

УДК 621.3

DOI: 10.24160/1993-6982-2017-5-25-33

## Анализ тенденций развития электрических сетей мегаполисов Российской Федерации

Е.Г. Гашо, С.В. Гужов, М.И. Постельник

На фоне протекающих процессов урбанизации методы моделирования городских энергосистем в последние годы переживают период бурного развития. Активно формируются концепции построения моделирующих программных комплексов для решения прикладных задач энергоснабжения на конкретных территориях. Работы, посвященные общим закономерностям городского энергоснабжения, в большинстве случаев носят декларативный характер, определяя некоторые общие принципы устойчивого развития города. Закономерности развития городских энергосистем до сих пор исследованы недостаточно.

Нелинейный характер связей между городской энергосистемой и социально-экономическими и природно-климатическими факторами, а также неопределенность характеристик этих связей и сложность формализации возникающих задач определяют актуальность разработки современных расчетных методов.

Для российских городов проблема поиска оптимального пути развития энергосистем стоит особенно остро. Значительные резервы энергосбережения связаны с подстройкой режима работы тепловых и электрогенерирующих мощностей под эволюцию структуры энергопотребления. Вопрос об определении наиболее перспективных направлений развития энергетики остается открытым, в том числе и из-за неполноты статистических данных, недостатка расчетных моделей, учитывающих взаимосвязи «энергетика – экономика» и «энергетика – окружающая среда». Цель проекта заключается в определении основных закономерностей, которым подчиняется развитие городских энергосистем, с учетом обратных связей «энергетика – окружающая среда» и «энергетика – социум». Для достижения поставленной цели необходимо:

проанализировать эволюции городов разного размера с точки зрения динамики развития их электроэнергетических систем; исследовать тенденции социально-экономического развития городов и городских поселений; сформировать набор ключевых показателей, характеризующих социально-экономическое развитие городов и городских поселений, и закономерностей зависимости потребностей в электрической энергии городских поселений от социально-экономических и природно-климатических изменений.

*Ключевые слова:* программа развития, прогнозирование, развитие системы электроснабжения.

*Для цитирования:* Гашо Е.Г., Гужов С.В., Постельник М.И. Анализ тенденций развития электрических сетей мегаполисов Российской Федерации // Вестник МЭИ. 2017. № 5. С. 25—33. DOI: 10.24160/1993-6982-2017-5-25-33.

## An Analysis of Trends Pertinent to the Development of Electric Networks in the Cities of Russia

E.G. Gasho, S.V. Guzhov, M.I. Postel'nik

A very rapid development of methods for modeling urban power systems has been seen in recent years at the background of ongoing urbanization processes. Concepts for constructing simulation-oriented software systems for solving applied power supply problems in specific areas are being actively shaped. The majority of studies dealing with the general regularities pertinent to urban power supply are declarative in nature and set out some general principles for sustainable development of cities. The general regularities pertinent to the development of urban power systems have not been adequately studied as yet.

A nonlinear nature of correlations between the urban power system, social-economic, and climatic factors, as well as uncertainty of the features characterizing these correlations, and the complexity of formalizing the relevant tasks are the circumstances that determine the necessity of developing modern computational methods.

The problem of finding the optimal path for the development of urban power systems is felt especially acute for Russian cities. A significant potential for saving energy lies in adjusting the operation mode of capacities generating heat and electricity to the evolution of the energy consumption structure. The issue of defining the most promising avenues in the development of the power industry still remains open, also due to incompleteness of relevant statistical data and lack of computational models addressing the interrelations between the power industry and economy, and between the power industry and environment. The aim of the project is to determine the key regularities governing the development of urban power systems with due regard to the feedbacks between the power industry and environment and between the power industry and society. The following tasks should be solved to achieve this goal: the evolutions of cities having different sizes should be analyzed with placing focus on the dynamics pertinent to the development of their electric power systems; the trends relating to the social-

and-economic development of cities and urban settlements should be investigated; it is necessary to identify a set of key indicators that would characterize the social and economic development of cities and urban settlements, and reflect the regularities pertinent to manner in which the needs of urban settlements in electric energy depend on the social-economic and climatic changes.

*Key words:* development program, forecasting, development of a power supply system.

*For citation:* Gasho E.G., Guzhov S.V., Postel'nik M.I. An Analysis of Trends Pertinent to the Development of Electric Networks in the Cities of Russia. MPEI Vestnik. 2017; 5:25—33. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2017-5-25-33.

Согласно данным Росстата на 01.01.2016 г., статус города имеют 1098 населенных пунктов, у 169 городов численность населения свыше 100 тыс. чел. [1], 15 из них носят статус «крупнейшего», т.е. мегаполиса с населением свыше 1 млн чел. см. таблицу. Крупнейшие города России характеризуются не только развитой социальной инфраструктурой, они обладают особенностями при создании инженерных коммуникаций, в том числе сетей электроснабжения.

### Тенденции изменения численности населения мегаполисов России

Город	Численность населения, чел.	
	на 01.01.2015 г.	на 01.01.2016 г.
Москва	12 197 596	12 330 126
Санкт-Петербург	5 191 690	5 225 690
Новосибирск	1 567 087	1 584 138
Екатеринбург	1 428 042	1 444 439
Нижний Новгород	1 267 760	1 266 871
Казань	1 205 651	1 216 965
Челябинск	1 183 387	1 192 036
Омск	1 173 854	1 178 100
Самара	1 171 820	1 170 910
Ростов-на-Дону	1 114 806	1 119 875
Уфа	1 105 667	1 120 000
Красноярск	1 052 218	1 066 934
Пермь	1 036 469	1 041 876
Воронеж	1 023 570	1 032 382
Волгоград	1 017 451	1 016 137

Под системой электроснабжения города понимается совокупность электрических сетей и трансформаторных подстанций, а также устройств управления передачей электрической энергии, расположенных на территории мегаполиса и предназначенных для электроснабжения его потребителей. Система ограничивается, с одной стороны, источниками питания, с другой — вводами электрических сетей к потребителям. В качестве источников питания служат местные электростанции и понижающие подстанции напряжением 35...110 кВ и выше, питание которых осуществляется от электрических сетей энергосистем. Основные показатели системы определяются местными условиями: размерами города, исторической структурой развития, наличием источников питания, характеристиками по-

ребителей и т. п. Развитие городских систем электроснабжения может характеризоваться:

- установкой в узловых точках сети устройств, улучшающих показатели качества электрической энергии [2];
- устройством подстанций глубокого ввода 110 кВ и выше, транспортирующих линии электропередач высокого напряжения непосредственно в центры нагрузок для питания отдельных (центральных) районов города, не охватываемых кольцевой сетью указанного напряжения [3, п. 4.2.2.2.];
- уменьшением длины линий электропередач, реализованным посредством рационального перераспределения трансформаторных подстанций (ТП) и передающих сетей с одновременным их обновлением;
- максимальной автоматизацией и диспетчеризацией передающих сетей с перспективой создания сетей типа smart grid;
- применением проводников большого сечения у групп мощных потребителей;
- отказом от тупиковых схем электроснабжения городских электроприемников с одновременным созданием вокруг города и его районов кольцевой магистральной сети напряжением 110 кВ и выше с двусторонним питанием и понижающими подстанциями, присоединенными к подстанциям более высоких напряжений энергосистемы и городским электрическим станциям [3, п. 4.2.2.1];
- созданием новой кольцевой сети по мере развития города и увеличения его электрической нагрузки и преобразованием кольцевой магистральной сети, принятой на первом этапе развития, в распределительную сеть [3, п. 4.2.2.3];
- использованием существующих распределительных сетей 10(6) кВ с возможностью их ограниченного взаимного резервирования нагрузки ближайших центров питания (не менее 15 % нагрузки) [3, п. 4.2.4] и пр.

Перспективы развития схем электроснабжения крупнейших городов определяются на основе схем территориального планирования муниципальных районов, генеральных планов поселений в увязке с формированием агропромышленного и рекреационного комплексов, а также с учетом размещения подсобных сельских хозяйств предприятий, организаций и учреждений.

Целями разработки схем и программ перспективного развития электроэнергетики регионов, содержащих мегаполисы (СиПРЭ), являются развитие сетевой

инфраструктуры и генерирующих мощностей, обеспечение удовлетворения долгосрочного и среднесрочного спроса на электрическую энергию и мощность, формирование стабильных и благоприятных условий для привлечения инвестиций в строительство объектов электроэнергетики. Программы развития электроэнергетики регионов включают в себя схему развития электроэнергетики региона и оценку плановых значений показателя надежности оказываемых услуг в отношении территориальных сетевых организаций или их обособленных подразделений, оказывающих услуги по передаче электрической энергии на территории соответствующего субъекта Российской Федерации, с учетом выполнения мероприятий, предусмотренных перечнем реализуемых и перспективных проектов по развитию территориальных распределительных сетей [4, п. 27].

Анализ схем и программ перспективного развития электроэнергетики для регионов, содержащих мегаполисы России [5—13], показывает недостаточную их наполненность информацией по актуальным первичным данным. Практически во всех случаях отсутствует анализ тарифных последствий реализации мероприятия СиПРЭ региона. В трети схем нет анализа электрических режимов работы сети, расчета токов короткого замыкания, что не позволяет выполнить оценку целесообразности и достаточности предлагаемых мероприятий. Получение актуальной версии СиПРЭ регионов также зачастую было весьма затруднено в силу его отсутствия в открытом доступе на официальном сайте органов исполнительной власти региона, а также в информационно-правовых базах данных [14]. В ряде случаев данные, приведенные в различных разделах СиПРЭ одного региона, противоречат друг другу. Несмотря на указанные сложности, авторам удалось выбрать следующие агрегированные показатели, которые могут быть получены из СиПРЭ мегаполисов:

- годовое электропотребление электроприемниками  $W$ ;
- суммарная установленная мощность генерирующих электростанций;
- число генерирующих электростанций;
- электропотребление города в сутки контрольных замеров: летнего и зимнего;
- собственный максимум нагрузки;
- число часов использования максимума нагрузки;
- годовые темпы прироста электропотребления и максимума нагрузки;
- численность и суммарная установленная мощность трансформаторов по видам напряжения либо суммарная установленная мощность трансформаторов по всем уровням напряжения;
- число подстанций по видам напряжения либо суммарное число подстанций по напряжениям всех уровней напряжения;
- численность лучей и протяженность ЛЭП по всем уровням напряжения в двухцепном исполнении

либо суммарная протяженность ЛЭП по всем уровням напряжения в двухцепном исполнении.

В целях повышения достоверности результатов анализа факторов, определяющих развитие электрических сетей мегаполисов, на основе действующих СиПРЭ был проведен дополнительный анализ факторов, определяющих развитие энергосистемы мегаполисов, на основе построения простейших связей между технической, финансовой, социальной и культурной средами социума. При первичном отборе выявлены следующие качественные зависимости.

*Энергопотребление на душу населения* — это соотношение количества электрической энергии, потребляемой во всех областях человеческой деятельности за определенный период времени и численности населения. При сохранении темпов роста населения его активность, выражающаяся в потреблении ресурсов на человека, должна упасть за счет использования менее энергоемких электроприборов при одновременном увеличении энергонасыщенности жилья [15]. Поскольку взаимозависимость душевого потребления энергоресурсов и душевого ВВП не является очевидной, показатель потребления электроэнергии на душу населения зависит не только от фактора реального ВВП [16], но и от ряда социальных, экономических факторов:

- уровня благосостояния семей и энергонасыщенности жилья; также может рассматриваться показатель «средний уровень заработной платы»;
- уровня обеспеченности населения жильем; может рассматриваться показатель «темпы ввода нового жилья»;
- площади рассматриваемой территории мегаполиса или региона  $S$ ;
- уровня обеспеченности населения сферой услуг;
- насыщенности территории промышленными предприятиями и офисами; может рассматриваться показатель «реальный ВВП»;
- темпов изменения численности населения;
- климата региона; может рассматриваться показатель «средняя температура по месяцам»;
- тарифов на электрическую энергию.

*Уровень благосостояния людей и потребление электроэнергии домохозяйствами России* за 1990 — 1998 гг. увеличился на 32 %, а за 1998 — 2007 гг. — на 14 %. В первую очередь это было связано с появлением импортной бытовой техники. Снижение роста помимо прочего объясняется увеличением тарифов на электроэнергию и насыщением домохозяйств основными видами электробытовой техники [17] согласно представлению о комфортном образе жизни соответствующих слоев населения. Существуют работы, демонстрирующие корреляцию между уровнем благосостояния семей и уровнем престижности используемого ими жилья [18]. В целях сравнения населения по уровню благосостояния рекомендуется использовать показатель «среднемесячная номинальная начисленная зарплата».

ботная плата работников организаций по видам экономической деятельности» [1].

*Уровень обеспеченности населения жилой площадью и ее энергонасыщенность.* Согласно данных официальной статистики, в России на конец 2006 г. площадь жилищ, приходящаяся в среднем на одного жителя, составила 21,1 м<sup>2</sup>, в Москве — 19,7 м<sup>2</sup>, что меньше, чем в европейских странах, — 50 м<sup>2</sup>. За последние 10 лет средняя обеспеченность квадратными метрами увеличилась в России на 10 %, в Москве — всего на 5 % [19]. Фактор «обеспеченность общей (жилой) площадью» является важной составляющей социального профиля любого города и региона, однако на энергопотребление рассматриваемой территории влияет именно число жителей. При этом на уровне города и региона не так существенен факт наличия у семьи собственного либо съемного жилья, поэтому данный фактор оказывается уже учтенным в показателе «удельный показатель объема электрической энергии, потребляемой одним жителем города (кВт·ч/чел в единицу времени)».

*Уровень обеспеченности населения сферой услуг* в мире за 1990 — 2005 гг. увеличился на 37 % и составил около 8 % от суммарного мирового энергопотребления. Конечное потребление энергии в этом секторе в период 1990 — 2005 гг. росло в Евросоюзе ежегодным темпом 0,9 %, США — 2,6%, Японии — 2,6% [20]. В России за указанный период энергопотребление сферы услуг снизилось на 18 % из-за закрытия значительного количества коммунально-бытовых и культурно-развлекательных предприятий. Поскольку сфера услуг для населения производит услуги, предназначенные для непосредственного употребления, то фактором, рекомендуемым для сравнения регионов является «реальный ВВП», учитывающий инфляционную составляющую.

*Насыщенность территории промышленными предприятиями и офисами.* В развитых странах наибольшее энергопотребление в общественных зданиях и сооружениях приходится на отопительный сезон. В промышленности основным источником потребления являются технологии и отопление. В 2005 г. в странах ЕС в структуре конечного энергопотребления сектора услуг их доля составила 73 %, США — 47, Японии — 40, в России — почти 79 % [21]. Структура энергопотребляющих процессов в разных отраслях сферы услуг может значительно различаться. Так, в Великобритании вторым по величине энергопотребляющим процессом в торговле после отопления (более 50 %) является освещение (28 %), а в потреблении отелей и ресторанов — горячее водоснабжение (19 %) [16].

В развитых странах быстрое обновление фонда офисных зданий в течение 1990 — 2005 гг., отмеченное массовым строительством зданий с использованием современных конструкционных материалов, дало

возможность существенно повысить эффективность использования энергии в секторе услуг. В результате расход конечной энергии на 1 м<sup>2</sup> общественных зданий за этот период в ЕС снижался годовым темпом 0,9 % (несмотря на повышение комфорта и увеличение использования различных приборов и оборудования); в Японии ежегодный прирост составлял 0,5 %, в США возрос на 13,5 %, в Великобритании снизился на 17 % [22]. Фактором, рекомендуемым для сравнения, стал реальный ВВП.

*Темпы изменения численности населения и потребления электрической энергии на бытовые нужды.* В Москве на бытовые нужды населения тратится 23,5 % от всей электроэнергии, в Санкт-Петербурге — 19,9 %, в Краснодарском крае весомый показатель — 22,2 %, Ростовская область также имеет высокую долю потребления населением электроэнергии — 18,7 % [23]. Тенденции, отмеченные на этапе экономического роста, устойчивы. Следовательно, рост численности населения является значимым фактором спроса на электроэнергию. Фактором, рекомендуемым для сравнения, является численность населения  $N$  [1].

*Важным набором факторов для анализа обладает климат региона,* под которым здесь подразумевается многолетний режим погоды, т. е. устоявшиеся, периодически изменяющиеся условия температуры, влажности, движения воздуха, атмосферного давления. Не вызывает сомнений факт существенного влияния климата на объемы электропотребления населенным пунктом и его структурными составляющими. Факторами, рекомендуемыми для сравнения, являются среднегодовая температура (ТСР.ГОД), средняя месячная относительная влажность воздуха в июле, средняя месячная относительная влажность воздуха в январе.

*Тарифы на электрическую энергию* для разных регионов имеют существенные различия. Различия величин тарифов между некоторыми регионами могут достигать трехкратного размера. Для примера: стоимость электроэнергии за 1 кВт·ч в Республике Хакасия составляет 2,01 руб., а в Республике Саха (Якутия) — 5,97 руб. Средняя стоимость электроэнергии за 1 кВт·ч по России за исследуемый период составила 3,16 руб. При этом в 49 регионах показатель стоимости электроэнергии ниже среднего значения, а в 36 регионах — выше среднего.

Очевидно, что при прочих равных объемы электропотребления в регионах с высокими тарифами будут меньше, чем в регионах с низкими тарифами. Факторами, рекомендуемыми для сравнения, являются стоимость электроэнергии для промышленного потребителя (ТарифЭЛ.ЭН), стоимость электроэнергии для городского населения, проживающего в домах, оборудованных в установленном порядке стационарными электроплитами и (или) электроотопительными установками, стоимость электроэнергии для городского

населения, проживающего в домах, оборудованных в установленном порядке газовыми плитами.

Анализ динамики развития городской системы электроснабжения позволил выявить зависимость объемов электропотребления от некоторых социальных и экономических показателей. Особый интерес представляет графическое отображение трендов изменения показателей, измеряемых как в натуральных, так и в относительных единицах. Так, динамика изменения числа часов использования максимума нагрузки Пермского края и ОЭС Урала по сравнению с аналогичным показателем для ЕЭС Российской Федерации (рис. 1) показывает общий тренд возрастания числа часов использования максимума нагрузки.

Однако несмотря на примерно одинаковые темпы роста ОЭС Пермского края ( $k = 18,3$ ) и Урала ( $k = 17,6$ ), аналогичный показатель для ЕЭС Российской Федерации растет существенно быстрее ( $k = 47,6$ ), что свидетельствует о высоких темпах роста нагрузки в иных регионах РФ.

Первичные показатели, полученные из СиПРЭ мегаполисов, сами по себе малоинформативны. Поэтому целесообразнее исследовать удельные параметры. Результаты расчета удельных значений протяженности ЛЭП 35...6 кВ на одного человека и 1 км<sup>2</sup> площади показывают неоднозначность и существенную недостаточность данных для анализа. Выбор сетей напряжением 35...6 кВ определен наибольшими близостью к потребителю и полнотой данных в СиПРЭ. Анализ имеющихся СиПРЭ позволяет сделать предположение об ошибочности данных для г. Красноярска и Красноярского края. На основании оставшихся данных можно сделать предположение о возможных значениях удельного показателя:

$$L_{(ЛЭП\ 35...6\ кВ)} / N \in [1,25; 1,29] \pm 9\%; \quad (1)$$

$$L_{(ЛЭП\ 35...6\ кВ)} / S \in [0,29; 0,34] \pm 12\%. \quad (2)$$

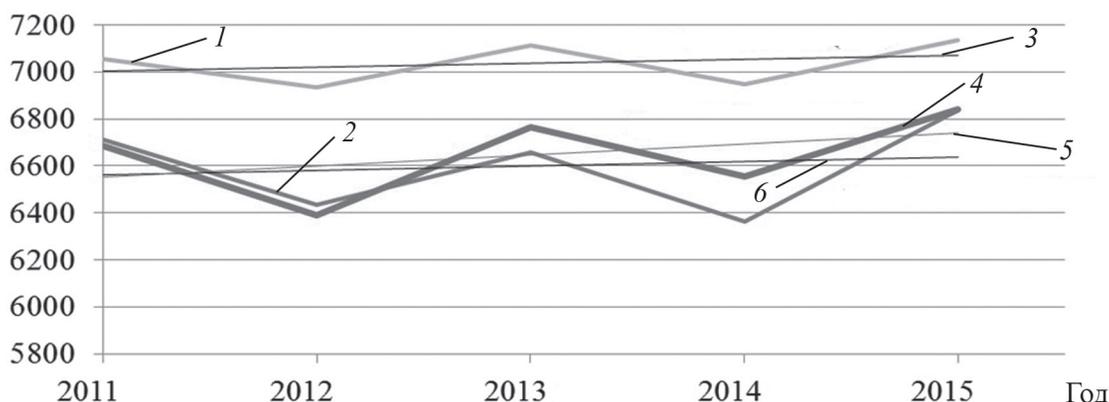


Рис. 1. Динамика изменения числа часов использования максимума нагрузки в период 2011 — 2015 гг.:

1 — ОЭС Урала,  $y = 17,6x + 6984,8$ ; 2 — ЭЭС Пермского края,  $y = 18,3x + 6545,3$ ; 3 — линейная (ОЭС Урала); 4 — ЕЭС Российской Федерации,  $y = 47,6x + 6504$ ; 5 — линейная (ЕЭС Российской Федерации); 6 — линейная (ЭЭС Пермского края)

Целесообразно проанализировать зависимость годового потребления электрической энергии от ВВП. Для приведения к сопоставимым условиям показателя годового электропотребления электроприемниками его необходимо разделить на показатель «численность населения». Показатель ВВП предлагается привести посредством деления на показатель «среднегодовая температура», зависимость которого может быть описана уравнением

$$W/N = \{0,0069ВВП/T_{\text{ср. год}} + 6,8194\} \pm 16\%. \quad (3)$$

Следует также изучить зависимости удельного показателя «годовое электропотребление электроприемниками/численн.насел.» от показателя темпов ввода жилья, скорректированного на тариф на электрическую энергию. Для расчета стоит использовать ставку одноставочного тарифа на электроэнергию для городского населения, проживающего в домах, оборудованных в установленном порядке газовыми плитами. Результаты расчета (рис. 2) показывают недостаточную корреляцию между выбранными показателями. Линейная форма зависимости имеет ничтожную степень достоверности ( $R^2 = 0,083$ ), наиболее подходящей является полиномиальная зависимость второй степени ( $R^2 = 0,5391$ ).

Уравнение, описывающее кривую с 53 %-ной достоверностью, является достаточно сложным. При этом уравнение, описывающее кривую с 8,3 %-ной достоверностью, достаточно простое и может быть использовано при условии задания достаточно большого коридора возможных значений:

$$\begin{aligned} \text{Темп}_{\text{ввод жилья}} / \text{Тариф}_{\text{эл. эн}} &= \\ &= \{13,914W/N + 246,16\} \pm 24\%. \end{aligned} \quad (4)$$

Вместе с тем данный критерий может быть использован только для проверки корректности проверяемых

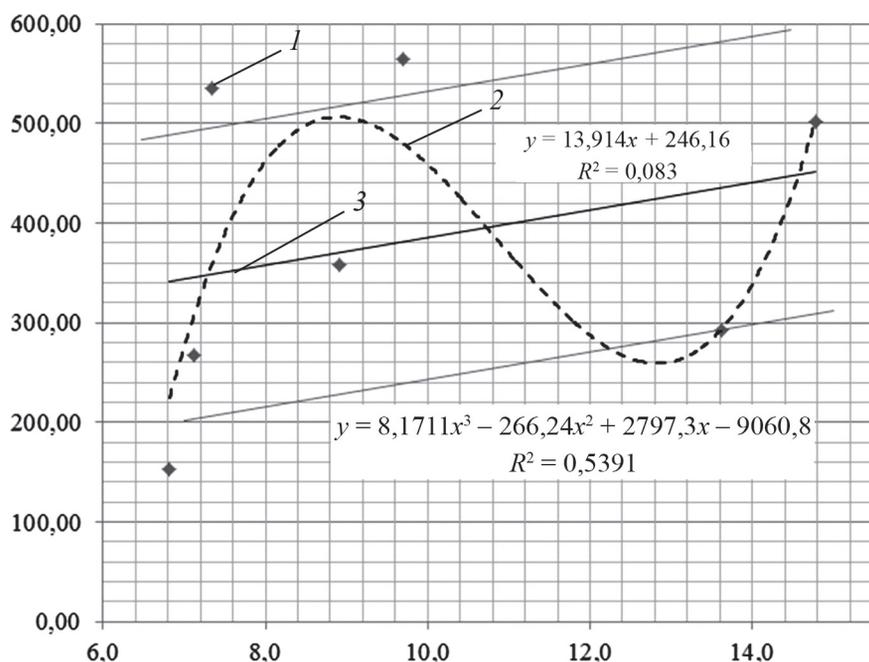


Рис. 2. Графическое отображение для доступных к расчету удельных значений объема потребляемой электрической энергии в пересчете на жителя, отнесенного к темпам ввода жилья в пересчете на тариф на электрическую энергию для промышленных предприятий:

1 —  $(W/\text{численн. насел.})/(\text{Темп}_{\text{ввод. жилья}}/\text{Тариф}_{\text{эл. эн.}})$ ; 2 — полиномиальная  $(W/\text{Численн. насел.})/(\text{Темп}_{\text{ввод. жилья}}/\text{Тариф}_{\text{эл. эн.}})$ ; 3 — линейная  $(W/\text{Численн. насел.})/(\text{Темп}_{\text{ввод. жилья}}/\text{Тариф}_{\text{эл. эн.}})$

значений, но не для их прогнозирования. Достаточно показателен фактор «объем потребляемой электрической энергии в пересчете на жителя». График на рис. 3 наглядно показывает наличие среднего значения, которое для рассматриваемых примеров

$$W/N = 7,97 \pm 18 \%. \quad (5)$$

Исключением является значение показателя для г. Красноярска и Красноярского края, которое было отмечено как сомнительное при формировании уравнений (1) — (3).

Анализ фактора «объем потребляемой электрической энергии в пересчете на единицу площади (кВт·ч/км²)» представлен на рис. 4.

Проведенный анализ показывает наличие среднего значения

$$W/S = 189,9 \pm 21 \%. \quad (6)$$

Исключением является значение показателя для г. Красноярска и Красноярского края, которое было отмечено как сомнительное при формировании уравнений (1) — (3), и для г. Нижнего Новгорода и Нижегородской обл.

Анализ истории городов и систем их энергоснабжения позволяет определить тенденции их развития на много лет вперед. Набор количественных параметров, наиболее достоверно характеризующих этот процесс,

зависит от особенностей развития системы и надежности доступных статистических данных. Предложенная модель городской энергосистемы рассчитана на работу в условиях неопределенности входных параметров и пригодна для оценки систем, находящихся в различных природно-географических условиях.

Следует отметить, что качество данных, приведенных в СиПРЭ, в ряде случаев носит сомнительный характер и не позволяет детально проанализировать системы электроснабжения всех мегаполисов.

Анализ факторов, определяющих развитие электрических сетей мегаполисов, на основе схем и программ перспективного развития электроэнергетики, выявил зависимости (1) — (6), которые позволяют развить методологию формирования проблемно-ориентированных аналитических ресурсов для эффективного моделирования и прогнозирования электропотребления мегаполисов России.

Данные количественные соотношения в дальнейшем могут быть использованы при нечетком многокритериальном оценивании влияния широкого спектра разнородных факторов на характеристики систем энергоснабжения городов на основе нечетких когнитивных карт и моделей нечеткого продукционного вывода.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 16-19-10568).

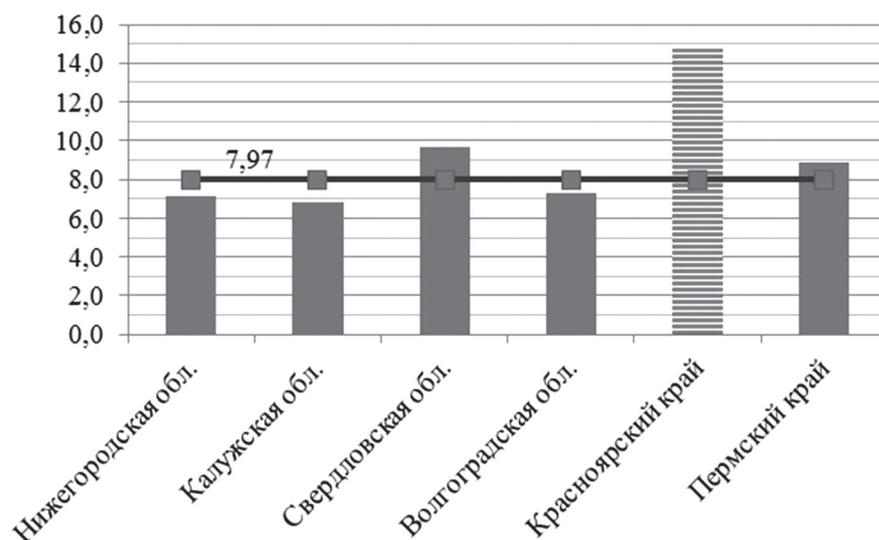


Рис. 3. Графическое изображение для доступных к расчету удельных значений объема потребляемой электрической энергии в пересчете на жителя (тыс.кВт·ч/чел)

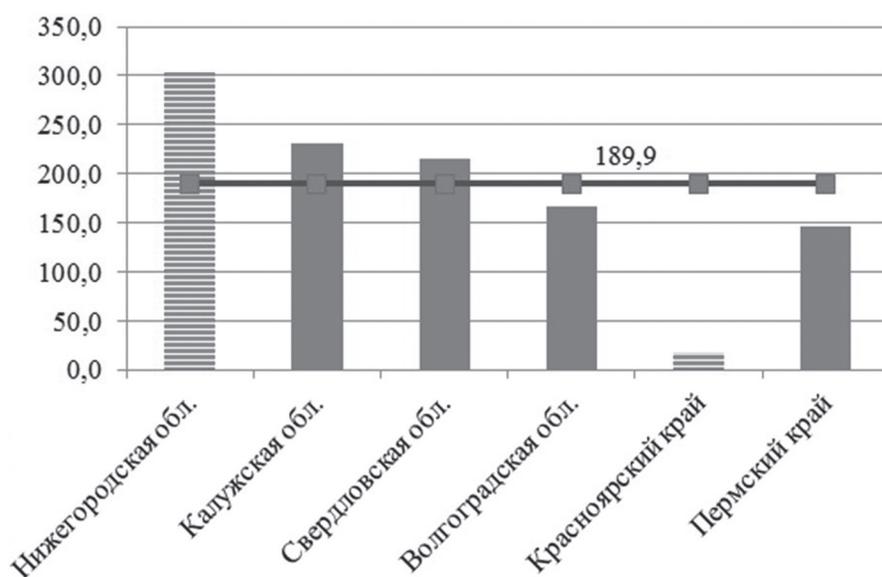


Рис. 4. Графическое изображение для доступных к расчету удельных значений объема потребляемой электрической энергии в пересчете на единицу площади

## Литература

1. **Федеральная** служба государственной статистики [Офиц. сайт] <http://www.gks.ru> (дата обращения 23.04.2016)

2. **ГОСТ 32144—2013.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

3. **РД 34.20.185—94.** Инструкция по проектированию городских электрических сетей.

4. **Постановление** правительства Российской Федерации № 823 от 17.10.2009 г. «О схемах и программах перспективного развития электроэнергетики. Список изменяющих документов».

5. **Приказ** Министерства жилищно-коммунального хозяйства и топливно-энергетического комплекса Нижегородской области № 21 от 22.04.2013 г. «Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Нижегородской области на 2013 — 2017 гг. с перспективой до 2022 г.».

6. **Приказ** Министерства промышленности, торговли и развития предпринимательства Новосибирской области № 95 от 28.04.2011 г. «Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Новосибирской области на 2012 — 2016 годы».

7. **Приложение** к постановлению правительства Калужской области № 224 от 25 апреля 2013 г. «Схема и программа развития электроэнергетики Калужской области на 2014 — 2018 годы».

8. **Указ** губернатора Свердловской области № 442-УГ от 29.07.2016 г. «Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Свердловской области на 2017 — 2021 годы и на перспективу до 2026 года».

9. **Приказ** Министерства топлива, энергетики и тарифного регулирования Волгоградской области № 110-ВН от 30.04.2013 г. «Схема и программа развития электроэнергетики Волгоградской области на период 2013 — 2017 гг.».

10. **Приложение** к приказу Министерства промышленной политики, транспорта и связи Омской области № 19 от 26.04.2012 г. «Программа развития электроэнергетики в Омской области на 2012 — 2016 годы».

11. **Распоряжение** губернатора Красноярского края № 565-РГ от 16.10.2015 г. «Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Красноярского края на период 2016 — 2020 гг.».

12. **Указ** губернатора Пермского края № 83 от 27.05.2016 г. «Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Пермского края на период 2016 — 2021 годы».

13. **Распоряжение** Комитета по энергетике и инженерному обеспечению правительства г. Санкт-Петербурга № 241 от 29.12.2014 г. «Схема и программа перспективного развития электроэнергетики г. Санкт-Петербурга на период 2014 — 2018 годы».

14. **Шилин В.А.** О разработке схем и программ развития электроэнергетики регионов Российской Федерации: текущее состояние, проблемы и предложения по улучшению [Электрон. ресурс] [http://association-cfo.ru/files/materials/rg\\_doc/prezent/shilin\\_rg\\_doc\\_0801616.pdf](http://association-cfo.ru/files/materials/rg_doc/prezent/shilin_rg_doc_0801616.pdf) (дата обращения 04.06.2017)

15. **Chefurka P.** Мировая Энергия и Население. Перспективы с 2007 по 2100 гг. // World Energy And Population, 2007 [Электрон. ресурс] [http://www.courtfool.info/ru\\_World\\_Energy\\_and\\_Population.htm](http://www.courtfool.info/ru_World_Energy_and_Population.htm) (дата обращения 25.06.2017)

16. **Энергоемкость** ВВП зависит от структуры экономики [Электрон. ресурс] <http://www.ray-idaho.ru/blog/2013/09/05/%D1%8D%D0%B D%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%B5%D0%BC%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C-%D0%B2%D0%B2%D0%BF-%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%81%D0%B8%D1%82-%D0%BE%D1%82-%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83/> (дата обращения 15.07.2017)

17. **Агеева Е.В., Коган Ю.М.** Потребление электроэнергии и электрификация в России (1990 — 2007 гг.) // Энергетик. 2008. № 10. С. 7—11.

18. **Саков В.В.** Исследование и разработка математических моделей и методики расчета электрических нагрузок жилых зданий: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М.: Изд-во МЭИ, 2007.

19. **Гузанова А.К.** Жилищная обеспеченность в России и Москве: тенденции последних лет, социаль-

ные различия, жилищная политика [Электрон. ресурс] <http://old.problemanalysis.ru/Doklad4/Guzanova.pdf> (дата обращения 11.07.2017)

20. **World Wide Trends in Energy Use and Efficiency.** Key Insights from IEA Indicator Analysis. Paris: IEA/OECD, 2008.

21. **Гальперова Е.В.** Энергопотребление населения и сферы услуг России на фоне мировых тенденций // Проблемы прогнозирования. 2011. № 3. С. 93—99.

22. **European Energy and Transport — Trends to 2030.** European Communities. Belgium, 2008.

23. **Федеральный портал ProTown.** Влияние энергетики на доходы населения и кризис 2008 г. [Электрон. ресурс] <http://www.protown.ru/information/hidden/7930.html> (дата обращения 01.06.2017)

## References

1. **Federal'naya** sluzhba Gosudarstvennoy Statistiki [Ofits. Sayt] <http://www.gks.ru> (Data Obrashcheniya 23.04.2016). (in Russian)

2. **GOST 32144—2013.** Elektricheskaya Energiya. Sovmestimost' Tekhnicheskikh Sredstv Elektromagnitnaya. Normy Kachestva Elektricheskoy Energii v Sistemah Elektrosnabzheniya Obshchego Naznacheniya. (in Russian).

3. **RD 34.20.185—94.** Instruksiya po Proektirovaniyu Gorodskih Elektricheskikh Setey. (in Russian).

4. **Postanovlenie** Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii No. 823 от 17.10.2009 г. «O Shemah i Programmah Perspektivnogo Razvitiya Elektroenergetiki. Spisok Izmenyayushchih Dokumentov». (in Russian).

5. **Prikaz** Ministerstva Zhilishchno-Kommunal'nogo Hozyaystva i Toplivno-Energeticheskogo Kompleksa Nizhegorodskoy Oblasti No. 21 от 22.04.2013 г. «Shema i Programma Perspektivnogo Razvitiya Elektroenergetiki Nizhegorodskoy Oblasti na 2013 — 2017 gg. s Perspektivoy do 2022 g.». (in Russian).

6. **Prikaz** Ministerstva Promyshlennosti, Torgovli i Razvitiya Predprinimatel'stva Novosibirskoy Oblasti No. 95 от 28.04.2011 г. «Shema i Programma Perspektivnogo Razvitiya Elektroenergetiki Novosibirskoy Oblasti na 2012 — 2016 Gody». (in Russian).

7. **Prilozhenie** k Postanovleniyu Pravitel'stva Kaluzhskoy Oblasti No. 224 от 25 Aprelya 2013 г. «Shema i Programma Razvitiya Elektroenergetiki Kaluzhskoy Oblasti na 2014 — 2018 Gody». (in Russian).

8. **Ukaz** Gubernatora Sverdlovskoy Oblasti No. 442-UG от 29.07.2016 г. «Shema i Programma Perspektivnogo Razvitiya Elektroenergetiki Sverdlovskoy Oblasti na 2017 — 2021 Gody i na Perspektivu do 2026 Goda». (in Russian).

9. **Prikaz** Ministerstva Topлива, Energetiki i Tarifnogo Regulirovaniya Volgogradskoy Oblasti No. 110-VN от 30.04.2013 г. «Skhema i Programma Razvitiya Elektroenergetiki Volgogradskoy Oblasti na Period 2013 — 2017 gg.». (in Russian).

10. **Prilozhenie** k Prikazu Ministerstva Promyshlennoy Politiki, Transporta i Svyazi Omskoy Oblasti No. 19 ot 26.04.2012 g. «Programma Razvitiya Elektroenergetiki v Omskoy Oblasti na 2012 — 2016 Gody». (in Russian).

11. **Rasporyazhenie** Gubernatora Krasnoyarskogo Kraya No. 565-RG ot 16.10.2015 g. «Skhema i Programma Perspektivnogo Razvitiya Elektroenergetiki Krasnoyarskogo Kraya na Period 2016 — 2020 gg.». (in Russian).

12. **Ukaz** Gubernatora Permskogo Kraya No. 83 ot 27.05.2016 g. «Skhema i Programma Perspektivnogo Razvitiya Elektroenergetiki Permskogo Kraya na Period 2016 — 2021 Gody». (in Russian).

13. **Rasporyazhenie** Komiteta po Energetike i Inzhenernomu Obespecheniyu Pravitel'stva Sankt-Peterburga No. 241 ot 29.12.2014 g. «Skhema i Programma Perspektivnogo Razvitiya Elektroenergetiki Sankt-Peterburga na Period 2014 — 2018 Gody». (in Russian).

14. **Shilin V.A.** O Razrabotke Skhem i Programm Razvitiya Elektroenergetiki Regionov Rossiyskoy Federatsii: Tekushchee Sostoyanie, Problemy i Predlozheniya po Uluchsheniyu [Elektron. Resurs] [http://association-cfo.ru/files/materials/rg\\_doc/prezent/shilin\\_rg\\_doc\\_0801616.pdf](http://association-cfo.ru/files/materials/rg_doc/prezent/shilin_rg_doc_0801616.pdf) (Data Obrashcheniya 04.06.2017) (in Russian).

15. **Chefurka R.** Mirovaya Energiya i Naselenie. Perspektivy s 2007 po 2100 gg. // World Energy And Populatio, 2007 [Elektron. Resurs] [http://www.courtfool.info/ru\\_World\\_Energy\\_and\\_Population.htm](http://www.courtfool.info/ru_World_Energy_and_Population.htm) (Data Obrashcheniya 25.06.2017) (in Russian).

16. **Energoemkost'** VVP Zavisit ot Struktury Ekonomiki [Elektron. Resurs] <http://www.ray-idaho.ru/blog/2013/09/05/%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%B5%D0%BC%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C-%D0%B2%D0%B2%D0%BF-%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%81%D0%B8%D1%82-%D0%BE%D1%82-%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83/> (Data Obrashcheniya 15.07.2017) (in Russian).

17. **Ageeva E.V., Kogan Yu.M.** Potreblenie Elektroenergii i elektrifikatsiya v Rossii (1990 — 2007 gg.). Energetik. 2008;10:7—11. (in Russian).

18. **Sakov V.V.** Issledovanie i Razrabotka Matematicheskikh Modeley i Metodiki Rascheta Elektricheskikh Nagruzok Zhilyh Zdaniy: Avtoref. Disc. ... Kand. Tekhn. Nauk. M.: Izd-vo MPEI, 2007. (in Russian).

19. **Guzanova A.K.** Zhilishchnaya Obespechennost' v Rossii i Moskve: Tendentsii Poslednih Let, Sotsial'nye Razlichiya, Zhilishchnaya Politika [Elektron. Resurs] <http://old.problemanalysis.ru/Doklad4/Guzanova.pdf> (Data Obrashcheniya 11.07.2017) (in Russian).

20. **World Wide Trends in Energy Use and Efficiency. Key Insights from IEA Indicator Analysis.** Paris: IEA/OECD, 2008.

21. **Gal'perova E.V.** Energopotreblenie Naseleniya i Sfery Uslug Rossii na Fone Mirovyh Tendentsiy. Problemy Prognozirovaniya. 2011;3:93—99. (in Russian).

22. **European Energy and Transport — Trends to 2030.** European Communities. Belgium, 2008.

23. **Federal'nyy Portal Protown.** Vliyanie Energetiki na Dohody Naseleniya i Krizis 2008 g. [Elektron. Resurs] <http://www.protown.ru/information/hide/7930.html> (Data Obrashcheniya 01.06.2017) (in Russian).

---

#### Сведения об авторах

---

**Гашо Евгений Геннадьевич** — кандидат технических наук, доцент кафедры промышленных теплоэнергетических систем НИУ «МЭИ», e-mail: 290461@bk.ru

**Гужов Сергей Вадимович** — кандидат технических наук, доцент кафедры теплообменных процессов и установок, зам. начальника отдела энергоменеджмента НИУ «МЭИ», e-mail: GuzhovSV@yandex.ru

**Постельник Михаил Иванович** — стажер научно-технического инновационного центра энергосберегающих технологий и техники НИУ «МЭИ», e-mail: postelnik@bsu.edu.ru

---

#### Information about authors

---

**Gasho Evgeniy G.** — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor of Industrial Heat Engineering Systems Dept., NRU MPEI, e-mail: 290461@bk.ru

**Guzhov Sergey V.** — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor of Heat-and-Mass Exchange Processes and Installations Dept., Deputy Chief of the Energomanagement Dept. NRU MPEI, e-mail: GuzhovSV@yandex.ru

**Postel'nik Mikhail I.** — Intern of Scientific-Technological Innovation Center of Energy Saving Technologies, NRU MPEI, e-mail: postelnik@bsu.edu.ru

*Статья поступила в редакцию 02.12.2016*