрощенные расчеты, основанные на оценке расстояния до ближайших энергетических источников без учета конкретных условий и особенностей прохождения трасс коммуникаций. Это приводит к сокращению числа анализируемых вариантов размещения и снижению эффективности принимаемых решений. В связи с этим необходимо продолжить исследования методик, учитывающих прохождение трасс коммуникаций для задач размещения объектов на территории.

**Материалы и методы:** При разработке метода использованы утвержденные методики расчетов нормативной стоимости присоединения, раскрытая информация энергетических компаний и картографические данные, доступные в сети Интернет.

**Результаты:** Рассмотрен метод, основанный на применении ГИС-технологий, который позволяет выполнять оценку стоимости присоединения объектов к электрическим сетям на территориях городов и представлять результаты этой оценки в виде тематических карт зонирования. На его основе построены тематические карты зонирования территории по стоимости подключения к электрическим сетям и предложен способ его реализации средствами программного комплекса ArcGIS. Приводятся результаты опытной апробации методики на примере города Иваново.

**Выводы:** Новизна метода заключается в использовании моделей и алгоритмов трассировки ЛЭП по карте территории для оценки их длин. Полученные результаты могут быть использованы в энергетических компаниях и территориальных органах государственного управления при создании информационных систем публикации данных для инвесторов и поддержки принятия управленческих решений.

**Ключевые слова:** пространственное моделирование, зонирование, геоинформационная система, ГИС, технологическое присоединение.

## Method of area zoning according to the cost of technological connection to electric networks

S.V. Kosyakov, A.M. Sadykov  
Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation  
E-mail: ksv@igt.ispu.ru

### Abstract

**Background:** The problems of finding and analyzing the variants of locating different objects on a certain area are currently of great interest to many investors. One of the main criteria of choosing and assessing the variants is the cost of the object connection to the utilities. Scientific publications on this subject consider techniques which employ subjective evaluation or simplified calculations based on determining the distance to the nearest power sources without taking into account specific characteristics and communication lines origin. This reduces the number of location variants and inefficiency of decision-making. Therefore, it is necessary to continue analyzing the techniques taking into account communication lines origin for solving problems of object location within a certain area.

**Materials and methods:** While developing the method we used the approved techniques of calculating the standard connection cost, public data of power companies and cartographical data available in the Internet.

**Results:** The paper considers the method based on applying GIS-technologies which makes it possible to assess the cost of connecting objects to electric networks in towns and cities and to present the assessment results in the form of thematic zoning maps. Based on this method, we have plotted thematic zoning maps according to the cost of electric network connection and suggested a method of its realization in the ArcGIS software package. The paper also describes the method piloting results in Ivanovo city.

**Conclusions:** The method novelty consists in using models and algorithms of electric power lines layout to determine their length. The obtained results can be used by power companies and local authorities in developing information systems for investors and supporting managerial decision-making.

**Key words:** 3D-modelling, zoning, geoinformational system, GIS, technological connection.

Размер 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 объекта недвижимости (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). 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.

В настоящее время для информирования инвесторов и привлечения их на территории регионов и городов создаются информационные системы и тематические сайты в сети Интернет, на которых агрегируются различные данные об инвестиционных площадках, например<sup>1</sup>. Энергетические компании обязаны раскрывать информацию о своих мощностях и резервах. В частности, такая информация публикуется в виде тематических карт резервов [1]. Однако данные об инвестиционных площадках обычно приводятся для ограниченного набора земельных участков, а имеющиеся тематические карты распределения мощностей не дают полной и наглядной картины о стоимостях присоединения к сети в различных точках территории. Особенно это касается размещения небольших объектов. Кроме того, имеющиеся данные практически невозможно использовать в системах поддержки принятия решений (СППР), которые могли бы в автоматическом режиме подбирать и оценивать по различным критериям варианты размещения объектов. Нами разработан и экспериментально опробован метод, который позволяет строить в среде ГИС пространственные модели распределения стоимости технологического присоединения и находить зоны, в которых эта стоимость удовлетворяет требованиям конкретного инвестора. Данный метод может быть использован в СППР для комплексной оценки участков территории в рамках подхода, изложенного в [2].

Разработанный метод базируется на утвержденных Федеральной службой по тарифам Методических указаниях по опреде-

лению размера платы за технологическое присоединение к электрическим сетям<sup>2</sup> и утверждаемых региональными службами по тарифам стандартизированных тарифных ставках, формулах платы за технологическое присоединение и ставках за единицу максимальной мощности для применения при расчете платы за технологическое присоединение (использованы тарифы, формулы и ставки, установленные Региональной службой по тарифам Ивановской области<sup>3</sup>). 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 земельных участков (ЗУ) к представленным там же электрическим подстанциям (ЭП) или ЛЭП. При этом учитываются заявленная для присоединения мощность и величины имеющихся резервов мощности на объектах электрической сети.

Примеры и источники получения исходных данных и карт для проведения анализа рассмотрены в [2]. В проведенных исследованиях и примерах использованы данные по электрическим подстанциям напряжения 6–10 кВ города Иваново и оценивалась возможность подключения к этим объектам путем прокладки подземных кабелей. Однако сам метод позволяет учитывать возможность присоединения по воздушным ЛЭП. На рис. 1 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.

<sup>2</sup> Постановление Правительства Российской Федерации «О ценообразовании в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике» от 29.12.2011 № 1178 // Собрание законодательства. – 2012. – № 4. – Ст. 504.

<sup>3</sup> Постановление региональной службы по тарифам Ивановской области «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» от 29.12.2012 № 525-э/2.

<sup>1</sup> Инвестиционный портал Ивановской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://invest-ivanovo.ru/>



Рис. 1. Карта ЭП и ЗУ

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 ближайшим 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 подключения к одной из ЭП с учетом стоимости технологического присоединения.

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

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 подключения для каждого ЗУ производится путем поиска ближайших по евклидовому расстоянию ЭП. В реализации метода были найдены 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.

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 был использован алгоритм построения кратчайших маршрутов на растровой модели (будем называть ее растром) с учетом непреодолимых препятствий [3]. 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 рис. 2 показан пример результатов работы алгоритма на растровой модели при построении одной трассы. Светлые полигоны на рис. 2 – это векторный слой домов. Темно-серые ячейки – непреодолимые препятствия для алгоритма трассировки. Черные ячейки – построенная трасса, по которой рассчитывается прогнозируемая длина кабельной ЛЭП.

Задача трассировки является темой отдельного исследования. В перспективе планируется использовать более сложные алгоритмы для учета других препятствий и особенностей территории. Однако, по нашему мнению, для целей предварительной приближенной оценки длин трасс этот метод дает приемлемые результаты. В качестве точек начала и конца трасс используются спроецированные на растр точки центроидов ЗУ значков ЭП.



Рис. 2. Пример работы алгоритма трассировки по растру

Следует отметить, что данная задача требует значительного объема расчетов. В примере использовался растр с шагом сетки 4 метра. При этом размер матрицы элементарных участков для территории города со-

ставил 2700 x 2700 элементов. Количество ЭП – 950, а количество ЗУ – 9800. Таким образом, при рассмотрении 6 вариантов подключения для каждого участка требовалось построить  $950 \cdot 9800 \cdot 6 = 55860000$  трасс. Вместе с тем задача имеет полиномиальную сложность и решается в приемлемое время. В проведенных экспериментах оно составляло несколько часов. Однако данный расчет выполняется однократно. Он необходим только при появлении на карте новых объектов (ЭП и зданий). Изменения характеристик ЭП и параметров заявки не требуют изменений этой модели. Кроме того, время расчетов может быть сокращено за счет применения специализированного оборудования и распараллеливания вычислительного процесса.

Расчет нормативной стоимости вариантов присоединения производится по формуле<sup>4</sup>

$$P_{\text{тп}} = C1 \cdot N + (C2 \cdot L + C3 \cdot L + C4 \cdot N) \cdot z_{\text{изм.ст}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{тп}}$  – плата за технологическое присоединение энергопринимающих устройств заявителя, руб;  $C1$  – стандартизированные тарифные ставки на покрытие расходов сетевой организации на технологическое присоединение к электрическим сетям энергопринимающих устройств потребителей, руб/кВт;  $N$  – объем максимальной мощности, указанный в заявке на технологическое присоединение заявителем, кВт;  $C2$ ,  $C3$  – стандартизированные тарифные ставки на покрытие расходов сетевой организации на строительство воздушных ( $C2$ ) и (или) кабельных ( $C3$ ) линий, руб/км;  $L$  – протяженность воздушных и (или) кабельных линий, строительство которых предусмотрено согласно выданных технических условий, км;  $C4$  – стандартизированные тарифные ставки на покрытие расходов сетевой организации на строительство подстанций, руб/кВт;  $z_{\text{изм.ст}}$  – индекс изменения сметной стоимости по строительно-монтажным работам для Ивановской области<sup>5</sup>.

Из шести вариантов стоимости подключения ЗУ к различным ЭП выбирается вариант 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 рис. 3 приведен фрагмент такой карты, где светлым цветом показаны зоны города, в которых технологическое присоединение потребителя мощностью 50 кВт должно по нормативному расчету стоить менее 300000 рублей.

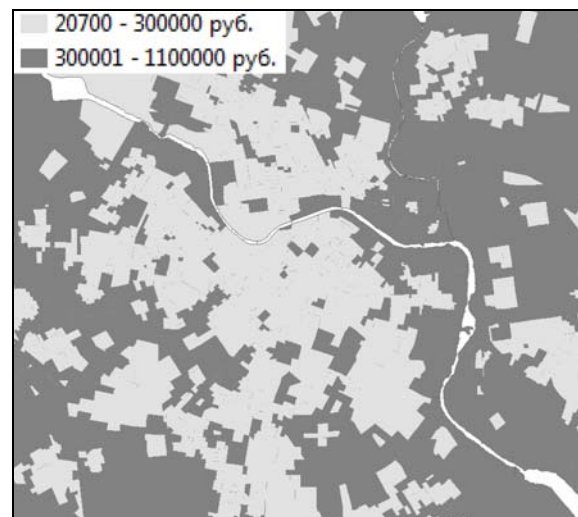


Рис. 3. Фрагмент карты зонирования

На рис. 4 общий алгоритм метода представлен в виде диаграммы деятельности. Верхняя точка начала работы алгоритма соответствует стадии начала подготовки модели. Вторая входная точка алгоритма соответствует началу анализа конкретной заявки.

Разработанный метод реализован в виде экспериментального образца программы в среде ArcGIS 10. При этом использованы различные готовые программные функции и алгоритмы, представленные в этом программном комплексе.

<sup>4</sup> Постановление Правительства Российской Федерации «О ценообразовании в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике» от 29.12.2011 № 1178 // Собрание законодательства. – 2012. – № 4. – Ст. 504.

<sup>5</sup> Письмо Министерства регионального развития Российской Федерации №13478-СД/10 от 29.07.2013.

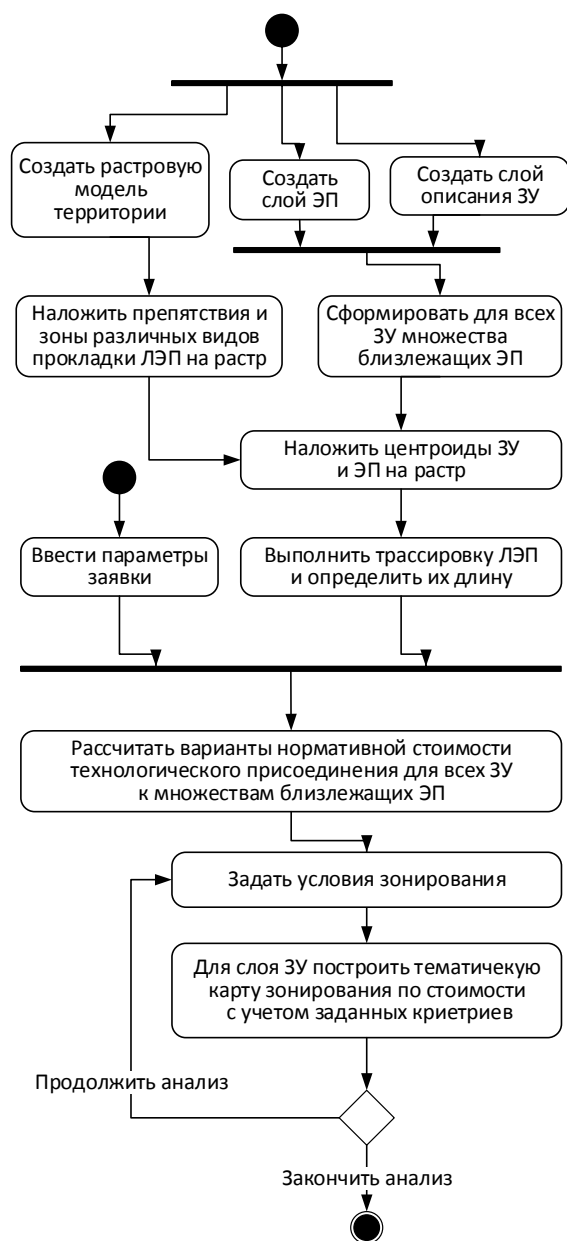


Рис. 4. Диаграмма деятельности

Выполненная программная реализация подтверждает практическую реализуемость

*Косяков Сергей Витальевич,*  
 ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
 зав. кафедрой программного обеспечения компьютерных систем,  
 телефон (4932) 26-98-40.

*Садыков Артур Мунавирович,*  
 ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
 аспирант кафедры программного обеспечения компьютерных систем,  
 телефон (4932) 26-98-40.

всех этапов метода средствами ГИС и предоставляет возможность проведения дальнейшего исследования его адекватности и настройки в целях повышения точности оценок.

### Заключение

Разработанный метод построения тематических карт зонирования территории по показателю нормативной стоимости технологического присоединения к электрическим сетям, а также результаты программной реализации этого метода могут использоваться при создании СППР, которые предоставят широкому кругу потенциальных инвесторов возможность анализировать варианты выбора инвестиционных площадок. Информационные системы, включающие реализацию метода, могут создаваться органами регионального и местного управления в виде Интернет-порталов для инвесторов.

### Список литературы

1. Косяков С.В., Пантелеев Е.Р., Садыков А.М. Построение и публикация в сети Интернет карт зонирования систем энергоснабжения территорий // Вестник ИГЭУ. – 2012. – Вып. 5. – С. 59–62.
2. Косяков С.В., Садыков А.М. Моделирование и анализ систем энергоснабжения территорий методами зонирования и агрегирования информации // Вестник ИГЭУ. – 2011. – Вып. 4. – С. 55–60.
3. Рассел С.Дж., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход = Artificial Intelligence: A Modern Approach / пер. с англ. и ред. К.А. Птицына. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2006. – С. 157–162.

### References

1. Kosyakov, S.V., Panteleev, E.R., Sadykov, A.M. Vestnik IGEU, 2012, issue 5, pp. 59–62.
2. Kosyakov, S.V., Sadykov, A.M. Vestnik IGEU, 2011, issue 4, pp. 55–60.
3. Rassel, S.Dzh., Norvig, P. Iskusstvennyy intellekt: sovremennyy podkhod [Artificial Intelligence: A Modern Approach]. Moscow, Vil'yams, 2006, pp. 157–162.