

<https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-4-377-387>

УДК 338

Современные методы планирования энергосистемы города

Т. М. Бугаева¹⁾, О. В. Новикова¹⁾

¹⁾Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

© Белорусский национальный технический университет, 2019
Belarusian National Technical University, 2019

Реферат. Знания о характере изменения энергетической нагрузки не только во времени, но и в пространстве позволят добиться оптимальной структуры источников энергии в городе и тем самым сократить непроизводительные расходы энергоресурсов и повысить энергоэффективность. Изменение парадигмы развития систем энергоснабжения в сторону развития малой распределенной энергетики, интеллектуализации, управления спросом требует более точного понимания планируемых локальных нагрузок на территории города. В настоящее время получение таких данных все еще затруднительно, требует анализа многих источников и, следовательно, занимает немало времени. В статье описан возможный алгоритм формирования пространственно-временного профиля потребления энергоресурсов. В основе дезагрегирования нагрузки лежит пространственное распределение потребителей по территории города, оцениваемое с помощью плотности распределения площади зданий групп потребителей энергоресурсов. Размерность модели не ограничена как во временном, так и в пространственном разрешении: модель является гибкой и может быть адаптирована к различным случаям и местным условиям. Предложенный алгоритм применен к моделированию профиля потребления электрической энергии Санкт-Петербурга. В основе профиля – годовой график потребления электрической энергии в почасовом разрезе (8760 значений). Пространственное разрешение модели составляет от сотен метров до нескольких километров и зависит только от наличия исходных данных. В приведенном примере в качестве пространственной единицы используется деление территории города на административные районы (18 районов в Санкт-Петербурге). Полученные результаты показали свою логичность и соответствие эмпирическим наблюдениям.

Ключевые слова: энергетическая система города, профиль нагрузки, пространственно-временной профиль потребления электрической энергии

Для цитирования: Бугаева, Т. М. Современные методы планирования энергосистемы города / Т. М. Бугаева, О. В. Новикова // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2019. Т. 62, № 4. С. 377–387. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-4-377-387>

Modern Methods of Urban Energy System Planning

Т. М. Bugaeva¹⁾, О. V. Novikova¹⁾

¹⁾Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (Saint Petersburg, Russian Federation)

Abstract. Knowledge of the nature of the energy load alterations not only in time, but also in space will allow achieving the optimal structure of energy sources in the city and thereby reducing unproductive energy costs of energy resources and increasing energy efficiency. Changing

Адрес для переписки

Бугаева Татьяна Михайловна
Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого
ул. Политехническая, 29
195251, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
Тел.: +7 812 297-09-72
bugaeva@spbstu.ru

Address for correspondence

Bugaeva Tatiana M.
Peter the Great St. Petersburg
Polytechnic University
29 Polytechnicheskaya str.,
195251, Saint Petersburg, Russian Federation
Tel.: +7 812 297-09-72
bugaeva@spbstu.ru

the paradigm of power supply systems development towards the development of small distributed power production, intellectualization and demand management requires a more accurate understanding of the planned local loads in the city. At present it is still difficult to obtain such data; it requires analysis of many sources and, consequently, takes a lot of time. The article presents a possible algorithm of formation of the space-time profile of energy resources consumption. At the heart of the load disaggregation there is a spatial distribution of consumers in the city, estimated by the density of the distribution area of buildings of energy consumer groups. The dimension of the model is not limited in both temporal and spatial resolution: the model is flexible and can be adapted to different cases and local conditions. The proposed algorithm has been applied to the modeling of the profile of electricity consumption in St. Petersburg. The profile is based on an annual graph of electricity consumption by hour (8760 values). The spatial resolution of the model ranges from hundreds of meters to several kilometers and depends only on the availability of initial data. In the example, the division of the city territory into administrative districts (18 districts of St. Petersburg) is used as a spatial unit. The obtained results showed their logicity and compliance with empirical observations.

Keywords: urban energy system, load profile, space-time electricity load profiles

For citation: Bugaeva T. M., Novikova O. V. (2019) Modern Methods of Urban Energy System Planning. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 62 (4), 377–387. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-62-4-377-387> (in Russian)

Введение

В последние десятилетия огромное количество исследований посвящено проблеме развития городских энергетических систем. Например, в [1] приводится более 200 ссылок на научные исследования, посвященные различным аспектам этой проблемы. Актуальность тематики обусловлена как ростом количества городов в мире, так и повышением концентрации населения в них. По оценкам ООН, более 2/3 энергии в мире потребляется в городах. Исторически формируемые схемы электро- и теплоснабжения потребителей жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) и промышленности городов имеют индивидуальные особенности, обусловленные развитием технологий, ресурсной базой конкретного региона и инновационностью подходов городского управления.

Рост и изменение структуры потребления энергии в мегаполисах бросает вызов системе энергоснабжения городов. Прогноз потребления энергии определяет возможности, в рамках которых будут ставиться реалистичные задачи планирования развития системы энергоснабжения.

Условия развития систем энергоснабжения в мире и России меняются, что ведет к распространению малой распределенной энергетики, в том числе и в крупных городах [2]. Изменение парадигмы развития систем энергоснабжения делает особенно актуальной задачу пространственного представления информации о потреблении энергии на территории города.

Чтобы лучше понять работу энергетических систем городов, необходимо иметь подробную информацию о распределении потребления электрической и тепловой энергии как в пространстве, так и во времени. Моделирование влияния ряда факторов на динамику и режим потребления электрической энергии и теплоты представляет собой нетривиальную задачу и имеет практическую значимость. Подробные пространственно-временные данные об использовании энергоресурсов позволяют лучше планиро-

вать крупномасштабное производство возобновляемой энергии и операции с интеллектуальными сетями.

Уровень энергопотребления города зависит от таких факторов, как численность населения, уровень социально-экономического развития, от размера и структуры города (архитектурно-планировочных решений, типа застройки, транспортной оснащённости), хозяйственной специализации (добывающая, обрабатывающая промышленность, сфера услуг), состояния объектов ЖКХ и т. д.

Как правило, энергопотребители размещены в плане города неравномерно, в результате чего город в целом и его отдельные промышленно-селитебные образования различны по конфигурации, структуре и плотности энергонагрузок. Знания о характере изменения энергетической нагрузки не только во времени, но и в пространстве позволят добиться оптимальной структуры источников энергии в городе и тем самым сократить непроизводительные расходы энергоресурсов, повысить энергоэффективность. Авторами предложен алгоритм, который можно использовать для оценки пространственного распределения потребления энергии в городе.

Обзор литературы

Проектирование энергосистем независимо от их масштаба начинается со сбора исходных данных о спросе на энергоресурсы – с графиков нагрузок [3, 4]. Профилем нагрузки или профилем потребления называют матрицу, содержащую информацию о потреблении электрической (тепловой) энергии за каждый час рассматриваемого периода. В моделях городских энергетических систем появляется необходимость оценки распределения потребления энергоресурсов в пространстве, по территории города [5, 6]. Профиль, дающий не только временное, но и пространственное представление о потреблении энергоресурсов, называется пространственно-временным.

В соответствии с [7] гарантирующие поставщики электрической энергии России обязаны публиковать данные о почасовых значениях суммарного профиля потребления электрической энергии с оптового и розничного рынков. Такие профили охватывают большие площади, часто всю территорию, обслуживаемую каждой из компаний. Поэтому профили не имеют конкретной пространственной информации. Благодаря развитию интеллектуальных счетчиков электрической и тепловой энергии собираются все большие объемы подробных данных временных измерений. Эти данные в настоящее время в основном используются для выставления счетов [8]. Существует заметный интерес к интеграции геоинформационных систем и систем учета энергоресурсов для создания подробных пространственно-временных профилей спроса [9].

Реалистичное представление пространственно-временных изменений спроса является сложной задачей и требует анализа данных из разных, не обязательно связанных с энергетикой, источников. Можно выделить два

типа подходов: сверху вниз и снизу вверх. Нисходящий подход использует макроэкономические агрегированные в пространстве или во времени данные. Этот подход приводит к грубому описанию профилей спроса и состава потребителей энергоресурсов. Восходящий подход опирается на исторические (типология и возраст здания) и инженерные данные (физическое описание потребления энергии на уровне устройства) [10]. Данный подход – предпочтительный вариант для моделей энергетических систем городского масштаба, поскольку приводит к подробному описанию пространственно-временных изменений спроса [10]. Однако для этого требуются большие наборы данных, которые не являются общедоступными. В частности, нередко отсутствует информация о пространственном распределении потребителей энергоресурсов по районам города [11, 12].

Описание алгоритма формирования пространственно-временного профиля потребления электрической энергии

Для реализации модели формирования пространственно-временного профиля города необходим годовой график электрической нагрузки города. Годовой график почасовых значений потребляемой мощности города в модели является композицией годовых графиков трех групп потребителей (сектор услуг, коммунально-бытовое потребление, промышленность). В каждой группе потребителей можно выделить подгруппы в соответствии с функциональным назначением зданий и сооружений. Например, в группе «коммунально-бытовое потребление» можно выделить многоквартирные и индивидуальные жилые здания и т. п.

Особенности землепользования и структура города формируют пространственное распределение потребления энергии. Каждую группу и подгруппу потребителей энергии можно описать с помощью пространственных характеристик (плотность населения, площади зданий разного типа и т. п.).

Также для расчетов по модели необходимы данные о ежегодном потреблении электрической (тепловой) энергии каждой группой и подгруппой потребителей (МВт·ч/год). Если такие показатели отсутствуют, можно использовать известные данные об интенсивности потребления энергии (МВт·ч/(м²·год)) и о площади зданий (м²).

Для того чтобы учесть особенности суточных графиков каждой группы потребителей, в модели применяются типовые профили нагрузок разных групп и подгрупп. В рассматриваемой модели под типовыми профилями нагрузки понимается характерное для группы потребителей почасовое распределение величины потребленной энергии (электрической, тепловой) за год (сутки, месяц). Типовой профиль нагрузки представляет собой график-гистограмму, столбцы которого характеризуют долю энергии, потребленной в каждый конкретный час суток. Подробный анализ методов формирования типовых профилей нагрузки для групп потребителей приве-

ден в [13]. Однако необходимо отметить, что в настоящий момент наблюдается дефицит современных научно-практических исследований по формированию типовых профилей нагрузки.

Шаг 1. Оценка и корректировка профилей нагрузки основных групп потребителей.

Профиль нагрузки $P_i(t)$ i -й группы потребителей можно получить по следующей формуле:

$$P_i(t) = W_i f_i(t), \quad (1)$$

где W_i – годовой объем потребления энергии (МВт·ч/год) i -й группы; $f_i(t)$ – соответствующий типовой (базовый) профиль нагрузки ($\sum f_{ii}(t) = 1$).

Тогда профиль нагрузки города можно получить суммированием профилей (графиков нагрузки) потребителей

$$P_i(t) = \sum_1^3 P_i(t). \quad (2)$$

Если известен фактический годовой график нагрузки городской энергосистемы, то уравнение (1) необходимо скорректировать с помощью коэффициента $s(t)$, который рассчитывается для каждого периода времени:

$$s(t) = \frac{P_{\text{города}}(t)}{\sum W_i f_i(t)} \forall t, \quad (3)$$

где $P_{\text{города}}(t)$ – фактический (прогнозный) профиль нагрузки города.

Чтобы соответствовать фактическому значению потребления, уравнение (1) может быть переписано в следующем виде:

$$P_i(t) = s(t) W_i f_i(t). \quad (4)$$

Шаг 2. Выделение нагрузки подгрупп потребителей $P_{ik}(t)$.

Рассмотрим отдельно каждую группу потребителей. Предположим, что пространственное распределение (x, y) потребителей этой группы можно описать, зная площади зданий различного функционального назначения и их местоположение на территории города (в качестве альтернативы может быть использовано пространственное распределение населения). Профили групп потребителей в (1) могут быть разделены на более конкретные подгруппы, площади зданий которых известны:

$$P_{ik}(t) = \frac{P_i(t)}{\sum_l A_l I_l f_l(t)} A_k I_k f_k(t), \quad (5)$$

где I_k – энергоемкость подгруппы k (МВт·ч/год/м²); $f_k(t)$ – типовой профиль; A_k – общая площадь зданий, относящихся к подгруппе k ,

$$A_k = \int_x \int_y a_k(x, y) dx dy; \quad (6)$$

$a_k(x, y)$ – плотность распределения площади зданий подгруппы k (м²/км²); дробная часть в (5) – коэффициент корректировки (масштабирования), который обеспечивает равенство фактического потребления городской энер-

госистемы $P_{\text{города}}(t)$ и нагрузки, полученной агрегированием потребления выделенных подгрупп.

Шаг 3. Формирование пространственно-временного профиля нагрузки подгруппы $P_{ik}(x, y, t)$.

Далее профили нагрузки подклассов $P_{ik}(t)$ преобразуются в пространственно-временную форму с помощью показателя плотности распределения площади зданий подгруппы k : $a_k(x, y)$. Профиль нагрузки в точке с координатами (x, y) можно записать в виде

$$P_{ik}(x, y, t) = \frac{a_k(x, y)}{A_k} P_{ik}(t). \quad (7)$$

Шаг 4. Формирование пространственно-временного профиля нагрузки города.

Общий профиль потребления энергии в точке с координатами (x, y) в момент времени t получается из уравнения (7) путем агрегирования профилей групп потребителей i и подклассов k

$$P(x, y, t) = \sum_i \sum_k P_{ik}(x, y, t). \quad (8)$$

Апробация модели на примере Санкт-Петербурга

Исходные данные. Санкт-Петербург – самый северный в мире город-миллионник. Площадь собственно городской территории 605,8 км², с пригородами – 1439 км². Население – более 5 млн чел.

Территориальное планирование города осуществляется посредством разработки и утверждения Генерального плана Санкт-Петербурга и внесения в него изменений. Порядок использования территорий, запланированных Генеральным планом Санкт-Петербурга для развития на прогнозируемый период, определяется Правилами землепользования и застройки Санкт-Петербурга.

Санкт-Петербург является одним из крупных потребителей энергии в Северо-Западном регионе. В 2016 г. на территории города было потреблено более 24 млрд кВт·ч электрической энергии, около 40 млн Гкал. Основные конечные потребители топливно-энергетических ресурсов – население и сфера услуг – более 50 % в сумме. На долю промышленности в структуре конечного потребления ЕТЭБ приходится в среднем 33,0 %, транспорта – 12,5 %. Остальные сектора составляют менее 1,0 % в совокупности.

Санкт-Петербург состоит из 18 административных районов. Статистические данные о численности населения, жилой и нежилой площади, функциональном назначении и типах застройки по районам города доступны из официальных публикаций территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Санкт-Петербургу [14], профильных комитетов администрации города. Распределение жилой площади и площади зданий общественно-делового назначения по территории города показано на рис. 1.

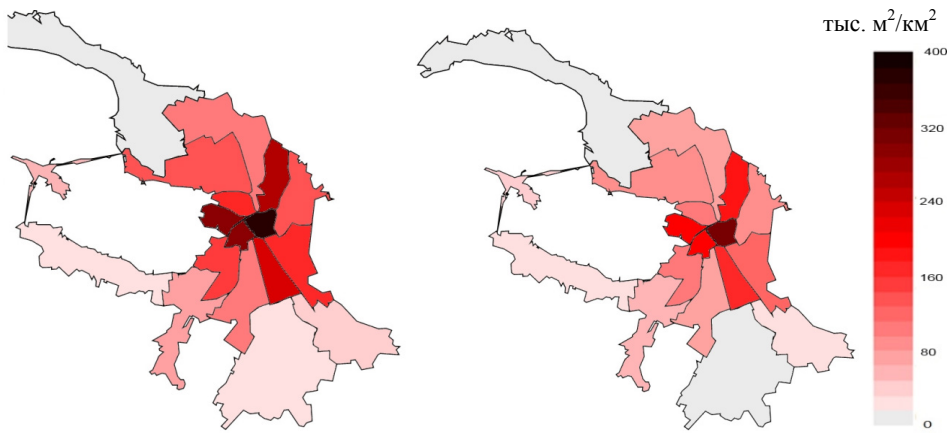


Рис. 1. Распределение жилой площади и площади зданий общественно-делового назначения по территории Санкт-Петербурга

Fig. 1. Distribution of living space and area of buildings for public and business purposes along the territory of St. Petersburg

Годовой график почасовых значений потребляемой электрической мощности (профиль нагрузки $P_{\text{города}}(t)$) Санкт-Петербурга, который требуется дезагрегировать по территориальному признаку, приведен на рис. 2.

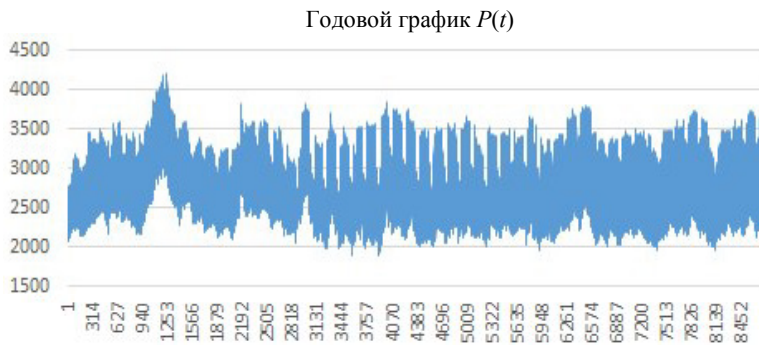


Рис. 2. Годовой профиль электрической нагрузки Санкт-Петербурга

Fig. 2. Annual profile of electric load of St. Petersburg

Деление на подгруппы основано на типологии жилого и нежилого фонда (табл. 1). Так, группа «промышленность» включает складские помещения и площади промышленных предприятий; «сфера услуг» – подгруппы: здравоохранение, образование, учреждения (офисы), торговые и досуговые предприятия, транспортные предприятия (электрифицированный транспорт). Группа «население» разбита на две подгруппы: проживающие в многоквартирных домах и в коттеджах (в том числе таунхаусы). Принятые в расчетах значения удельного потребления энергии приведены в табл. 2.

Типовые профили электрических нагрузок разных групп потребителей взяты из [15]. Типовые профили основных групп потребителей показаны на рис. 3. Пиковая нагрузка группы «население» – вечером и в выходные дни, групп «промышленность» и «сфера услуг» – около полудня в рабочие дни.

Таблица 1

Группы и подгруппы потребителей энергии (здания)
Groups and sub-groups of energy consumers (buildings)

Группа потребителей	Население	Сфера услуг	Промышленность
Подгруппы потребителей	Многоквартирные Коттеджи	Офисные Торговые Здравоохранение Образование Транспорт Досуговые	Производственные Складские

Таблица 2

Удельное потребление электроэнергии зданиями
Specific energy consumption by buildings

Тип зданий	Удельное потребление электроэнергии, кВт·ч/м ²	Доля в общей площади города, %
Многоквартирные	40	43
Коттеджи	45	9
Всего	–	52
Учрежденческие	86	6
Коммерческие	93	11
Здравоохранение	96	3
Образование	74	4
Транспорт	95	3
Культурно-досуговые	90	3
Всего	–	27
Производственные	73	13
Складские	30	5
Всего	–	18

Результаты. По описанному выше алгоритму был рассчитан профиль электрической нагрузки Санкт-Петербурга, который представляет собой матрицу с 18 (x, y)×8760 значениями.

Фрагмент профиля электрической нагрузки Санкт-Петербурга показан на рис. 4. В центральных районах города плотность электрической нагрузки на квадратный километр больше, чем в периферийных, что связано с особенностями пространственно-функциональной структуры города.

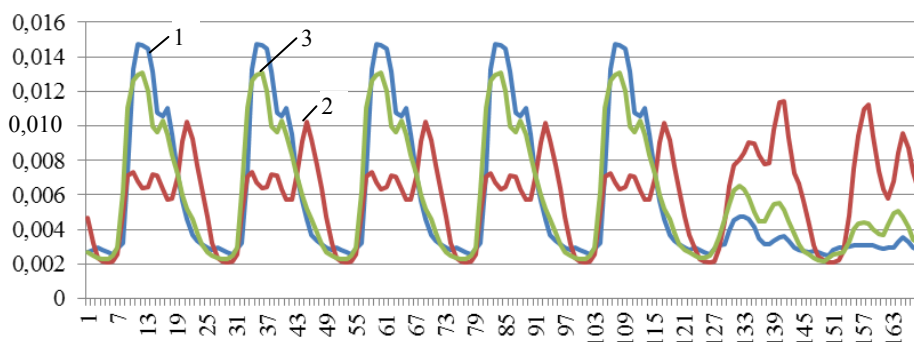


Рис. 3. Примеры типовых профилей потребления электрической энергии для Санкт-Петербурга: 1 – промышленность; 2 – население; 3 – сфера услуг

Fig. 3. Examples of typical electricity consumption profiles for St. Petersburg: 1 – industry; 2 – population; 3 – services

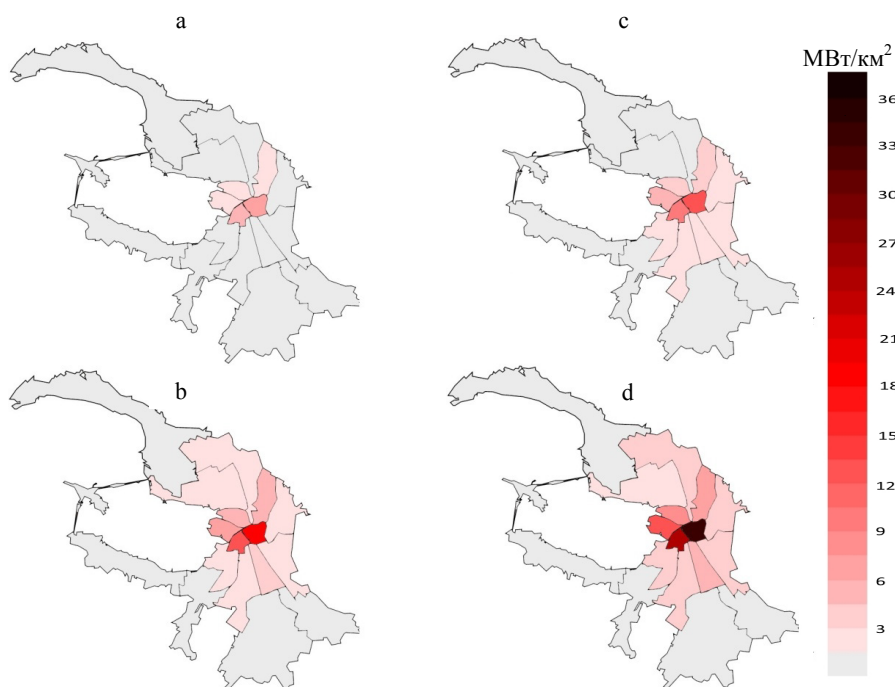


Рис. 4. Фрагмент профиля потребления энергии в Санкт-Петербурге: а – 3:00; б – 12:00; с – 17:00; д – максимум нагрузки

Fig. 4. A fragment of the profile of energy consumption in St. Petersburg: а – 3:00; б – 12:00; с – 17:00; д – maximum load

ВЫВОДЫ

1. Данные об уровне потребления энергоресурсов как во временном, так и в пространственном разрезе необходимы при планировании развития энергетического комплекса города. Наличие такой информации позволит

провести подробный анализ городской энергетической системы в масштабе города или в пределах одного района (квартала). Особенно очевидна полезность таких данных при внедрении технологий Smart Grid и разработке мер по управлению спросом. Изменяя масштаб зонирования (район, муниципальный округ, квартал) и временной интервал (год, неделя, сутки, час) возможно адаптировать модель согласно конкретным задачам и условиям (наличие исходных данных).

2. Многофакторный анализ может дополнить и повысить точность среднесрочного и долгосрочного планирования объемных и пространственных характеристик модели. Так, одновременное влияние увеличения площади жилых зданий и повышения энергетической эффективности существующих и вводимых объектов может увеличивать и уменьшать объемы потребления с разными темпами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Keirstead, J. A Review of Urban Energy System Models: Approaches, Challenges and Opportunities / J. Keirstead, M. Jennings, A. Sivakumar // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012. Vol. 16, No 6. P. 3847–3866.
2. Бушуев, В. В. Энергоэффективный мегаполис-Smart City «Новая Москва» / В. В. Бушуев, П. А. Ливинский. М.: Энергия, 2015.
3. Методические основы разработки перспектив развития электроэнергетики / А. А. Макаров [и др.]. М.: Институт энергетических исследований РАН, 2007. 103 с.
4. Mirakyan, A. Integrated Energy Planning in Cities and Territories: a Review of Methods and Tools / A. Mirakyan, R. De Guio // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. Vol. 22. P. 289–297.
5. Spatial Distribution of Urban Building Energy Consumption by End Use / B. Howard [et al.] // *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 45. P. 141–151.
6. Mikkola, J. Models for Generating Place and Time Dependent Urban Energy Demand Profiles / J. Mikkola, P. D. Lund // *Applied Energy*. 2014. Vol. 130. P. 256–264.
7. Правила определения стоимости электрической энергии (мощности), поставляемой на розничном рынке по регулируемым ценам (тарифам), оплаты отклонений фактических объемов потребления от договорных, а также возмещения расходов в связи с изменением договорного объема потребления электрической энергии [Электронный ресурс]: приложение к приказу ФСТ России от 21.08.2007 № 166-э/1 (в ред. приказов ФСТ России от 03.07.2008 № 249-э, от 29.05.2009 № 103-э/1) // КонсультантПлюс. Россия. М., 2009.
8. Chicco, G. Overview and Performance Assessment of the Clustering Methods for Electrical Load Pattern Grouping / G. Chicco // *Energy*. 2012. Vol. 42, No 1. P. 68–80.
9. Enterprise Integration Solution for Power Supply Company Based on GeoNis Interoperability Framework / L. Stoimenov [et al.] // *Data & Knowledge Engineering*. 2016. Vol. 105. P. 23–38.
10. Fonseca, J. A. Integrated Model for Characterization of Spatiotemporal Building Energy Consumption Patterns in Neighborhoods and City Districts / J. A. Fonseca, A. Schlueter // *Applied Energy*. 2015. Vol. 142. P. 247–265.
11. Andersen, F. M. Long-Term Forecasting of Hourly Electricity Load: Identification of Consumption Profiles and Segmentation of Customers / F. M. Andersen, H. V. Larsen, T. K. Boomsma // *Energy Conversion and Management*. 2013. Vol. 68. P. 244–252.
12. Differentiated Long Term Projections of the Hourly Electricity Consumption in Local Areas. The Case of Denmark West / F. M. Andersen [et al.] // *Applied Energy*. 2014. Vol. 135. P. 523–538.

13. Туркина, О. В. Разработка методов повышения обоснованности и достоверности расчета и анализа фактических потерь и балансов электрической энергии в электрических сетях. М.: ОАО «НТЦ электроэнергетики», 2011. 27 с.
14. Санкт-Петербург в 2016 году. СПб.: Петроstat, 2017. 206 с.
15. BDEW. Standardlastprofile_2016 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.bdew.de/energie/standardlastprofile-strom/>. Дата доступа: 10.11.2017.

Поступила 19.03.2019 Подписана в печать 28.05.2019 Опубликовано онлайн 31.07.2019

REFERENCES

1. Keirstead J., Jennings M., Sivakumar A. (2012) A Review of Urban Energy System Models: Approaches, Challenges and Opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (6), 3847–3866. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.047>.
2. Bushuev V. V., Livinskii P. A. (2015) *Energy-Efficient Megapolis – Smart City “New Moscow”*. Moscow, Energiya Publ. 75 (in Russian).
3. Makarov A. A., Veselov F. V., Volkova E. A., Makarova A. S. (2007) *Methodical Bases of Development of Elaboration of Prospects of Electric Power Industry Development*. Moscow, Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences. 103 (in Russian).
4. Mirakyan A., De Guio R. (2013) Integrated Energy Planning in Cities and Territories: a Review of Methods and Tools. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.033>.
5. Howard B., Parshall L., Thompson J., Hammer S., Dickinson J., Modi V. (2012) Spatial Distribution of Urban Building Energy Consumption by End Use. *Energy and Buildings*, 45, 141–151. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.10.061>.
6. Mikkola J., Lund P. D. (2014) Models for Generating Place and Time Dependent Urban Energy Demand Profiles. *Applied Energy*, 130, 256–264. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.05.039>.
7. *Rules of Determination of Cost of the Electric Energy (Power) Delivered in the Retail Market at the Regulated Prices (Rates), Payment of Deviations of the Actual Volumes of Consumption from Contractual, and also Compensation of Expenses in Relation with Alteration of Contractual Volume of Consumption of Electric Energy*: Appendix to the Order of FTS of Russia of 21.08.2007 No 166-э/1 (in the Wording of FTS of Russia Orders of 03.07.2008 N 249-э, of 29.05.2009 No 103-э/1). Accessed from the Reference Retrieval System “Kon-sultantPlyus” Russia. Moscow, 2009 (in Russian).
8. Chicco G. (2012) Overview and Performance Assessment of the Clustering Methods for Electrical Load Pattern Grouping. *Energy*, 42 (1), 68–80. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.12.031>.
9. Stoimenov L., Davidovic N., Stanimirovic A., Bogdanovic M., Nikolic D. (2016) Enterprise Integration Solution for Power Supply Company Based on GeoNis Interoperability Framework. *Data & Knowledge Engineering*, 105, 23–38. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2015.10.001>.
10. Fonseca J. A., Schlueter A. (2015) Integrated Model for Characterization of Spatiotemporal Building Energy Consumption Patterns in Neighborhoods and City Districts. *Applied Energy*, 142, 247–265. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.068>.
11. Andersen F. M., Larsen H. V., Boomsma T. K. (2013) Long-Term Forecasting of Hourly Electricity Load: Identification of Consumption Profiles and Segmentation of Customers. *Energy Conversion and Management*, 68, 244–252. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.01.018>.
12. Andersen F. M., Larsen H. V., Juul N., Gaardstrup R. B. (2014) Differentiated Long Term Projections of the Hourly Electricity Consumption in Local Areas. The Case of Denmark West. *Applied Energy*, 135, 523–538. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.075>.
13. Туркина О. В. (2011) *Development of Methods to Improve the Validity and Reliability of the Calculation and Analysis of Actual Losses and Balances of Electrical Energy in Electrical Networks*. Moscow, “STC of Electric Power Industry” JSC. 27 (in Russian).
14. *St. Petersburg in 2016*. (2017) St. Petersburg, Petrostat Publ. 206 (in Russian).
15. BDEW. Standardlastprofile_2016. Available at: <https://www.bdew.de/energie/standardlastprofile-strom/>. (Accessed 10 November 2017).