

Управление спросом на электропотребление на мезоуровне по показателям волатильности

И.А. Соловьева¹, А.П. Дзюба²

¹ ФГАОУВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, Российская Федерация

² ООО «Газэнергообит», г. Челябинск, Российская Федерация
E-mail: solovevaia@susu.ru, dzyuba-a@yandex.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: В настоящее время уровень волатильности спроса на электропотребление на уровне ЕЭС России оценивается как крайне высокий, что приводит к увеличению стоимости электроэнергии для всех потребителей энергосистемы. Несмотря на значительный экономический эффект, получаемый от выравнивания спроса на электропотребление на уровне ЕЭС России, и одновременно высокую актуальность вопроса снижения стоимости электроэнергии на уровне экономики страны в целом, в механизмах оптового и розничного рынков электроэнергии России до сих пор отсутствуют инструменты, направленные на выравнивание спроса на электропотребление. Анализ исследований российских ученых, посвященных этому вопросу, позволяет констатировать, что основное внимание в них уделяется вопросам оценки эффективности системы управления спросом, а не задачам и сложностям практического внедрения инструментов управления спросом. Вместе с тем среди российских исследований недостаточное внимание уделяется оценке и анализу параметров и волатильности спроса на электропотребление на мезоуровне, что, по нашему мнению, должно являться отправной точкой в разработке и внедрении системы управления спросом на электропотребление в России. Таким образом, представляется актуальным провести оценку и анализ параметров волатильности спроса на мезоуровне с последующей разработкой рекомендаций по управлению спросом для схожих региональных групп.

Материалы и методы: Используются характеристики почасового спроса на электропотребление в России на мезоуровне. Результаты обработаны методами анализа и синтеза, статистическими методами вариационного и корреляционно-регрессионного анализа, экономико-математическими методами анализа данных.

Результаты: Проведено исследование параметров спроса на электропотребление на мезоуровне. Предложен ряд авторских показателей для оценки и анализа спроса на электропотребление – коэффициент волатильности годовой нагрузки, коэффициент заполнения суточного графика нагрузки, позволяющие получить комплексную картину волатильности спроса на электропотребление в рамках различных временных периодов. Дан анализ факторов, влияющих на волатильность спроса на электропотребление на мезоуровне, и выявлены наиболее значимые из них. Разработана карта регионального спроса на электропотребление в России и произведена группировка регионов по уровню волатильности спроса на электропотребление. Для каждой из выявленных групп регионов разработаны рекомендации по управлению спросом с учетом выявленных особенностей, направленные на снижение уровня волатильности и, как следствие, снижение затрат на содержание и обслуживание энергосистемы.

Выводы: Полученные результаты исследования имеют высокую теоретическую и практическую значимость, проявляющуюся в возможности их использования при разработке и реализации управленческих решений в области управления спросом на электропотребление как на мезоуровне, так и на уровне страны в целом в целях сокращения объемов электропотребления и повышения эффективности использования энергетических ресурсов.

Ключевые слова: электроэнергетика, электропотребление, управление спросом, энергоэффективность, энергозатраты, мезоуровень, показатели волатильности.

Electricity demand management at the meso-level by volatility parameters

I.A. Solovyova¹, A.P. Dzyuba²

¹South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russian Federation

²ООО «Газэнергообит», Chelyabinsk, Russian Federation
E-mail: dubskih@mail.ru, dzyuba-a@yandex.ru

Abstract

Background: The current level of electricity use demand volatility at the level of the Unified National Power Grid of Russia is estimated as very high, which raises the cost of electricity for all consumers of the power system. Despite the significant economic effect derived from the alignment of the electricity use demand at the level of the Unified National Power Grid of Russia and simultaneously the highest relevance of the question of reducing the electricity cost at the level of the country economy as a whole, there are still no tools for electricity use demand alignment in wholesale and retail electricity markets mechanisms. Our analysis of Russian scientists' studies of this problem allows us to make a conclusion that their main attention is given to evaluating the efficiency of demand management but not to the problems and complexities of practical implementation of demand management tools. At the same time, they largely ignore the questions of evaluation and analysis of electricity use demand volatility at the meso-level, which, in our opinion, should be the starting point in developing and implementing a system of electricity use demand management in Russia. That is why it

seems quite important to evaluate and analyse demand volatility parameters at the meso-level with subsequent development of recommendations for demand management in similar regional groups.

Materials and methods: We used the characteristics of the hourly electricity use demand at the meso-level in Russia. The results were processed by analysis and synthesis methods, statistical methods of variation, and correlation and regression analysis, economic and mathematical methods of data analysis.

Results: Parameters of the electricity use demand were studied at the meso-level. The authors suggested new indicators for the assessment and analysis of electricity demand: annual load volatility coefficient, daily load factor providing a comprehensive picture of the electricity demand volatility within different time periods. This paper analyzes the factors influencing electricity demand volatility at the meso-level, and identifies the most significant of them. Based on the results of the study, the authors developed a map of the regional electricity demand in Russia and grouped the regions by the electricity demand volatility level. For each of the identified groups of regions they developed recommendations for demand management taking into account the identified features aiming to reduce the volatility level and, as a result, to lower the power system care and maintenance costs.

Conclusions: The obtained results are of high theoretical and practical significance, which is manifested in the possibility of their use in the development and implementation of management decisions in the electricity use demand management both at the meso-level and at the level of the country as a whole with the aim of reducing the electricity consumption and increasing the efficiency of energy resource use.

Key words: power industry, electricity consumption, demand management, energy efficiency, energy use, meso-level, volatility indices.

DOI:10.17588/2072-2672.2017.1.076-086

Введение. Одним из ключевых направлений развития экономик всех передовых стран мира является внедрение и развитие технологий энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Целью энергосбережения является снижение затрат на потребление энергетических ресурсов, цены на которые в последнее десятилетие демонстрируют динамику постоянного роста. Традиционно наибольшую долю в балансе потребления энергетических ресурсов составляет электрическая энергия, которая является универсальным энергоносителем и применяется во всех сферах человеческой деятельности. Стоимость электрической энергии содержится в каждой единице продукции, производимой любым промышленным предприятием, следовательно, сокращение затрат на потребление электрической энергии позволяет сократить себестоимость производства и выйти на качественно новый уровень работы. В связи с этим задача повышения энергетической эффективности потребления электрической энергии в последние два десятилетия приобрела высокую значимость на всех уровнях (макро, мезо и микро) [1, 2].

Среди многообразия существующих направлений энергосбережения и повышения энергетической эффективности особое место занимает технология выравнивания графиков нагрузки электропотребления. Неравномерность нагрузки электропотребления приводит к необходимости содержания значительных резервов избыточных генерирующих и электросетевых мощностей, что, в свою очередь, влияет на существенное увеличение затрат на электроснабжение на уровне ЕЭС, а следовательно, и завышение тарифов на электроэнергию для всех потребителей энергосистемы.

Актуальность направления исследования. Направление исследований в области комплексного выравнивания графиков спроса

на электропотребление в мировой научной практике получило название «Управление спросом на электропотребление» (Demand side management (DSM)) [3, 4]. Управление спросом на электропотребление – это инициативная форма экономического взаимодействия субъектов электроэнергетики с конечными потребителями электрической энергии, обеспечивающая взаимовыгодное, экономически эффективное регулирование объемов и режимов электропотребления [5].

Исследование и внедрение механизмов управления спросом на электропотребление находит место в программах развития электроэнергетики многих стран мира: США, Канады, стран ЕС, Австралии, Бразилии и др.

В рамках энергетических рынков России для внедрения механизмов управления спросом на электропотребление делаются лишь первые шаги [6]. Однако эффект от управления спросом на электропотребление для экономики России может быть колоссальным. Применительно к задаче управления спросом на электропотребление, особенностью экономики России является глубокая регионализация, выраженная в большом количестве регионов с индивидуальными экономическими особенностями, что отражается на величине и структуре спроса на электропотребление каждого из 85 регионов. Указанные особенности обуславливают необходимость в индивидуальном подходе к решению задач управления спросом в каждом регионе.

Цель настоящего исследования – проведение анализа параметров волатильности спроса на электропотребление в России на мезоуровне с последующей разработкой рекомендаций по управлению спросом для схожих региональных групп.

В соответствии с целью поставлены и решены следующие задачи: разработаны показатели для оценки и анализа спроса на электропо-

требление; исследованы параметры спроса на электропотребление на мезоуровне для различных временных периодов (год, сутки); выявлены и проанализированы факторы, влияющие на волатильность спроса на электропотребление на мезоуровне; разработана карта электроемкости России; произведена группировка регионов по уровню волатильности спроса на электропотребление; для каждой из выявленных групп разработаны рекомендации по управлению спросом с учетом выявленных особенностей.

В России спрос на электропотребление характеризуется высокой волатильностью, которая наблюдается на различных интервалах и периодах. Так, например, годовое отклонение спроса на электропотребление между зимним месяцем (февралем) и летним месяцем (июлем) на уровне ЕЭС составляет 34 ГВт или 33 %. А внутрисуточные изменения почасового спроса на электропотребление типового рабочего дня на уровне ЕЭС составляют 26 ГВт или 22 % [7]. Указанные показатели волатильности спроса на электропотребление приводят к существенному завышению затрат на обеспечение технологических процессов всей энергетической системы. По приблизительным оценкам, величина затрат ЕЭС России, связанных с неравномерностью графиков электропотребления, измеряется в триллионах рублей. Все эти затраты ложатся на конечных потребителей электроэнергии, прежде всего на реальный сектор [8, 9].

Процесс волатильности спроса на электропотребление в России обусловлен рядом региональных и страновых особенностей (табл. 1).

Таблица 1. Особенности (факторы) волатильности на уровне регионов и ЕЭС в целом

Факторы, оказывающие влияние на волатильность на уровне ЕЭС	Факторы, оказывающие влияние на волатильность на уровне регионов
<ul style="list-style-type: none"> ✓ циклический характер жизнедеятельности промышленных предприятий и домашних хозяйств ✓ изменение продолжительности светового дня и температуры воздуха в процессе смены сезонов ✓ функционирование в рамках ЕЭС в едином режиме большого количества потребителей электроэнергии, количество которых может достигать нескольких миллионов единиц ✓ функционирование в едином режиме ЕЭС потребителей различного типа с индивидуальными графиками электрических нагрузок ✓ функционирование территории страны в рамках 11 часовых зон, что дает возможность перетоков электроэнергии между территориями 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ большое количество регионов ✓ высокая дифференциация регионов по структуре и специализации региональной экономики ✓ различия в климатогеографических условиях функционирования регионов; ✓ различия в уровне экономического развития региональных экономик ✓ различия в масштабе региональных экономик ✓ различия в уровне развития энергетической инфраструктуры регионов

С нашей точки зрения, на основании приведенных особенностей можно сделать вывод,

что наиболее эффективным уровнем для управления спросом на электропотребление в России является мезоуровень и процесс управления спросом на уровне экономики страны должен быть дифференцированным и учитывать региональные особенности [10].

Методика исследования. В целях выявления зон и резервов управления спросом на мезоуровне было проведено исследование параметров волатильности спроса на электропотребление на уровне регионов России. В анализе использовались данные почасового электропотребления 65 субъектов, входящих в состав ценовых зон оптового рынка электроэнергии России. Ограничение перечня регионов вызвано тем, что в информационных источниках отсутствуют данные о фактическом почасовом потреблении регионов, не входящих в ценовые зоны оптового рынка электроэнергии.

Регионы России имеют существенные взаимные различия по характеристикам как годовой, так и внутрисуточной волатильности.

Коэффициент волатильности годовой нагрузки. Степень годовой волатильности электропотребления регионов можно оценивать при помощи показателя «Коэффициент волатильности годовых нагрузок»:

$$K_{\text{Вол}} = \frac{\bar{P}_{\text{min } 10\%}}{\bar{P}_{\text{max } 10\%}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{Вол}}$ – коэффициент волатильности годовой нагрузки; $\bar{P}_{\text{min } 10\%}$ – средняя мощность в интервале 10 % часов минимальной годовой нагрузки; $\bar{P}_{\text{max } 10\%}$ – средняя мощность в интервале 10 % часов максимальной годовой нагрузки.

Коэффициент волатильности годовой нагрузки может принимать значения от 0 до 1. Приближение значения показателя к 0 свидетельствует о высокой волатильности графика годового спроса на электропотребление, и наоборот.

На рис. 1 представлена диаграмма коэффициентов волатильности годовой нагрузки регионов за 2014 год. Анализ диаграммы показывает, что показатели годовой волатильности электропотребления по регионам имеют существенную дифференциацию.

В табл. 2 представлены результаты анализа влияния различных факторов на коэффициент волатильности годовой нагрузки в региональном разрезе. В качестве факторных признаков были взяты показатели среднемесячной температуры воздуха в каждом регионе для января и июля 2014 г., доли электропотребления промышленностью, населением, а также общий объем потребления электроэнергии в регионе.

Как показал анализ, на коэффициент волатильности годовой нагрузки существенное влияние оказывает фактор структуры электропотребления в регионе.

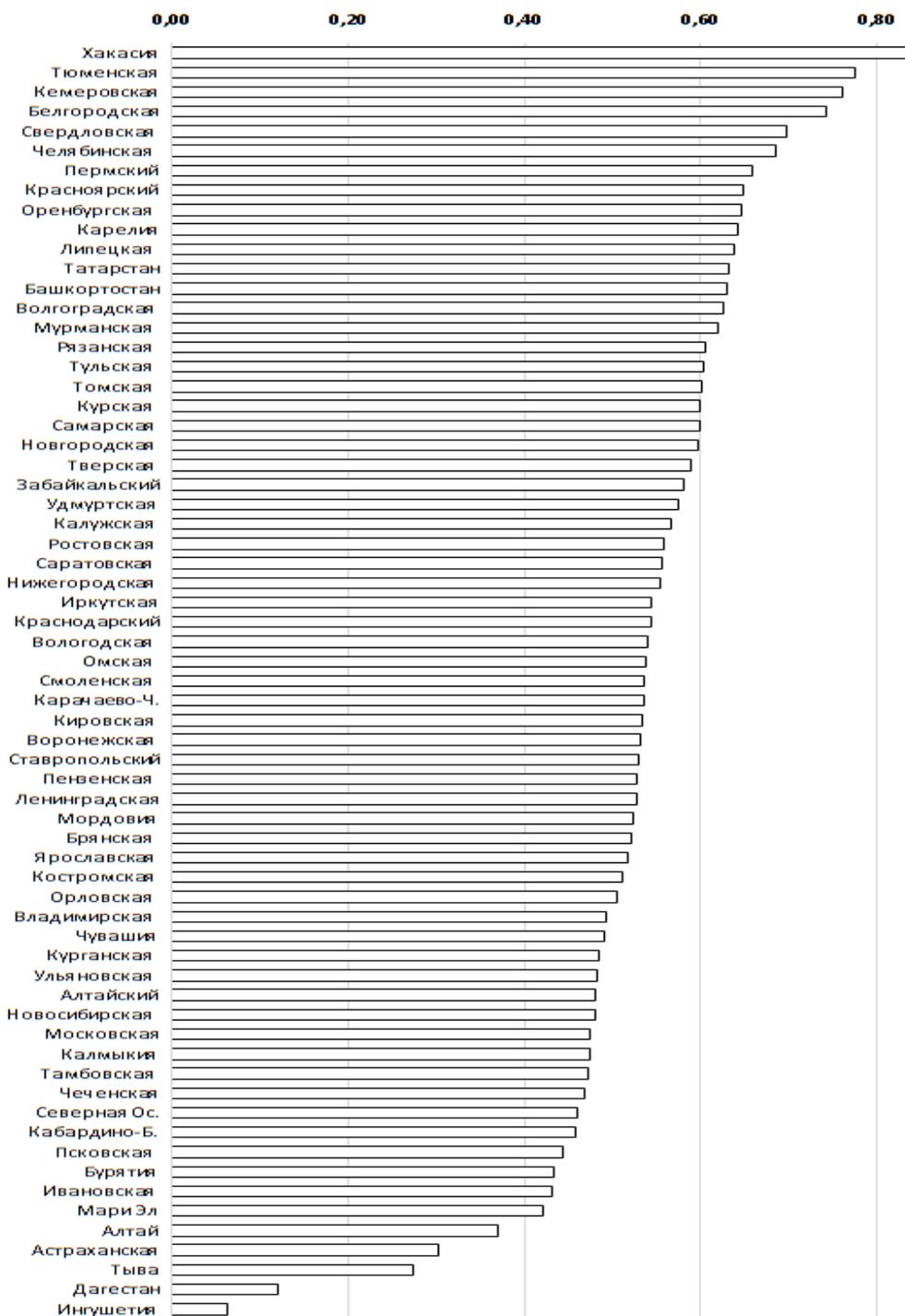


Рис. 1. Диаграмма коэффициентов волатильности годовой нагрузки регионов за 2014 год

Таблица 2. Анализ влияния различных факторов на коэффициент продолжительности годовых графиков нагрузки регионов

Показатели	Среднемесячная температура января 2014 г.	Среднемесячная температура июля 2014 г.	Размах температур между январем и июлем 2014 г.	Доля электропотребления промышленностью в регионе, %	Доля электропотребления населением в регионе, %	Общий объем потребления электроэнергии регионом
Коэффициент рангов Спирмена						
Коэффициенты волатильности годовой нагрузки регионов	0,315	0,298	-0,252	-0,822	0,757	-0,703

Коэффициент рангов Спирмена для фактора «Доля электропотребления промышленностью в регионе» имеет значение $-0,822$, что свидетельствует о тесной обратной связи, т. е. возрастание доли электропотребления промышленностью в регионе снижает уровень волатильности годового спроса в регионе [11]. Также тесная связь коэффициента волатильности годовой нагрузки наблюдается с показателями «Доля электропотребления населением в регионе» и «Общий объем электропотребления региона». Однако данные показатели тесно связаны с долей электропотребления промышленностью, и, учитывая их мультиколлинеарность, для дальнейшего анализа и построения модели управления нами был взят только показатель «Доля электропотребления промышленностью». Графическая интерпретация коэффициента волатильности годовых нагрузок и доли электропотребления промышленностью в регионах представлена на рис. 2.

Так как в структуре регионального электропотребления двумя основными группами потребителей являются промышленность и население, то если увеличение доли электропотребления промышленностью снижает волатильность спроса, то увеличение доли электропотребления населением, наоборот, приводит к возрастанию волатильности.

Коэффициент заполнения суточного графика нагрузки. Степень волатильности почасового суточного графика электропотребления регионов можно оценить при помощи показателя «Коэффициент заполнения суточного графика нагрузки» [12]:

$$K_{\text{Заполнения}} = \frac{\bar{P}_{\text{сутки}}}{P_{\text{maxсутки}}}, \quad (2)$$

где $K_{\text{Заполнения}}$ – коэффициент заполнения суточного графика нагрузки; $\bar{P}_{\text{сутки}}$ – среднечасовая мощность за исследуемые сутки; $P_{\text{maxсутки}}$ – максимальная часовая мощность за исследуемые сутки.

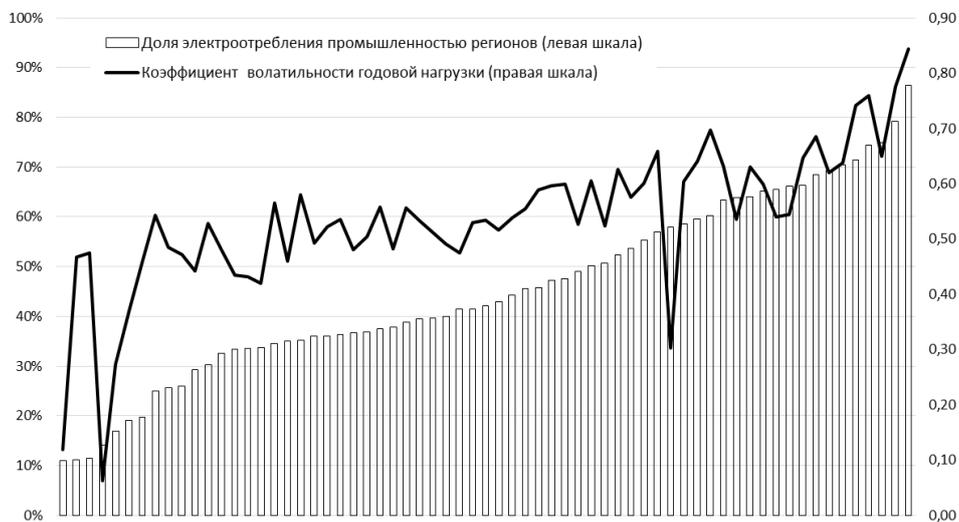


Рис. 2. Сравнение региональных показателей коэффициентов волатильности годовых нагрузок и показателей доли электропотребления промышленностью в регионе

Коэффициент может меняться в диапазоне от 0 до 1. Чем выше показатель приближен к значению 1, тем меньше волатильность спроса.

Для анализа коэффициента заполнения суточного графика нагрузки были использованы характеристики суточного спроса в типовые дни (18 июня и 17 декабря 2014 г.). Дни, относящиеся к разным годовым сезонам, исследовались для выявления изменений структуры суточного спроса внутри календарного года.

На рис. 3 представлена диаграмма коэффициентов заполнения суточных графиков нагрузки исследуемых регионов.

Регионы России неоднородны по значению показателя «Коэффициент заполнения суточного графика нагрузки», о чем свидетельствует высокая вариация показателя по регионам. В табл. 3 приведены результаты выявления факторов, определяющих высокую волатильность регионального спроса на электропотребление в рамках суточного временного интервала.

Анализ показал, что суточная волатильность спроса, как и годовая, определяется в первую очередь структурой электропотребления в регионе, о чем свидетельствуют высокие значения коэффициента рангов Спирмена. Как и в случае с исследованием коэффициента волатильности годовой нагрузки, на увеличение показателей суточной волатильности почасового графика электропотребления оказывает прямое влияние рост доли электропотребления населением в регионе.

Показатели вариации. Однако, учитывая также тесную связь показателей волатильности спроса от общего объема электропотребления региона и высокое различие регионов по объемам электропотребления (различия могут достигать более чем 200 раз), в целях исследования волатильности регионального спроса на электропотребление требуется учитывать не только относительные показатели вариации, но и абсолютные.

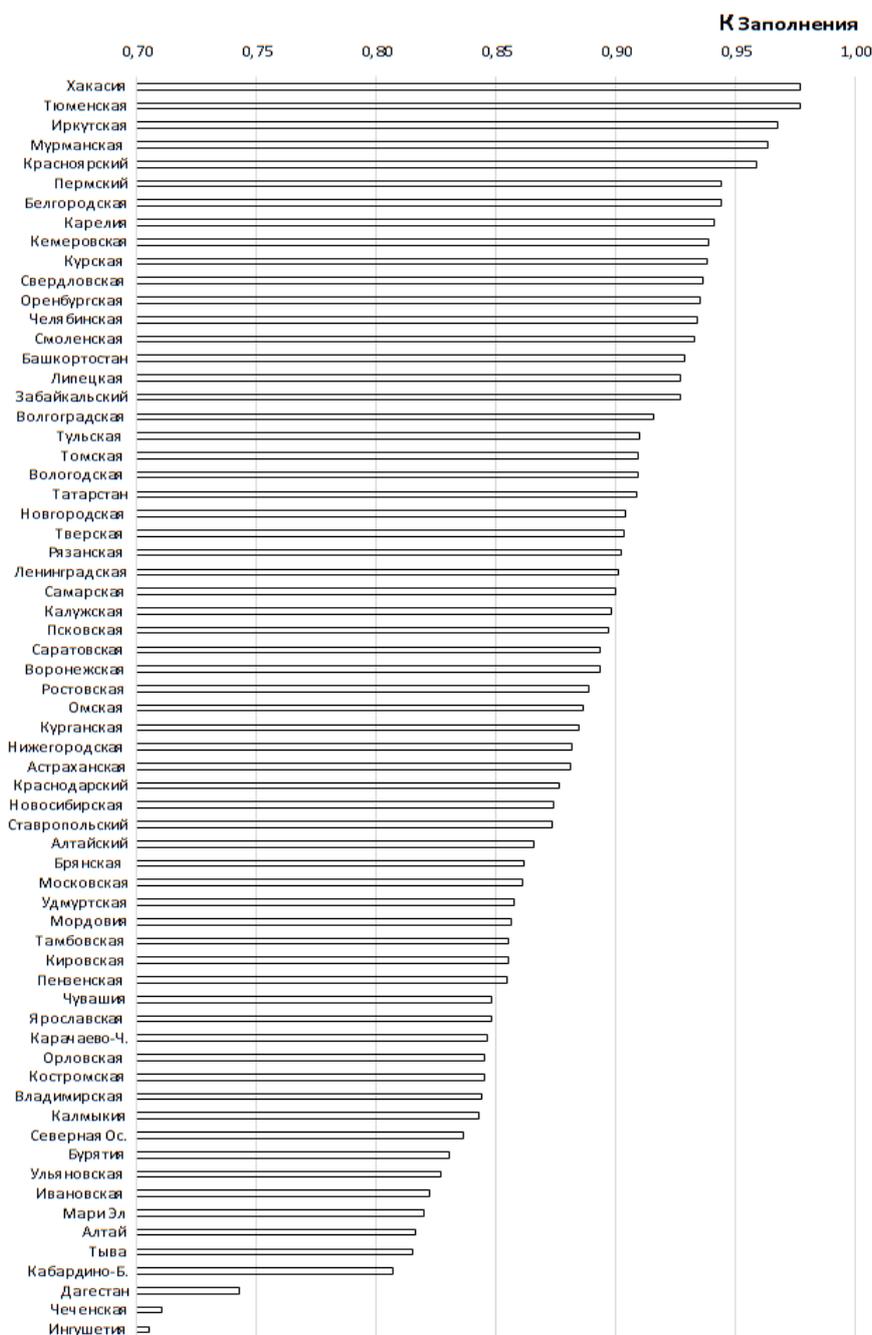


Рис. 3. Диаграмма коэффициентов заполнения суточных графиков нагрузок регионов России в рабочий день 18 июня 2014 года

Таблица 3. Анализ влияния различных факторов на коэффициент заполнения почасового суточного графика электрической нагрузки регионов

Показатели	Среднемесячная температура января 2014 г.	Среднемесячная температура июля 2014 г.	Размах вариаций температур между январем и июлем 2014 г.	Доля электропотребления промышленностью в регионе, %	Доля электропотребления населением в регионе, %	Общий объем потребления электроэнергии регионом
Коэффициент рангов Спирмена						
Коэффициенты заполнения почасовых суточных графиков нагрузки регионов июня 2014 года	-0,353	-0,298	0,341	0,843	-0,748	0,714
Коэффициенты заполнения почасовых суточных графиков нагрузки регионов декабря 2014 года	-0,369	-0,337	0,293	0,796	-0,689	0,639

Расчет величин абсолютного изменения спроса, с нашей точки зрения, можно производить на основе показателей «Размах вариации годового графика изменения спроса региона» и «Размах вариации суточного графика изменения спроса региона»:

$$R_{\text{Год}} = \bar{P}_{\text{max } 10\%} - \bar{P}_{\text{min } 10\%}, \quad (3)$$

$$R_{\text{Сутки}} = P_{\text{max}_{\text{сутки}}} - P_{\text{min}_{\text{сутки}}}, \quad (4)$$

где $R_{\text{Год}}$ – размах вариации годового графика изменения спроса региона; $R_{\text{Сутки}}$ – размах вариации годового графика изменения спроса региона; $P_{\text{min}_{\text{сутки}}}$ – минимальная часовая мощность за исследуемые сутки.

Результаты расчетов. Для анализа регионов одновременно по показателям абсолютной и относительной волатильности спроса на электропотребление нами разработана и построена карта регионального спроса на электропотребление в России (рис. 4).

По оси абсцисс регионы разделяются по показателю «Коэффициент волатильности годовой нагрузки региона», который отражает степень относительной волатильности регионального спроса на электропотребление. По оси ординат регионы разделены по показателю «Размах вариации годового графика спроса на электропотребление региона», который отражает величину абсолютной волатильности регионального спроса на электропотребление. Площадь круга соответствует показателю среднегодовой доли электропотребления промышленностью в регионе.

Анализ карты спроса показывает, что наблюдается обратная связь между показателями абсолютной и относительной волатильности спроса на электропотребление на мезоуровне. Чем выше относительная волатильность спроса в регионе, тем ниже объем его изменения в абсолютном выражении.

Полученная зависимость позволила выполнить разделение регионов по сходным характеристикам волатильности спроса на 3 группы:

Группа 1 – регионы с высоким уровнем относительных показателей волатильности спроса на электропотребление и низким объемом абсолютного изменения спроса.

Группа 2 – регионы со средним уровнем относительных показателей волатильности спроса на электропотребление и средним объемом абсолютного изменения спроса.

Группа 3 – регионы с низким уровнем относительных показателей волатильности спроса на электропотребление и высоким объемом абсолютного изменения спроса.

Распределение регионов на группы по уровню волатильности наглядно представлено в табл. 4.

Сводные характеристики волатильности для каждой группы приведены в табл. 5.

Анализ данных (табл. 5) показывает, что, несмотря на то, что регионы 1-й группы имеют самые высокие показатели относительного изменения как годового, так и суточного спроса на электропотребление, их вклад в абсолютное изменение спроса на электропотребление в масштабе ЕЭС России, наоборот, является самым низким (9 % годовой и 15 % суточный). И наоборот, регионы 3-й группы, имеющие самые низкие показатели относительного изменения спроса на электропотребление, вносят самый значительный вклад в абсолютное изменение спроса в масштабе ЕЭС России (62 % годовой и 44 % суточный). Регионы, входящие во 2 группу, характеризуются средним характером относительного изменения спроса на электропотребление и вносят средний вклад в абсолютное изменение спроса (29 % годовой и 41 % суточный).

Таблица 4. Матрица регионального спроса на электропотребление в России

№ группы	Регионы	$R_{\text{Год}}$, МВт	$K_{\text{Вол}}$
Группа 1	Брянская область, Ивановская область, Кабардино-Балкарская Республика, Карачаево-Черкесская Республика, Костромская область, Курганская область, Орловская область, Пензенская область, Псковская область, Республика Алтай, Республика Бурятия, Республика Дагестан, Республика Ингушетия, Республика Калмыкия, Республика Мари Эл, Республика Северная Осетия-Алания, Республика Тыва, Тамбовская область, Чеченская Республика, Чувашская Республика-Чувашия	41–495	0,063–0,535
Группа 2	Алтайский край, Астраханская область, Белгородская область, Владимирская область, Волгоградская область, Вологодская область, Воронежская область, Забайкальский край, Калужская область, Кировская область, Курская область, Липецкая область, Мурманская область, Новгородская область, Омская область, Оренбургская область, Республика Карелия, Республика Мордовия, Республика Хакасия, Рязанская область, Саратовская область, Смоленская область, Ставропольский край, Тверская область, Томская область, Тульская область, Удмуртская Республика, Ульяновская область, Ярославская область	213–832	0,303–0,843
Группа 3	Иркутская область, Кемеровская область, Краснодарский край, Красноярский край, Ленинградская область, Московская область, Нижегородская область, Новосибирская область, Пермский край, Республика Башкортостан, Республика Татарстан, Ростовская область, Самарская область, Свердловская область, Тюменская область, Челябинская область	886–7 995	0,475–0,775

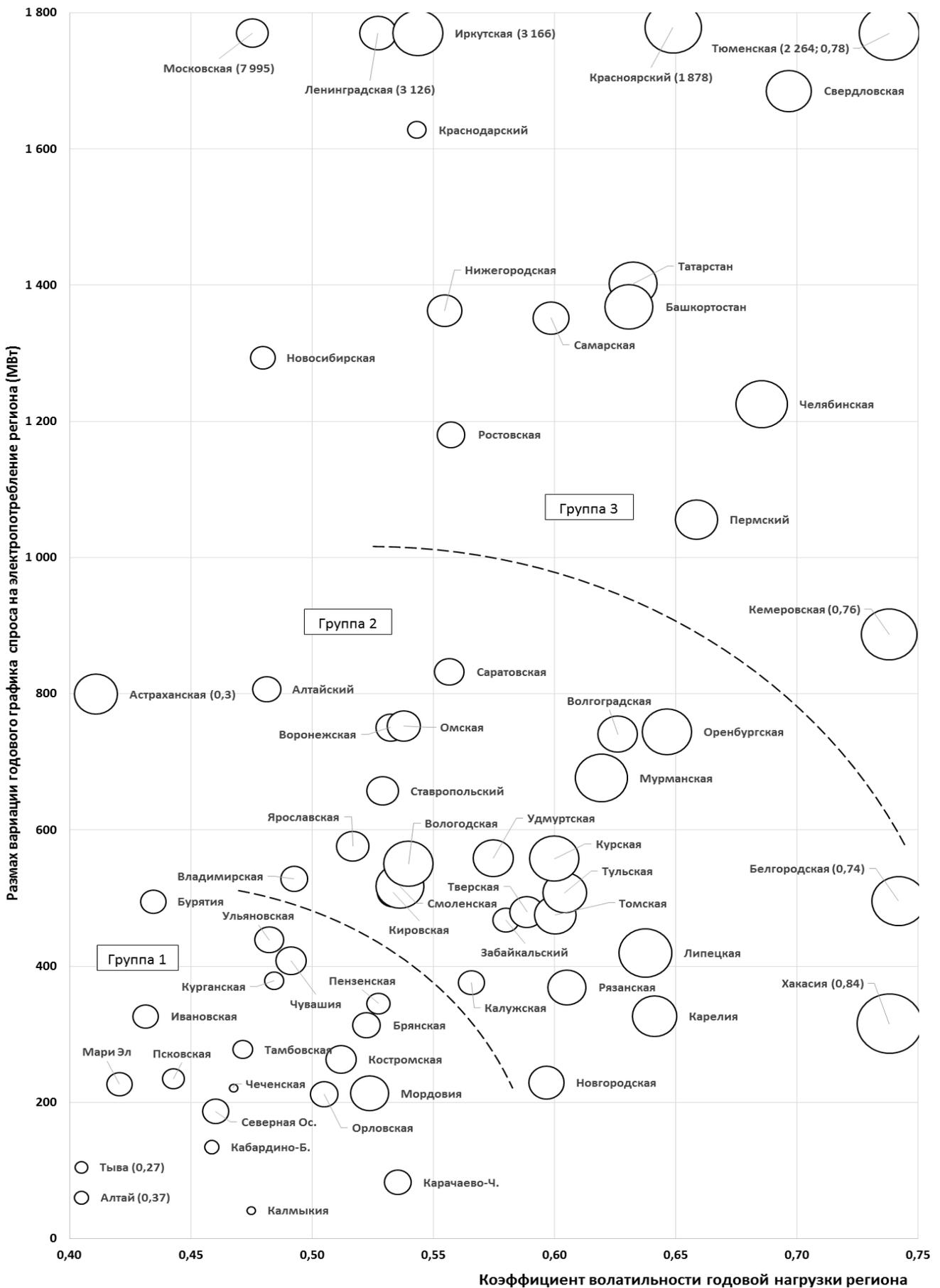


Рис. 4. Карта регионального спроса на электропотребление в России (площадь круга соответствует показателю среднегодовой доли электропотребления промышленностью в регионе)

Таблица 5. Характеристики групп, выделенных на карте регионального спроса на электропотребление в России

№ п/п	Наименование показателя	Группа 1	Группа 2	Группа 3
1	Количество регионов	20	29	16
2	Средняя величина коэффициента заполнения суточного графика в группе	0,84	0,89	0,93
3	Средняя величина коэффициента волатильности годовой нагрузки	0,42	0,57	0,61
4	Суммарная величина годового размаха вариации в МВт	4 712	15 672	32 870
5	Суммарная величина суточного размаха вариации в МВт	2 466	6 636	7 154
6	Доля в суммарном годовом размахе вариации в %	9%	29%	62%
7	Доля в суммарном суточном размахе вариации в %	15%	41%	44%
8	Доля суммарного электропотребления группы из исследуемой выборки	12%	38%	50%
9	Средняя доля электропотребления промышленностью	27%	49%	59%

Несмотря на то, что группа 1 включает всего 12 % объема электропотребления РФ, в нее входит 20 регионов. Группа 2 потребляет 38 %, при этом в нее входит 29 регионов. Группа 3 потребляет 50 %, при этом состоит всего из 16 регионов. Также доли электропотребления промышленностью, показанные на карте регионального спроса на электропотребление, еще раз демонстрируют наличие прямой зависимости между показателями абсолютного изменения спроса на электропотребление и долей электропотребления промышленностью в регионе.

Для наглядного отображения отличий каждой из выявленных групп регионов на рис. 5, 6 проиллюстрированы интегральные годовые графики продолжительности электрических нагрузок и интегральные почасовые графики спроса на электропотребление.

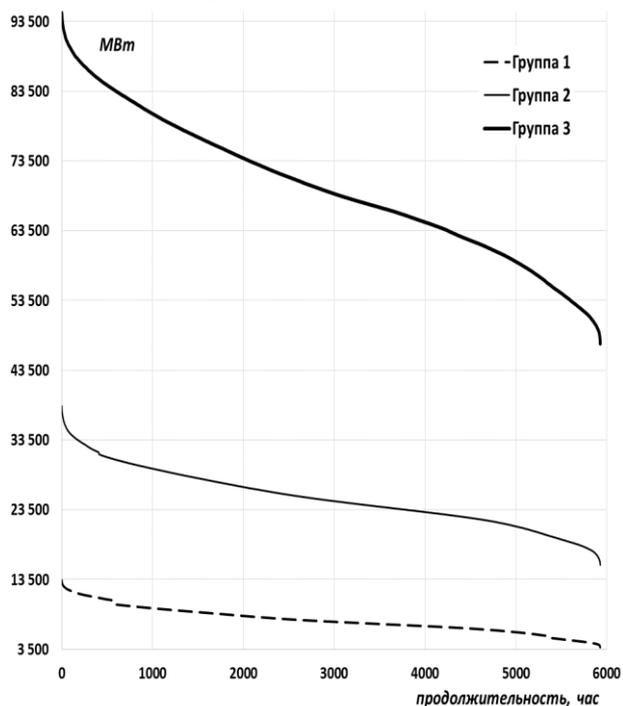


Рис. 5. Интегральные годовые графики продолжительности электрических нагрузок выявленных групп регионов

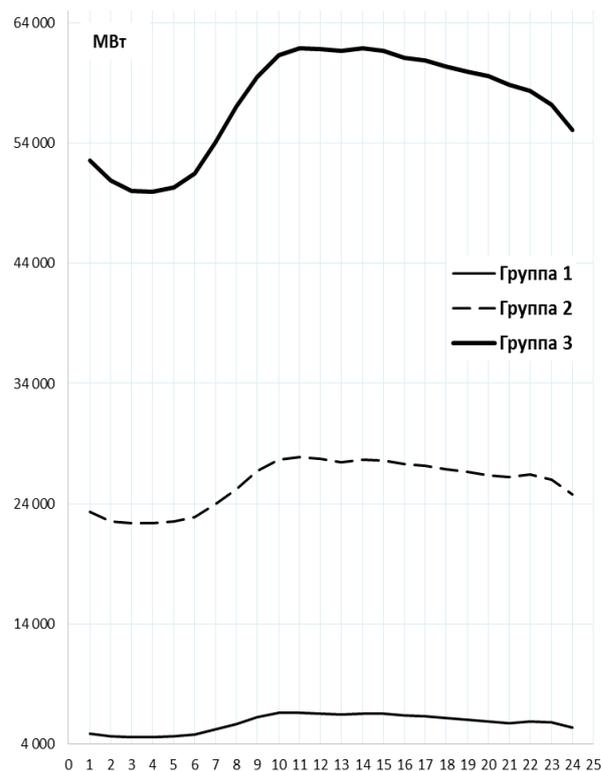


Рис. 6. Интегральные почасовые графики спроса на электропотребление выявленных групп регионов

Выводы. Полученные результаты анализа позволяют сформулировать ряд выводов и рекомендаций, существенных для управления спросом на электропотребление как на мезоуровне, так и на уровне страны в целом:

1. Спрос на электропотребление в России характеризуется высокой волатильностью. Периодами с наиболее явной волатильностью спроса на электропотребление являются год и сутки.

2. Учитывая глубокую регионализацию экономики России, а также особенности и высокую специфичность экономики каждого региона, наиболее эффективным уровнем для управления спросом на электропотребление в России является мезоуровень.

3. Параметры спроса на электропотребление в разных регионах России имеют суще-

ственную дифференциацию. В связи с этим инструменты и методы, применяемые для управления спросом на электропотребление для каждого региона, должны учитывать индивидуальные характеристики каждого.

4. Параметры изменения спроса прежде всего зависят от структуры регионального электропотребления. Чем ниже доля электропотребления промышленностью, тем выше волатильность как годового, так и суточного графиков электропотребления в регионе.

5. Регионы, имеющие высокие показатели относительной волатильности спроса на электропотребление из-за сравнительно небольшого объема электропотребления, вносят наименьший вклад в изменчивость спроса на уровне ЕЭС России. Регионы, имеющие низкие показатели относительной волатильности спроса на электропотребление из-за большого объема электропотребления, вносят наибольший вклад в изменчивость спроса на уровне ЕЭС России.

6. Управление спросом на электропотребление целесообразно осуществлять с учетом группировки регионов по показателям волатильности спроса на электропотребление. Так, с нашей точки зрения, мероприятия по сокращению спроса на электропотребление в первую очередь должны быть разработаны для регионов третьей группы.

7. Также при разработке рекомендаций по управлению спросом на электропотребление в регионе необходимо учитывать специфику и характеристики группы потребителей, на долю которой приходится основной объем потребляемых энергетических ресурсов.

Практическая значимость проведенного исследования заключается в возможности использования полученных выводов и предложенных показателей для оценки и анализа спроса на мезоуровне. Использование результатов такого анализа при разработке управленческих решений в области управления спросом на мезоуровне будет способствовать повышению эффективности принимаемых управленческих решений и росту энергоэффективности России как на мезо-, так и на макроуровне.

Список литературы

1. Карякин А.М., Байтов А.В. Типология рыночных преобразований в электроэнергетике // Научные труды вольного экономического общества России. – 2010. – С. 265–276.
2. Гительман Л.Д., Ратников Б.Е. Экономика и бизнес в электроэнергетике: междисциплинарный учебник. – М.: Экономика, 2013. – 432 с.
3. Optimal control of a regional power microgrid network driven by wind and solar energy / H. Dagdougui, R. Minciardi, A. Ouammi, R. Sacile // Proc. IEEE Int. Systems Conference. – Montreal, Quebec, Canada, Apr. 2011. – P. 86–90.
4. Chiu W., Sun H., Poor H.V. Energy Imbalance Management Using a Robust Pricing Scheme / Article (PDF Available) // IEEE Transactions on Smart Grid PP(99): 1–9. December 2012 with 171 Reads. URL: <https://www.researchgate.net/publication/>

233398050_Energy_Imbalance_Management_Using_a_Robust_Pricing_Scheme

5. Управление спросом на энергию. Уникальная инновация для российской электроэнергетики / Л.Д. Гительман, Б.Е. Ратников, М.В. Кожевников, Ю.П. Шевелев. – Екатеринбург, 2013. – 120 с.

6. Гительман Л.Д., Ратников Б.Е., Кожевников М.В. Управление спросом на электроэнергию: адаптация зарубежного опыта в России // Эффективное антикризисное управление. – 2013. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://info.e-c-m.ru/magazine/76/eau_76_207.htm.

7. Баев И.А., Соловьева И.А., Дзюба А.П. Эффективность управления затратами на покупку электроэнергии промышленным предприятием // Экономика, управление и инвестиции. – 2014. – № 2(4). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://euii-journal.ru/24-43>.

8. Байтов А.В., Великороссов В.В., Карякин А.М. Энергетическая безопасность России в условиях рыночных отношений в электроэнергетике. – М.: Книжный мир, 2012. – 223 с.

9. Баев И.А., Соловьева И.А., Дзюба А.П. Актуальные задачи внедрения системы управления спросом на электропотребление в России // Вестник науки Сибири. – 2015. – № 4(19). – С. 116–129. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25580815>

10. Дзюба А.П., Соловьева И.А. Исследование инструментов управления спросом на электропотребление в рамках оптового и розничного рынков электроэнергии России // Экономика, предпринимательство и право. – 2016. – Т. 6, № 2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bgscience.ru/lib/35309/>

11. Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики. – 4-е изд., перераб. и доп. – М., 2000. – 480 с.

12. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий: учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.

References

1. Karyakin, A.M., Baitov, A.V. Tipologiya rynochnykh preobrazovaniy v elektroenergetike [Typology of market transformations in power industry]. *Nauchnye trudy vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii*, 2010, pp. 265–276.
2. Gitelman, L.D., Ratnikov, B.E. *Ekonomika i biznes v elektroenergetike* [Economy and business in power industry: an interdisciplinary study guide]. Moscow, Ekonomika, 2013. 432 p.
3. Dagdougui, H., Minciardi, R., Ouammi, A., Sacile, R. Optimal control of a regional power microgrid network driven by wind and solar energy. Proc. IEEE Int. Systems Conference. Montreal, Quebec, Canada, Apr. 2011, pp. 86–90.
4. Chiu, W., Sun, H., Poor, H.V. Energy Imbalance Management Using a Robust Pricing Scheme. IEEE Transactions on Smart Grid PP(99): 1–9. December 2012 with 171 Reads. Available at: https://www.researchgate.net/publication/233398050_Energy_Imbalance_Management_Using_a_Robust_Pricing_Scheme
5. Gitelman, L.D., Ratnikov, B.E., Kozhevnikov, M.V., Shevelev, Yu.P. *Upravlenie sprosom na energiyu. Unikal'naya innovatsiya dlya rossiyskoy elektroenergetiki* [Energy demand management. A unique innovation for the Russian power industry]. Ekaterinburg, 2013. 120 p.
6. Gitelman, L.D., Ratnikov, B.E., Kozhevnikov, M.V. Upravlenie sprosom na elektroenergiyu: adaptatsiya zarubezhnogo opyta v Rossii [Electricity demand management: adaptation of foreign experience in Russia]. *Effektivnoe antikrizisnoe upravlenie*, 2013. Available at: http://info.e-c-m.ru/magazine/76/eau_76_207.htm.
7. Bayev, I.A., Solovyova, I.A., Dzyuba, A.P. Effektivnost' upravleniya zatratami na pokupku elektroenergii promyshlennym predpriyatiem [Effective management of electric power purchase costs by an industrial enterprise]. *Ekonomika, upravlenie i investitsii*, 2014, no. 2(4). Available at: <http://euii-journal.ru/24-43>.
8. Baitov, A.V., Velikorossov, V.V., Karyakin, A.M. *Energeticheskaya bezopasnost' Rossii v usloviyakh rynochnykh otnosheniy v elektroenergetike* [Energy security of Russia in

conditions of market relations in power industry]. Moscow, Knizhnyy mir, 2012. 223 p.

9. Bayev, I.A., Solovyova, I.A., Dzyuba, A.P. Aktual'nye zadachi vnedreniya sistemy upravleniya sprosom na elektropotreblenie v Rossii [Urgent problems of implementing a system of electricity demand management in Russia]. *Vestnik nauki Sibiri*, 2015, no. 4(19), pp. 116–129. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25580815>

10. Dzyuba, A.P., Solovyova, I.A. Issledovanie instrumentov upravleniya sprosom na elektropotreblenie v ramkakh optovogo i roznichnogo rynkov elektroenergii Rossii [Research

into demand management tools for the wholesale and retail markets of electric power of Russia]. *Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo*, 2016, vol. 6, no. 2. Available at: <https://bgscience.ru/lib/35309/>

11. Eliseyeva, I.I., Yuzbashev, M.M. *Obshchaya teoriya statistiki* [General theory of statistics]. Moscow, 2000. 480 p.

12. Fedorov, A.A., Kameneva, V.V. *Osnovy elektrosnabzheniya promyshlennykh predpriyatiy* [Basics of industrial enterprise power supply: a university textbook]. Moscow, Energoatomizdat, 1984. 472 p.

Соловьева Ирина Александровна,

ФГАОУВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»,
кандидат экономических наук, доцент кафедры финансов, денежного обращения и кредита Высшей школы
экономики и управления,
e-mail: solovevaia@susu.ru

Solovyova Irina Aleksandrovna,

South Ural State University (National Research University),

Associate Professor of the Department of Finance, Money Circulation and Credit of the Higher School of Economics and
Management,

e-mail: solovevaia@susu.ru

Дзюба Анатолий Петрович,

ООО «Газэнергосбыт»,

исполнительный директор,

e-mail: dzyuba-a@yandex.ru

Dzyuba Anatoly Petrovich,

ООО «Gazenergosbyt»,

Executive Director,

e-mail: dzyuba-a@yandex.ru