

УДК 004.6

Построение и публикация в сети Интернет карт зонирования систем энергоснабжения территорий

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

Авторское резюме

Состояние вопроса: 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. Данные об объектах энергетики, их мощности, резервах и планах развития в настоящее время доступны в сети Интернет на сайтах различных энергетических компаний в регионах. Однако форма их представления не позволяет увидеть целостную картину структуры энергоснабжения территории. Наиболее наглядное и информативное представление о пространственной структуре территориальных систем дают интерактивные модели, отображающие результаты анализа данных в виде тематических карт. Процесс их создания и публикации остается достаточно сложной и трудоемкой задачей.

Материалы и методы: Использован метод, включающий процедуры интеграции и агрегирования пространственных данных о квартальном делении территории и атрибутивных данных об объектах энергетических сетей. Данные получены из открытых источников. Программная реализация выполнена на базе облачной геоинформационной системы ArcGIS Online.

Результаты: Предложена методика автоматизированного построения и публикации карт зонирования территории по принадлежности участков территории к различным источникам энергоснабжения (электрические подстанции или их фидеры, котельные, ТЭЦ). Приведен пример реализации методики в виде экспериментального образца сайта, на котором опубликована карта зонирования территории города Иванова, показывающая распределение мощности и резервов системы электроснабжения на основе данных, опубликованных сетевыми компаниями.

Выводы: Разработанный метод может использоваться в составе информационных систем поддержки принятия решений при инвестиционном планировании и управлении развитием систем энергообеспечения территорий.

Ключевые слова: пространственный анализ, зонирование, системы энергоснабжения, геоинформационные системы.

Creation and Internet Publishing of Zoning Maps of Regional Power Supply Systems

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

Abstract

Background: One of the tasks of the state policy in power engineering is to provide local authorities, energy consuming organizations and investors with information that coordinates plan of fuel and energy balance complex development with other regional infrastructure objects development plans. Data concerning power engineering objects, such as installed capacity, power reserve and development plans is now easily available via Internet sites of regional power companies. However, this data is fragmented which hampers the holistic pattern of regional power supply structure. Subject map is considered to be the most evidential and informative presentation of spatial structure of regional power supply structures. Meanwhile the creation and publication of such maps takes time and personnel and costs money.

Materials and methods: The method that includes the integration and aggregation processes of the data about quarterly dividing of the territory as well as attributive data about the power engineering units is used. The data is received from free sources. The implementation program is provided on the basis of 'cloudy' ArcGIS Online geoinformation system.

Results: The method of zoning maps automated building and publishing in relation of belonging the territory to different energy sources (electric substations or their feeders, boiler houses, heat power stations) is provided. On the basis of method proposed, an experimental internet site is developed where spatial structure of regional power supply structures of Ivanovo town is published. It shows local power suppliers capacity distribution among consumers, detects power reserve hence gives a key to further development of consumers' net. Informational background is the open data which published by local energy providers.

Conclusion: The proposed method can be used in decision support systems considering the problems of investment planning and management of regional power systems development.

Key words: spatial analysis, zoning, power systems, GIS.

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 развитием других объектов территориальной инфраструктуры. В связи с этим энергетические компании начинают публиковать различные данные об объектах энергетики, их мощности, резервах и планах развития. Эти данные в настоящее время 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 осуществляются сегодня только крупными энергетическими компаниями, например ОАО «МРСК Центра и Приволжья». Пример такой карты для Ивановской области доступен по адресу: http://www.ivenergo.ru/client/regulation/special_uni_on/ogr/. При этом зоны представлены на карте схематично для сетей напряжением 35–110 кВ.

Создание подобных карт на уровне городов для классов среднего и низкого напряжения требует использования более детальной информации и более качественных методов зонирования. На этом уровне данные разрозненны и часто имеют форму множества не связанных между собой 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.

Развитие облачных геоинформационных систем и технологий, в частности появление в Интернет таких доступных для реализации пользовательских проектов картографических сервисов, как Яндекс. Карты [1] или ArcGIS Online [2], открывает возможности для решения задачи отображения данных о пространственной структуре систем потребления различных видов энергии с незначительными затратами для представителей органов власти или других заинтересованных лиц, включая инвесторов. Ниже рассматривается методика создания приложений для построения и публикации моделей зонирования в сети Интернет и пример реализации сайта для публикации данных о распределении резервов электрической мощности для технологического присоединения в городе Иваново.

Общий подход к использованию моделей на основе методов зонирования для анализа пространственной структуры систем

энергоснабжения территорий рассмотрен в [3]. Для развития энергетики представляют интерес зоны потребления, выделяемые по критериям принадлежности к различным источникам и структуре потребления различных видов энергоресурсов. В общем случае задача построения зон потребления является неформальной и требует проведения анализа структуры энергетической сети. Однако для целей инвестиционного анализа она может быть сведена к упрощенной формальной постановке.

Для постановки задачи можно использовать естественные факторы пространственной организации территории в виде системы квартального деления населенных территорий или кадастрового деления. Квартал (как градостроительный, так и кадастровый) обычно рассматривается как однородный с точки зрения характера использования участка территории, агрегирующий свойства расположенных в нем объектов. Данные деления территории на кварталы доступны на различных публичных картографических ресурсах. Использование слоя квартального деления территории в сочетании с адресной информацией о размещении источников и потребителей с указанием принадлежности каждого потребителя к определенному источнику позволяет свести задачу построения и публикации зон потребления по принадлежности к источникам к формализованной процедуре, в которой все трудоемкие этапы реализуются автоматически.

Методика построения и публикации карты зонирования территории по принадлежности участков территории к различным источникам энергоснабжения включает следующие процедуры:

- 1) заполнение базы данных источников и потребителей с указанием адресов или географических координат каждого объекта;
- 2) размещение всех источников и потребителей на карте;
- 3) подготовка на карте слоя квартального деления территории;
- 4) классификация всех кварталов по критерию принадлежности к зонам потребления;
- 5) публикация результатов классификации на сайте.

Все перечисленные виды работ могут быть автоматизированы. Способ заполнения базы данных зависит от источников данных и в каждом случае требует специальной разработки. Нанесение всех объектов на карту осуществляется автоматически по их координатам или с использованием процедур адресного геокодирования в ГИС [4]. Квартальное деление может быть получено из открытых источников, например OpenStreetMap (<http://www.openstreetmap.ru>).

В рамках выбранной формализации задачу построения зон потребления можно свести к задаче раскраски кварталов. Эта задача может быть решена автоматически с использованием разработанного нами алгоритма. Необходимую для выполнения раскраски информацию несет реляционная модель (рис. 1). Рассмотрим формализацию этой модели для одного вида энергии в предположении, что схема энергоснабжения представляет собой лес, корнем каждого дерева в котором является независимый источник энергии, а листьями – потребители. Предполагается также, что каждый источник (потребитель) энергии размещается в одном кадастровом квартале.

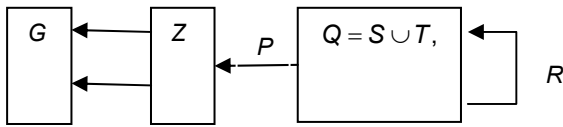


Рис. 1. Реляционная модель задачи раскраски: прямоугольники – объекты; стрелки – отношения «многие к одному»

Пусть S – множество источников энергии, $N = |S|$ – количество деревьев в графе энергоснабжения, T – множество потребителей, $Q = S \cup T$ – множество объектов в системе энергоснабжения, Z – множество кадастровых кварталов, $M = |Z|$ – количество кадастровых кварталов. Тогда, в соответствии с принятыми допущениями, распределение потребителей по источникам может быть описано отношением

$$R \subseteq S \times T, \quad (1)$$

таким что $T = \bigcup_{i=1}^N T_i; \forall i \neq j; T_i \cap T_j = \emptyset;$

$$\forall t \in T_i: R(s_i, t).$$

В предположении, что для каждого источника из S и каждого потребителя из T заданы функции объема производства f и объема потребления c , определим понятие энергетического резерва источника s_i как разность между объемом производства источника и суммой объемов потребления подключенных к нему потребителей:

$$\Delta_i = f(s_i) - \sum_{t \in T_i} c(t). \quad (2)$$

Очевидно, что по условиям обеспеченности потребителей должно выполняться условие $\Delta_i \geq 0, i = 1 \dots N$.

Распределение объектов системы энергоснабжения по кварталам может быть описано отношением

$$P \subseteq Z \times Q, \quad (3)$$

таким что $Q = \bigcup_{i=1}^M Q_i; \forall i \neq j: Q_i \cap Q_j = \emptyset;$

$$\forall q \in Q_i: P(z_i, q).$$

Очевидно, что элементы множества Z можно окрасить в цвета источников энергии

$U(z_i)$, где U – множество цветов источников, руководствуясь следующим правилом: кадастровый квартал $z \in Z$ окрашивается в цвет $i = 1 \dots N$, если на его территории расположен источник s_i и/или получающие от него питание потребители.

Однако применение правила может привести к появлению неокрашенных (не содержащих объектов системы энергоснабжения: $U(z_i) = \emptyset$) и полихромных (содержащих объекты нескольких зон энергоснабжения: $|U(z_i)| > 1$) участков, наряду с монохромными. Это обстоятельство делает невозможным использование полученной раскраски для оценки возможностей создания новых объектов энергопотребления в пределах заданного квартала. Действительно, если квартал не окрашен, неясно, от какого источника должен получать питание размещенный на нем объект. Аналогично, если квартал окрашен в цвета нескольких источников, необходимо определить решающее правило для выбора одного из них. Для монохромных участков этот вопрос решается однозначно с помощью функции (2): новый потребитель может быть размещен в квартале, окрашенном цветом i , если $\Delta_i > 0$.

Таким образом, требуется построить монохромную раскраску кадастровых кварталов Z в цвета источников энергии, такую что $Z = \bigcup_1^N Z_i$ и $\forall z \in Z_i: |U(z)| = 1, i = 1 \dots N$.

Для устранения упомянутых выше дефектов раскраски (окрашивания неокрашенных кварталов, выбора единственного цвета для кварталов с полихроматической окраской) необходимо ввести в рассмотрение топологическое отношение смежности кварталов, которое описывается графом $G = (Z, E)$.

$$(4)$$

Приведенный ниже алгоритм Paint_1 решает задачу окрашивания неокрашенных кварталов цветом окрашенного квартала, смежного неокрашенному и имеющего максимальный среди смежных окрашенных энергетический резерв (он использует понятие окрестности квартала: $N(z) = \{z_j: e(z, z_j)\}$, или множества смежных кварталов):

ПОКА существуют неокрашенные кварталы ВЫПОЛНЯТЬ

выбрать неокрашенный квартал z ;

ЕСЛИ в окрестности $N(z)$ существует хотя бы один монохромный квартал

ТО на множестве

$N'(z) \subseteq N(z): \forall z_i \in N'(z) |U(z_i)| = 1$ выбрать цвет i , максимизирующий функционал Δ_i .

Рассмотрим алгоритм Paint_2 разрешения цветовых конфликтов для полихромных кварталов:

ПОКА существуют полихромные кварталы **ВЫПОЛНЯТЬ**
 выбрать полихромный квартал z ;
 на множестве $U(z)$ выбрать цвет i , максимизирующий функционал Δ_j .

Рассмотренный алгоритм может быть применен для получения более точного решения задачи (с точностью до земельного участка в пределах кадастрового квартала, алгоритм Paint_3). Для этого следует использовать кадастровое деление квартала на земельные участки. В случае отсутствия данных о кадастровом делении или при использовании других видов кварталов можно разбить квартал на триангуляционное покрытие с помощью алгоритма Вороного [5] и для каждого из участков покрытия решить задачу раскрашивания с применением алгоритмов Paint_1, Paint_2.

Рассмотренная методика была применена для создания экспериментального сайта, на котором представлена модель зонирования территории города Иванова по потреблению электроэнергии. Сайт доступен по адресу www.gis.ispu.ru. Средства анализа, представленные на сайте, позволяют отображать различные аспекты пространственной структуры потребления электроэнергии и резервов электрической мощности. На рис. 2 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 по алгоритму Paint_1, потребители агрегировались по кварталом по алгоритму Paint_2. На рис. 3 показан тот же участок карты с отображением величины резерва мощности подстанций класса напряжения 6 кВ размером кружка. (на рис. 2 данные об этих эти подстанциях приведены в агрегированном виде по кварталам). Исходные данные о потребителях и источниках взяты с сайта ОАО «Ивгорэлектросеть» (<http://www.ivges.ru>).

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» данных и получать результаты зонирования по различным критериям на уровне подстанций 110–35 кВ, их фидеров и подстанций 6–10 кВ.

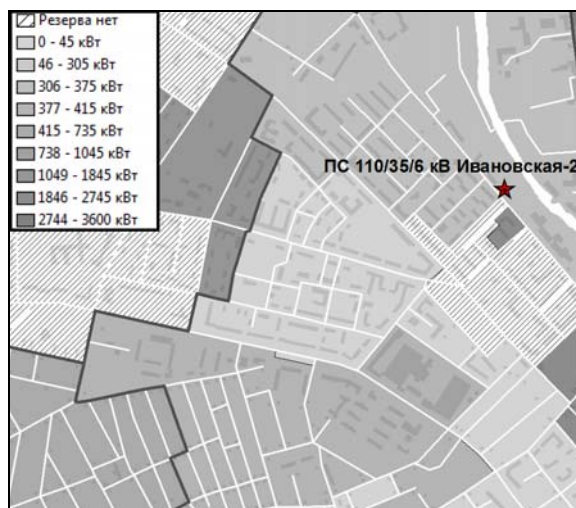


Рис. 2. Фрагмент карты распределения резерва мощности по фидерам

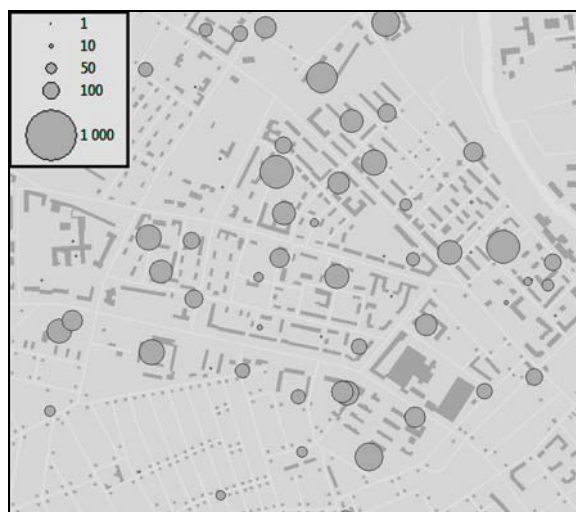


Рис. 3. Фрагмент карты отображения величины текущего резерва мощности, кВт, на трансформаторных подстанциях 6 кВ с учетом присоединенных потребителей

Сайт разработан на базе облачной ГИС ArcGIS Online [2]. При этом для построения моделей зонирования использованы процедуры пространственного анализа, которые реализованы в составе разработанного в ИГЭУ программного комплекса ГИС «МОДА». Этот комплекс включает библиотеку программных модулей, которые представлены в виде веб-сервисов. Модули получают входные данные и возвращают результаты анализа в виде наборов данных на языке GML (международный стандарт для обмена пространственными данными, разработанный на базе XML). Обращение к данным сервисам может производиться из различных ГИС.

Заключение

Разработанная методика позволяет создавать наглядные модели пространственной структуры различных систем энергоснабжения территорий в виде тематических

карт. Публикация результатов построения модели зонирования может осуществляться средствами бесплатных облачных геоинформационных ресурсов для открытого доступа или для ограниченного числа пользователей. Разработанный метод в сочетании с другими методами анализа может использоваться в составе систем поддержки принятия решений при инвестиционном планировании и управлении территориями.

Список литературы

1. Яндекс. Карты для вашего сайта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://api.yandex.ru/maps/>
2. Картографическая платформа для вашей организации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.arcgis.com/about>
3. 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.

4. ДеМерс Майкл Н. Географические информационные системы. Основы: пер с англ. – М.: Дата+, 1999. – 440 с.

5. Препарата Ф., Шеймос М. Вычислительная геометрия: Введение / под ред. Ю.М. Банковского. – М.: Мир, 1989. – 478 с.

References

1. *Yandex. Karty dlya vashego sayta* [Maps for Your Site]. Available at: <http://api.yandex.ru/maps/>
2. *Kartograficheskaya platforma dlya vashey organizatsii* [The Mapping Platform for Your Organization]. Available at: <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgisonline>
3. Kosyakov S.V., Sadykov A.M. *Vestnik IGEU*, 2011, issue 4, pp. 55–60.
4. DeMers Maykl N. *Geograficheskie informatsionnye sistemy* [Fundamentals of geographic information systems]. Moscow, Data+, 1997. 440 p.
5. Preparata F., Sheymos M. *Vychislitel'naya geometriya* [Calculated Geometry]. Moscow, Mir, 1989. 478 p.

Косяков Сергей Витальевич,

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

Пантелеев Евгений Рафаилович,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
профессор кафедры программного обеспечения компьютерных систем,
телефон (4932) 26-98-60.

Садыков Артур Мунавирович,

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