

Визуализация характеристик электрических сетей с помощью бинированных карт

В.В. Рябинин, Н.В. Савина
ФГБОУВПО «Амурский государственный университет», г. Благовещенск, Российская Федерация
E-mail: rrader@vingrad.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: В связи с интеллектуализацией электрических сетей стало актуальным применение географических информационных систем в таких сценариях, как визуализация данных. История применения ГИС в энергетике насчитывает богатый опыт, однако использованию геоинформационных технологий именно с точки зрения визуализации не уделялось достаточного внимания.

Материалы и методы: Работы по визуализации выполнены с помощью геоинформационных систем с использованием материалов открытых источников геоданных.

Результаты: Предложена технология визуализации различных характеристик электросетевых объектов как компонентов электрических сетей с привязкой к географическим координатам. Приведен пример практического использования предложенной технологии с применением бинированных карт.

Выводы: Применение данной технологии позволяет проводить визуальный анализ и исследование работы сетей и их отдельных частей в плане возможностей технологического присоединения, оценки уровня потерь электроэнергии, износа, загрузки оборудования и т.д.

Ключевые слова: геоинформационная система, бинирование, визуализация данных, картограмма, электрическая сеть, резервы электрической мощности, потери электроэнергии.

Power grid parameters visualization by binned maps

V.V. Ryabinin, N.V. Savina
Amur State University, Blagoveshchensk, Russian Federation
E-mail: rrader@vingrad.ru

Abstract

Background: Power grids are becoming smarter making the use of geographic information systems more frequent in scenarios such as data visualization. GIS has a long history of use in power engineering; however, in the field of visualization, GIS has been largely ignored.

Materials and methods: Visualization has been done using geographic information systems and open geographic data sources.

Results: A technology of visualizing various geographically bounded electrical equipment parameters has been proposed. An example of practical application of the suggested technology has been made using binned maps.

Conclusions: The developed technology can be applied to visual analysis and operation research of electrical networks and their parts in terms of utility connection possibilities and estimation of power loss level, equipment wear and load, etc.

Key words: geographical information system; binning; data visualization; cartogram; electrical network, power reserve, electrical power losses.

Введение. Стратегия развития электроэнергетики в настоящее время заключается в создании энергосистемы нового поколения, получившей название интеллектуальной (энергоинформационной), представляющей собой инфраструктурное соединение силовой и информационной частей электроэнергетической системы (ЭЭС) [1, 2].

Отечественная трактовка термина «интеллектуальная энергосистема» подразумевает создание активно-адаптивной электрической сети [3] – инновационной модели традиционной электрической сети, требования к построению которой продиктованы, по большому счету, необходимостью повышения уровня управления, а также автоматизации и информатизации сетевых процессов с применением современных информационных технологий, чтобы адекватно

реагировать на информационные потоки нового качества и значительно больших, чем прежде, объемов.

Технологическая база интеллектуальной сети включает в себя целый ряд отличающихся по функциональности информационных систем, объединенных общими признаками – необходимостью сбора, хранения, обработки, распространения и представления данных различной природы.

Однако, когда речь заходит о данных, используемых в электроэнергетике, это неявно подразумевает координированную (пространственную) привязку к определенным объектам электросетевого хозяйства: трансформаторным и распределительным подстанциям, воздушным и кабельным линиям электропередачи, конкретным единицам электрооборудования и

т.д., а также к электросетевой инфраструктуре в целом. Информационная система для работы с пространственно привязанными данными называется географической (геоинформационной, или сокращенно ГИС) [4].

ГИС в электроэнергетике. Сама идея использования ГИС в электроэнергетике не нова. Необходимость применения ГИС неоднократно отмечалась специалистами отрасли еще задолго до начала интеллектуализации энергосистем, и в настоящее время ГИС получают все большую поддержку в отечественных и зарубежных энергокомпаниях [5, 6].

Несмотря на большой накопленный опыт применения, повсеместное использование ГИС-технологий сдерживалось лишь их требовательностью к аппаратным ресурсам, что представляло собой проблему до недавнего времени.

Интеллектуальная энергосистема открывает новые перспективы пространственным технологиям, увеличивая количество сценариев их практического применения.

Например, частые изменения топологии активно-адаптивной электрической сети в результате оперативных переключений обуславливают необходимость удобного обновления и отображения текущей конфигурации сети. Обычно технологические системы визуализации сетевой топологии, такие как DMS (Distribution Management System, система управления распределением электроэнергии) [7], работают с информацией без пространственной привязки, представляемой в произвольном масштабе. Интеграция ГИС с DMS позволяет получить дополнительную выгоду от совместного использования двух систем через взаимное расширение полезной функциональности.

Объединяя системы DMS, CIS (Customer Information System, информационная система по потребителям), ГИС, OMS (Outage Management System, система управления аварийными отключениями) и IVRS (Interactive Voice Response System, интерактивная система голосового ответа), можно отображать аварийные отключения участков сети, комбинируя геопозицию коммутационных аппаратов электрической сети (выключателей, разъединителей, реклоузеров и т.п.) и координаты потребителя, от которого поступает соответствующее сообщение.

Таким образом, ГИС-технологии как базовое инфраструктурное звено в построении корпоративных информационных систем энергетических компаний нисколько не утрачивают своей актуальности при переходе на энергоинформационную систему.

Наибольший интерес ГИС представляют своими возможностями по пространственной обработке данных, неразрывно связанной, в силу своих особенностей, с их визуализацией.

Визуализация данных, в свою очередь, является мощным средством анализа инфор-

мации для выявления изначально невидимых и скрытых взаимосвязей между объектами, позволяя решать многие задачи путем зрительно-го восприятия графических образов благодаря гибкости и большим творческим способностям человеческого мышления.

Опыт применения ГИС в задачах визуализации данных. Визуализация информации с применением ГИС практиковалась с начала их использования, в основном как сопутствующий (вторичный) процесс картографического анализа.

Так, в [5] приведен пример нанесения на карту данных о годе ввода в эксплуатацию, мощности и загруженности существующих трансформаторных подстанций ОАО «Московская областная электроэнергетическая сетевая компания». В результате получены точечные карты; отмечается значительное сокращение времени поиска возможных вариантов технологического присоединения новых потребителей.

Простейшее визуальное районирование (на основе карты субъектов Российской Федерации) на базе предварительно рассчитанных атрибутов показано в [4]. В качестве последних выступают объемы транспортировки энергетических ресурсов.

В [8] на основе метода [9] рассмотрена методика, позволяющая создавать наглядные тематические карты с градуированным отображением данных. Предлагается способ районирования в отсутствие исходных данных о кадастровом делении – триангуляция с помощью разбиения Вороного. На нижнем уровне данные представляются точками на карте.

Точечная визуализация стала применяться одной из первых в ГИС, безусловно являясь одним из мощнейших аналитических инструментов. Однако ее применение ограничено объемом представляемой информации – при значительном количестве точек они начинают перекрывать друг друга, что в конечном итоге ведет к итоговой картине, сложной либо невозможной для визуального восприятия. Зачастую агрегирование данных позволяет раскрыть новые закономерности и получить дополнительную информацию.

Следует также отметить, что предложенный в [8] алгоритм окрашивания участков карты не учитывает возможность декларативной реализации (без циклов) как одного из способов изменения цвета участков для векторных карт в современных форматах Web-карт: GeoJSON и TopoJSON.

Ниже рассматривается эффективная технология мультимасштабной визуализации, дающая приемлемый результат при любом объеме наносимой на карту информации с возможностью публикации интерактивных карт в сети Интернет, используя современные браузерные и картографические технологии.

Формулировка цели и задач. Цель данной работы заключается в разработке технологии визуализации характеристик функционирования активно-адаптивных электрических сетей с использованием современного аналитического инструментария ГИС-средств. Приведен пример практической реализации с использованием бинированных карт. Для достижения указанной цели поставлены и решены следующие задачи:

- сбор и анализ исходной пространственной информации для создания картографической основы;

- выбор характеристик функционирования для визуализации;

- выбор способов и средств визуализации;

- анализ и обработка полученной графики.

Сбор и анализ исходных данных. Данный этап является важнейшим и наиболее трудозатратным. Практика показывает, что при отсутствии внедренных в энергокомпаниях ГИС-решений большая часть имеющейся информации находится в разрозненном и не стандартизированном виде. Необходимо решить следующие подзадачи, конкретный объем которых определяется уровнем информационной обеспеченности:

1. *Определить картографическую проекцию (SRS, spatial reference system) для представления электросетевых объектов на карте*, которая является математическим способом трансформации сферических координат земного шара (геоида) на двумерную плоскость. Существует большое множество проекций для выполнения карт, различающихся степенью искажения углов и/или площадей. Конкретный выбор определяется необходимостью минимизации указанных искажений применительно к картографируемой территории, особенностями ландшафта, величиной пространственного охвата карты и т.д. При отсутствии готовых карт в векторных форматах возможно проведение оцифровки растровых снимков высокого разрешения с установкой любой стандартной проекции (Меркатора, Гаусса-Крюгера, Робинсона и т.д.), что даст возможность в дальнейшем использовать геоданные из открытых источников без дополнительных координатных преобразований.

2. *Выделить уровни генерализации картографической основы для обеспечения представления электросетевых объектов и графического отображения их параметров с различной степенью детализации.* Каждый уровень соответствует определенному масштабу и топографическим данным (картам и планам), охватывая те или иные территории. Например, возможно создание трехуровневой картоосновы с увеличением детализации карт в порядке перечисления: областной уровень (ПЭС), районный уровень (РЭС), уровень отдельных поселений. Подобное разделение дает возможность разгруппировать все объекты по территориаль-

ному охвату, отображая лишь те, которые адекватны текущему масштабу.

3. *Определить местоположение наносимых на карту объектов.* Разнообразие форм, в которых представлена информация о координатах энергетического оборудования, велико: рисунки, чертежи, адреса, текстовые документы, схемы и т.д. Следовательно, наполнение базы данных координат необходимо осуществлять путем сопоставления всех имеющихся сведений с привлечением дополнительных средств идентификации, таких как: спутниковые и иные снимки местности высокого разрешения (фотограмметрия); системы глобального местопределения GPS/ГЛОНАСС/Galileo; растровые и векторные карты, в том числе из открытых источников геоданных в сети Интернет (GoogleMaps, BingMaps, Yandex Maps, Wikimapia, OpenStreetMap); другие ГИС.

Выбор характеристик функционирования для визуализации. На данном этапе следует определить, какие характеристики электросетевых объектов следует отображать на карте.

Можно условно разделить все электросетевые объекты на два вида с позиции географического положения: точечные и пространственно распределенные. К первой группе относятся объекты, моделируемые точечными слоями в ГИС: электрические станции, подстанции, распределительные пункты и т.д. (верхний уровень), а также силовое и вспомогательное оборудование (нижний уровень). Во вторую группу входят воздушные и кабельные линии электропередачи.

Выбор визуализируемых характеристик следует производить с учетом приведенной классификации.

Для точечных объектов (первая группа) наибольшую практическую значимость имеют следующие параметры:

- степень износа оборудования (с использованием информации о времени ввода оборудования в эксплуатацию и графиков планирования ремонтных работ) – для планирования ремонтов и технического обслуживания;

- потери электроэнергии и мощности – для поиска «очагов» их повышенных значений;

- параметры режима (например, модули и фазы напряжений, величины нагрузок, величины частоты, коэффициенты трансформации) – для задач управления и оптимизации электрическим состоянием сети;

- резервы свободной мощности – для анализа возможности технологического присоединения к сети;

- показатели качества электроэнергии – для их адаптивной коррекции в случае необходимости;

- величины токов короткого замыкания – для их мониторинга.

В качестве визуализируемых характеристик объектов второй группы могут быть выбра-

ны любые параметры соответствующих ветвей схемы замещения электрической сети: перетоки активной и реактивной мощностей по отношению к предельным величинам, токовая нагрузка, потери электроэнергии и мощности и т.д.

Выбор средств и способов визуализации. Определяющим критерием выбора ГИС для дальнейших действий является наличие функций работы с векторными слоями. Можно отметить три следующих программных продукта, нашедших широкое применение в различных сферах производственно-хозяйственной деятельности, в том числе и в энергетике:

1. ГИС ESRI ArcGIS. Данная система на протяжении многих лет используется в крупных бизнес- и технологических компаниях, обладая богатыми возможностями по геообработке информации. К недостаткам можно отнести высокую стоимость и необходимость лицензирования, относительно долгий запуск, низкую производительность некоторых алгоритмов по сравнению с другими ГИС.

2. ГИС MapInfo. Система является простой и гибкой в использовании, накоплен большой практический опыт ее применения, имеется встроенный высокоуровневый язык MapBasic. Однако количество стандартных функций не так велико, как в других ГИС, а все используемые в программе координаты имеют проекцию в математической координатной системе.

3. ГИС Quantum GIS (QGIS). QGIS отличается низким порогом входа, бесплатностью, кроссплатформенностью, большим сообществом пользователей и разработчиков и применяется, в основном, в академических кругах и небольших компаниях. По сравнению с ГИС ESRI ArcGIS, система имеет меньшие возможности по пространственному анализу.

Визуализация данных с применением ГИС означает модификацию карт тем или иным способом для перевода информации в разных формах представления в графические образы; алгоритм трансформации определяется выбранным типом карты.

Для задач, связанных с визуализацией в электроэнергетике, могут применяться следующие способы картографирования:

– *тепловые карты* (heatmaps). Тепловая карта – результат развития теории кластерного анализа, графическое представление данных, при котором значения переменной на карте обозначены разными цветами. Главным преимуществом является наглядность и простота, что позволяет оперативно анализировать текущее состояние и влияние большого числа переменных;

– *тематические карты* (thematicmaps). Таковыми являются карты, визуализирующие определенную сущность путем дискретной цветовой раскраски отдельных областей без применения искажения геометрии;

– *фоновые и точечные картограммы* (cartograms). Картограммами называются карты, в которых визуализируемые переменные представляются через площади и длины отдельных областей, при этом геометрия карты претерпевает искажения;

– *бинированные карты* (binnedmaps). Бинирование – форма квантования информации, при которой набор данных из N значений распределяется по группам, количество которых меньше, чем N . В основе лежит полигональный сеточный слой, накладываемый на карту; объекты, попавшие в ячейки сетки («корзины», bins), подсчитываются по количеству или другим атрибутам. Полученная информация определяет внешний вид каждого полигона (цвет, толщину обводки и т.д.). Бинирование позволяет нивелировать погрешность задания координат геообъектов.

Выбор того или иного способа визуализации зависит от преследуемой цели, выбранного параметра для отображения, диапазона и количества выводимых на карту значений, необходимости сохранения оригинальной геометрии карты и т.д.

Анализ и обработка полученной графики. Визуальный анализ карты состоит в поиске (идентификации) графических шаблонов и закономерностей и, как правило, осуществляется итеративно с уменьшением уровня абстракции (увеличением масштаба) путем отфильтровывания малозначимых областей и фокусировки на тех, для которых идентифицированы известные образцы.

Способ визуализации данных непосредственно влияет на то, каким образом следует интерпретировать графику. Применительно к ГИС это означает необходимость проработки знаков (symbolology) карты, отвечающих за стиль ее оформления (цвета, цветовые модели, характеристики примитивов и т.д.).

Обработка графики совместно с визуальным анализом может осуществляться и алгоритмически с применением методов интеллектуального анализа данных (datamining) и статистических методов. Автоматические методы зарекомендовали себя в качестве средства поддержки и проверки принимаемых решений, однако их применимость не всегда возможна и интуитивна.

Визуализация данных в задачах автоматизированного расчета потерь электроэнергии. Активно-адаптивные электрические сети характеризуются динамично изменяющейся топологией благодаря насыщенности активными элементами. Изменяющаяся структура сети ведет к перераспределению потоков мощности, а значит, будет оказывать непосредственное влияние на величину потерь электроэнергии (в дальнейшем потерь) – важнейший показатель эффективности функционирования сети.

Визуализация уровня потерь в сети в условиях трансформации топологии в реальном времени является инструментом анализа динамики и тенденций его изменения. Полученные знания, представленные графическими шаблонами, позволяют оперативно определять «очаги» повышенных значений потерь, что даст возможность превентивно управлять последними. Простота и скорость выполнения анализа определяет большую эффективность графической оценки текущей ситуации в сети по сравнению с алгоритмическими методами, реализуемыми на уровне программного обеспечения.

Перед визуализацией уровня потерь целесообразно провести их структурный анализ для определения необходимых составляющих (например, нагрузочные или условно-постоянные потери), которые затем будут обрабатываться для представления на карте.

В приведенном ниже практическом примере бинированная карта составлялась на основе множества значений резервов свободной мощности центров питания. Визуализируемая переменная (величина резерва) может быть легко изменена на любую из составляющих структурного анализа потерь; может потребоваться корректировка уровня генерализации карты в зависимости от степени детализации информации о потерях.

Следовательно, в программные комплексы расчета и анализа потерь целесообразно внедрять средства визуализации данных, в том числе и на основе ГИС-технологий, для комплексного применения с алгоритмами других модулей.

Опыт применения технологии. В качестве примера визуализировались резервы свободной мощности для 159 центров питания с уровнями напряжения 6/10/35/110 кВ, принадлежащих филиалу ОАО ДРСК «Амурские электрические сети», по состоянию на 01.01.2014 г.

Используя знания о величине резервов свободной мощности, возможно выполнять прогнозирование уровня потерь в сети для превентивного управления ими путем выработки соответствующих воздействий на сеть.

При автоматизированном процессе расчета потерь информация о возможных резервах является определяющей для оценки влияния на эффективность функционирования сети новых технологических присоединений.

Например, отсутствие свободного резерва мощности (перегрузка оборудования подстанции, его работа в неоптимальной зоне) означает повышенные нагрузочные потери в силовом оборудовании, что в конечном итоге будет отражено визуально на карте и легко идентифицироваться.

Картографическая основа формировалась на базе векторной карты Амурской области, полученной из открытого источника OpenStreetMap в виде готового проекта для

ГИС Quantum GIS. Генерализация карты соответствовала областному уровню (уровню ПЭС).

Поскольку сведения о координатах центров питания отсутствовали, база данных о местоположении формировалась из доступных на момент исследования источников – картографического online-сервиса Wikimapia для определения реперных точек и растровой карты, созданной ОАО «Дальэнергосетьпроект», содержащей карту-схему электрических сетей 35 кВ и выше Амурской области.

За используемую ГИС была принята бесплатная Quantum GIS Valmiera 2.2.

Эмпирическая оценка с последующей контрольной оцифровкой (через встроенный инструмент «Привязка растров») показала, что исходная карта-схема выполнена в проекции EPSG:4327 (Псевдо-Меркатора), после чего вся дальнейшая геообработка производилась в указанной SRS.

Первоначально формировался точечный слой CSV (comma separated values, разделенные запятыми значения), содержащий координаты каждого центра питания (широта, долгота), диспетчерское наименование для отображения на карте и величину резерва свободной мощности в МВт (для перегруженных подстанций эта величина имела отрицательное значение).

Для улучшения уровня восприятия карты слой территориальных границ обрабатывался таким образом, чтобы внешние и внутренние границы отображались с обводкой разной толщины.

Было принято решение использовать бинированную карту для выполнения работы по визуализации – на вышеуказанный слой накладывалась гексагональная сетка с примерной площадью каждого полигона (шестиугольника) 270 км². Такой шаг сетки определялся опытным путем через серию построений и в конечном счете позволил оптимально отобразить распределение свободного резерва мощности по территории области.

Причина выбора гексагональной сетки вместо других (в частности, квадратной) продиктована тем фактом, что шестиугольники имеют максимальное количество сторон из всех видов полигонов для правильной тесселяции (замощения) плоскости, что позволяет добиться на 13 % более эффективного покрытия такой сеткой, чем квадратной. Кроме того, гексагоны лучше подходят, когда речь идет о визуализации плотностей распределения [10].

Следующим этапом слой гексагональной сетки и слой CSV обрабатывались командой аналитического инструментария ГИС «Количество точек в полигонах», что на выходе дало суммарное количество центров питания, территориально попавших в каждый шестиугольник сетки. Таким образом было выполнено бинирование данных безатрибутивным путем – только по количеству точек слоя CSV.

Наглядно видно, что лучшие возможности по технологическому присоединению имеются в трех сформировавшихся областях (наиболее темные полигоны на карте):

- регион, включающий ПС Эльга и ПС Аэропорт (18,188 МВт);
- регион с ПС Узловая, ПС Семидомка и ПС Коврижка (20,911 МВт);
- регион с ПС Союзная и ПС Коболдо (20,194 МВт).

Худшими возможностями обладают следующие три полигона (наиболее светлые оттенки):

- регион с ПС Соловьевская (–3,863 МВт);
- регион с ПС Родионовка и ПС Бурейск (–6,12 МВт);
- регион с ПС Волково (–2,956 МВт).

Дополнительно разрабатывалась интерактивная карта в формате TornadoJSON, опубликованная в сети Интернет (<http://vyacheslavryabinin.com/gis/map-standalone.html>), в целях более быстрого анализа информации и просмотра на устройствах, не оснащенных специализированным программным обеспечением ГИС.

Заключение

По итогам выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. Предложенная технология визуализации характеристик функционирования активно-адаптивных электрических сетей и составляющих их компонентов с применением бинированных карт позволяет проводить зрительный анализ отдельных аспектов работы с учетом пространственной привязки.

2. Реализация технологии на примере визуализации резервов свободной мощности центров питания показала высокую практическую ценность полученных результатов для эксплуатационной практики энергокомпаний как оценочного и прогнозного инструмента.

3. Применение бинированных карт не ограничивается визуализацией только резервов свободной мощности – в качестве входной переменной могут выступать любые другие характеристики точечных объектов электрической сети.

Список литературы

1. European Smart Grids Technology Platform – Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future [Электронный ресурс]. – Режим доступа: ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/energy/docs/smartgrids_en.pdf
2. The Smart Grid: An Introduction [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://energy.gov/oe/downloads/smart-grid-introduction-0/>

Рябинин Вячеслав Вячеславович,
ФГБОУВПО «Амурский государственный университет»,
аспирант кафедры энергетики,
e-mail: rreader@vingrad.ru.

3. Макаров А.А., Дорофеев В.В. Активно-адаптивная сеть – новое качество ЕЭС России // Энергоэксперт. – 2009. – № 4. – С. 28–34.

4. Интеграция информационных технологий в системных исследованиях энергетики / Л.В. Массель, Н.Н. Макагонова, В.В. Трипутина, А.Ю. Горнов. – Новосибирск: Наука, 2003. – 320 с.

5. Аникина Е.М., Лебедев Н.Н., Овчаренко Н.И. Геоинформационная система ОАО «МОЭСК» – старт дан // ArcReview. – 2010. – № 2. – С. 19–21.

6. Секнин А.А. ГИС в электроэнергетике: интеллектуальные энергосистемы // ArcReview. – 2012. – № 2. – С. 1–2.

7. Нестеренко В.Л., Карасев Ю.Д. Оперативно-информационные комплексы и системы технологических задач // Энергоэксперт. – 2013. – № 2. – С. 24–27.

8. 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.

9. Косяков С.В., Садыков А.М. Метод зонирования территории по стоимости технологического присоединения к электрическим сетям // Вестник ИГЭУ. – 2013. – Вып. 5. – С. 77–88.

10. Lewin-Koh N. Hexagon Binning: an Overview [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://cran.r-project.org/web/packages/hexbin/vignettes/hexagon_binning.pdf

References

1. European Smart Grids Technology Platform – Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future [Online reference], ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/energy/docs/smartgrids_en.pdf
2. The Smart Grid: An Introduction [Online reference], <http://energy.gov/oe/downloads/smart-grid-introduction-0/>
3. Makarov, A.A., Dorofeev, V.V. Aktivno-adaptivnaya set' – novoe kachestvo EES Rossii [Active-adaptive Power Grid – New Quality of Unified Energy System of Russia]. *Energoekspert*, 2009, no. 4, pp. 28–34.
4. Massel', L.V., Makagonova, N.N., Tripulina, V.V., Gornov, A.Yu. *Integratsiya informatsionnykh tekhnologiy v sistemnykh issledovaniyakh energetiki* [Integration of Information Technologies into Power Industry System Research]. Novosibirsk, Nauka, 2003. 320 p.
5. Anikina, E.M., Lebedev, N.N., Ovcharenko, N.I. Geoinformatsionnaya sistema ОАО «MOESK» – start dan [GIS of Moscow Region Energy System Company, Ltd – the beginning]. *ArcReview*, 2010, no. 2, pp. 19–21.
6. Seknin, A.A. GIS v elektroenergetike: intellektual'nye energosistemy [GIS in Electrical Power Engineering, Smart Grid]. *ArcReview*, 2012, no. 2, pp. 1–2.
7. Nesterenko, V.L., Karasev, Yu.D. Operativno-informatsionnye komplekсы i sistemy tekhnologicheskikh zadach [Operational Information Complexes and Systems of Technological Problems]. *Energoekspert*, 2013, no. 2, pp. 24–27.
8. Kosyakov, S.V., Panteleev, E.R., Sadykov, A.M. Postroenie i publikatsiya v seti Internet kart zonirovaniya sistem energosnabzheniya territoriy [Plotting and Internet Publishing of Zoning Maps of Regional Power Supply Systems]. *Vestnik IGEU*, 2012, issue 5, pp. 59–62.
9. Kosyakov, S.V., Sadykov, A.M. Metod zonirovaniya territorii po stoimosti tekhnologicheskogo prisoedineniya k elektricheskim setyam [Method of area zoning according to the cost of technological connection to electrical networks]. *Vestnik IGEU*, 2013, issue 5, pp. 77–88.
10. Lewin-Koh, N. Hexagon Binning: an Overview [Online reference], http://cran.r-project.org/web/packages/hexbin/vignettes/hexagon_binning.pdf

Савина Наталья Викторовна,
ФГБОУВПО «Амурский государственный университет»,
доктор технических наук, профессор кафедры энергетики, проректор по учебной работе,
e-mail: prorectorur@amursu.ru.