

<https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2021-2-11>

УДК 338.53 + 332.1

JEL: I5, L9

А. П. Дзюба ^{а)}, И. А. Соловьева ^{б)}

^{а)} б) Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Российская Федерация

^{а)} <https://orcid.org/0000-0001-6319-1316>, e-mail: dziubaap@susu.ru

^{б)} <https://orcid.org/0000-0001-6730-0356>

Перспективы управления спросом на энергоресурсы в регионах России¹

Одной из ключевых составляющих современных программ повышения энергоэффективности экономик большинства индустриальных стран мира является внедрение технологий управления спросом на электропотребление. Отличительной особенностью энергопотребления России является высокая доля потребления природного газа, выравнивание волатильности спроса на который позволяет сократить затраты на энергоресурсы в промышленности. Все это подтверждает целесообразность и возможность выполнения комплексного управления спросом на электроэнергию и природный газ промышленных потребителей. При этом в каждом регионе России характеристики спроса на исследуемые энергоресурсы существенно различаются, что обуславливает дифференциацию регионов по уровню перспективности внедрения механизмов управления спросом, что и стало предметом настоящего исследования. В статье применяются методы статистического анализа, синтеза, математического моделирования и метод построения карт позиционирования. Исходными данными для исследования выступают параметры спроса на потребление электроэнергии и природного газа в регионах России в отраслевом разрезе. Основными результатами исследования являются предложенная методика ранжирования регионов по уровню перспективности внедрения комплексного управления спросом на энергоресурсы, в основу которой положена авторская система показателей, учитывающая уровень абсолютной и относительной плотности спроса региона на электроэнергию и природный газ, долю регионального электропотребления, приходящуюся на промышленность и долю природного газа, используемого для выработки электроэнергии в регионе. На основе анализа вышеперечисленных показателей, характеризующих неравномерность спроса региона на энергоресурсы, построены карты волатильности регионального спроса на электрическую энергию и природный газ и матрица определения уровня перспективности региона с точки зрения эффективности внедрения инструментов управления спросом. Разработанное методическое обеспечение может применяться в процессе разработки адресных региональных программ управления спросом на энергоресурсы на региональном и федеральном уровне.

Ключевые слова: управление спросом, энергетическая эффективность, региональная энергетика, региональное потребление электроэнергии, региональное потребление газа, плотность спроса на электроэнергию, плотность спроса на газ, комплексное управление спросом, карта волатильности регионального спроса, перспективность внедрения комплексного управления спросом, ранжирование регионов России

Благодарность

Статья выполнена при поддержке Правительства РФ (Постановление № 211 от 16.03.2013г.), соглашение № 02. А03.21.0011.

Для цитирования: Дзюба А. П., Соловьева И. А. Перспективы управления спросом на энергоресурсы в регионах России // Экономика региона. 2021. Т. 17, вып. 2. С. 502-519. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2021-2-11>

¹ ©Дзюба А. П., Соловьева И. А. Текст. 2021.

RESEARCH ARTICLE

Anatoly P. Dzyuba ^{a)}, Irina A. Solovyeva ^{b)}^{a)} b) South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation^{a)} <https://orcid.org/0000-0001-6319-1316>; e-mail: dzyuba-a@yandex.ru^{b)} <https://orcid.org/0000-0001-6730-0356>**Prospects for Energy Demand Management in Russian Regions**

In order to improve the energy efficiency in industrialised countries, energy demand management technologies are being introduced. In Russia, energy consumption is characterised by high natural gas usage. A decrease in demand volatility leads to the reduction of energy costs for industrial consumers. These factors indicate the feasibility of electricity and natural gas demand management. Simultaneously, Russian regions significantly differ in terms of the prospects for introducing integrated demand management. To examine the problem, we used statistical analysis, mathematical modelling and a method for constructing perceptual maps. Parameters of electricity and natural gas demand management in Russian regions were examined. As a result, we developed a methodology to assess the possibility of implementing energy demand management in various entities. This method is based on a system of indicators considering absolute and relative density of regions' electricity and natural gas demand, industrial energy consumption, and natural gas used to generate electricity. The analysis of the relevant indicators allowed us to construct energy demand volatility maps and a matrix indicating the effectiveness of proposed management tools. The research findings can be used when developing targeted programmes for energy demand management at the regional and federal levels.

Keywords: demand management, energy efficiency, regional energy, regional electricity consumption, regional gas consumption, electricity demand density, gas demand density, integrated demand management, regional demand volatility map, prospects for introducing integrated demand management, ranking of Russian regions

Acknowledgments

The article has been prepared with the support of the Government of the Russian Federation (Resolution No. 211 of March 16, 2013), agreement No. 02.A03.21.0011.

For citation: Dzyuba, A. P. & Solovyeva, I. A. (2021). Prospects for Energy Demand Management in Russian Regions. *Ekonomika regiona [Economy of region]*, 17(2), 502-519, <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2021-2-11>

Введение

Одним из ключевых направлений инновационно-технологического развития и повышения энергетической эффективности отраслей мировых топливно-энергетических комплексов, действующих в эпоху цифровизации, является внедрение управления спросом на потребление электроэнергии [1, 2]. По оценкам экспертов, потенциал снижения пиковой нагрузки мировых электроэнергетических систем за счет применения механизма управления спросом в среднем составляет от 10 % до 15 %, что в масштабах экономики отдельных стран мира весьма существенно [3, 4]. В последнее десятилетие, по мере массового развития информационных и коммуникационных технологий, во многих странах мира инструменты управления спросом занимают весомое место в регулировании плотности графиков энергопотребления [5, 6]. По оценкам энергетического агентства Navigant Research, в 2019 г. возможности потребителей для участия в управлении спросом в мире оцениваются в 13,8 ГВт, и, с учетом развития рыночных механизмов и прогнозного увеличения количества потребителей, участвующих в управлении спросом, к 2028 г. регулировочная мощность может увеличиться до 47,4 ГВт. В связи с этим одной из важнейших задач в развитии

топливно-энергетических комплексов стран мира является повышение эффективности применения механизмов управления неравномерностью спроса, особенно в разрезе территориальных образований и регионов, объединенных в рамках одной страны [7, 8].

Актуальность механизмов управления спросом

Характеристики неравномерности спроса на потребление электроэнергии, как в масштабах различных стран мира, так и на уровне регионов и территориальных образований, существенно варьируются [9, 10]. Неравномерность параметров спроса на потребление электроэнергии в разных территориальных образованиях обусловлена неоднородностью характеристик плотности графиков потребления энергоресурсов по временным периодам, различной структурой групп потребителей, формирующих спрос, несопадением типов электростанций и топливных характеристик энергоблоков, обеспечивающих покрытие спроса в рамках каждого территориального образования [11]. На рисунке 1 приведены примеры графиков почасового спроса на электропотребление в некоторых странах мира за сутки рабочего и выходного дня, иллюстрирующие существенную дифференциацию показателей

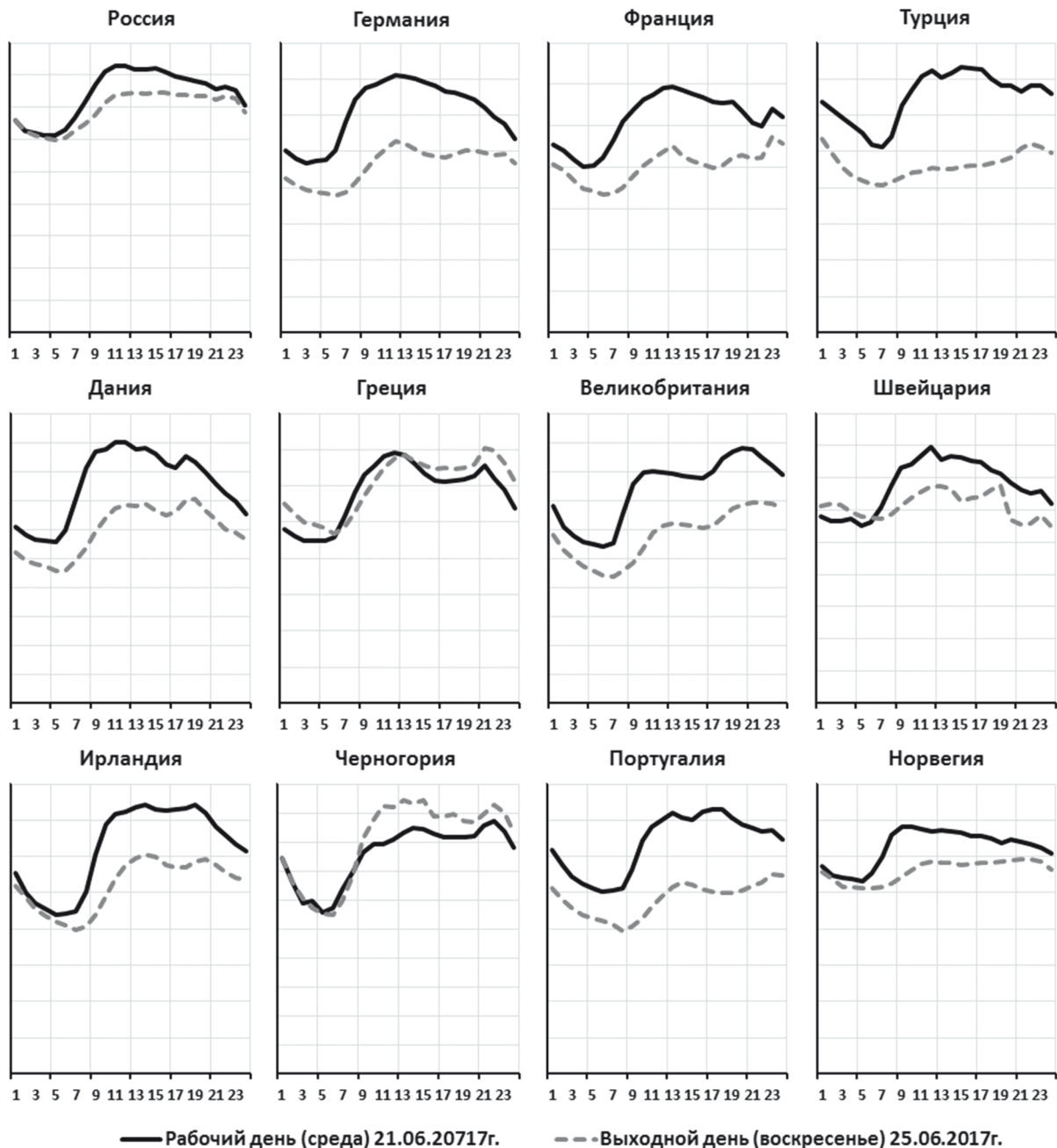


Рис. 1. Графики почасового спроса на электропотребление в некоторых странах мира за сутки рабочего и выходного дня
Fig. 1. Hourly electricity demand in some countries for a working day and a day off

плотности спроса в разрезе территориальных образований.

Управление спросом на электропотребление предусматривает реализацию комплекса стимулирующих и управляющих воздействий на конечных потребителей электроэнергии с целью изменения сценариев их поведения в требующихся для электроэнергетической системы направлениях [12]. Учитывая дифференциацию показателей плотности спроса в разрезе территориальных образований, методы и подходы к управлению спросом на энергопотребление должны носить индивидуальный

характер, учитывающий их особенности с целью максимизации результатов и повышения эффективности управления.

Проведенное авторами исследование характеристик плотности спроса на потребление электроэнергии позволило констатировать их значительную связь с параметрами плотности графиков спроса на потребление природного газа. Это связано, прежде всего, со значительной долей потребления природного газа на нужды выработки электроэнергии и общность групп основных потребителей [13]. Выравнивание графиков спроса на потре-

бление природного газа, как и в случае с электроэнергией, позволяет снижать затраты на газоснабжение потребителей на всех уровнях его обращения [14]. Таким образом, управление спросом на энергоресурсы может проводиться комплексно, а именно — в форме одновременного взаимодействия между организациями электроэнергетики, газоснабжения и потребителями энергетических ресурсов, направленного на выравнивание плотности графиков спроса на потребление электроэнергии и природного газа, реализуемого в рамках общих территориальных образований с учетом их взаимного влияния с целью получения синергетического эффекта в части увеличения экономического эффекта от управления спросом на энергоресурсы и сокращения затрат на организацию такого управления. Учитывая высокую дифференциацию показателей плотности графиков потребления электроэнергии и природного газа на уровне различных территориальных образований, можно предположить, что в рамках единого экономического пространства страны территории могут существенно варьировать по перспективности внедрения механизмов управления спросом, как на отдельные энергоресурсы, так и на их комплексы. Последнее обуславливает необходимость дифференцированного подхода к выбору моделей и инструментов управления спросом на уровне отдельных территориальных образований.

Анализ существующих исследований

Исследования в области управления спросом на электропотребление в мировом научном сообществе начались в 1970-х гг., после мировых энергетических кризисов 1973 и 1979 гг., в результате которых резко увеличились мировые цены на нефть, что в условиях роста общего спроса на потребление энергоресурсов негативно отразилось на экономике многих стран мира. Генезис мировых исследований в области управления спросом на электропотребление можно разделить на несколько этапов, связанных с идентификацией необходимости управления спросом, началом применения технологий управления спросом в целевых программах в некоторых странах Америки и Европы, с последующим распространением такой практики и на другие страны, развитием рынков электроэнергии, а также интеграцией цифровых технологий в топливно-энергетические комплексы. Среди зарубежных ученых, внесших вклад в развитие исследований в области управления спросом, можно

особо выделить М. Бэнстока [15], А. Кларка [16], К.В. Геллингса [17], Е.М. Вардамана, Ш. Чао [18], Е.Л. Вайна, Ж.Т. Гадджара, А. Воста [19], Д. Торрити, Й. Кнудсена, основная часть работ которых посвящена вопросу методов и технологий применения инструментов управления спросом на электропотребление [20].

Несмотря на применение технологий управления спросом, в первую очередь в США и странах Европы, важно подчеркнуть, что учеными СССР в начале прошлого века первыми в мире было предложено повышение эффективности работы энергосистем на основе управления плотностью графиков региональных электрических нагрузок. Так, в работах С.А. Кукель-Краевского [21], М.Л. Элькинда [22], В.И. Гордеева, И.Е. Васильева, В.И. Щуцкого [23], Д.Ю. Кононова [24], В.В. Ханаева [25], Н.И. Воропая, З.А. Стычински, Е.В. Козловой, В.С. Степанова, К.В. Суслова [26], А.К. Дарманчева и др. предложено использование отдельных промышленных предприятий как потребителей-регуляторов электрических нагрузок с целью целенаправленного регулирования неравномерностей суточных графиков нагрузки в объединенных энергосистемах. Однако после Великой Отечественной войны перед экономикой страны стояли задачи восстановления и опережающего роста, что затормозило внедрение механизмов экономии энергоресурсов. Отечественные исследователи вернулись к вопросу управления спросом на электропотребление только после внедрения в России механизмов энергетических рынков и технологий цифрового учета электроэнергии [27, 28].

В целом, анализ выполненных зарубежными и отечественными исследователями, посвященных проблеме управления спросом научных работ показал, что фокус практически во всех исследованиях сделан на управление плотностью суточных графиков нагрузки электропотребления, без учета выравнивания графиков спроса на потребление природного газа, как в отдельности, так и в комплексе с потреблением электроэнергии. По нашему мнению, управление спросом в разрезе территориальных образований целесообразно осуществлять комплексно, учитывая соотношение объемов потребления энергоресурсов, спрос на потребление электроэнергии и природного газа и уровень его неравномерности.

Комплексное управление спросом на электроэнергию и природный газ

Возможность реализации комплексного управления спросом на потребление природ-

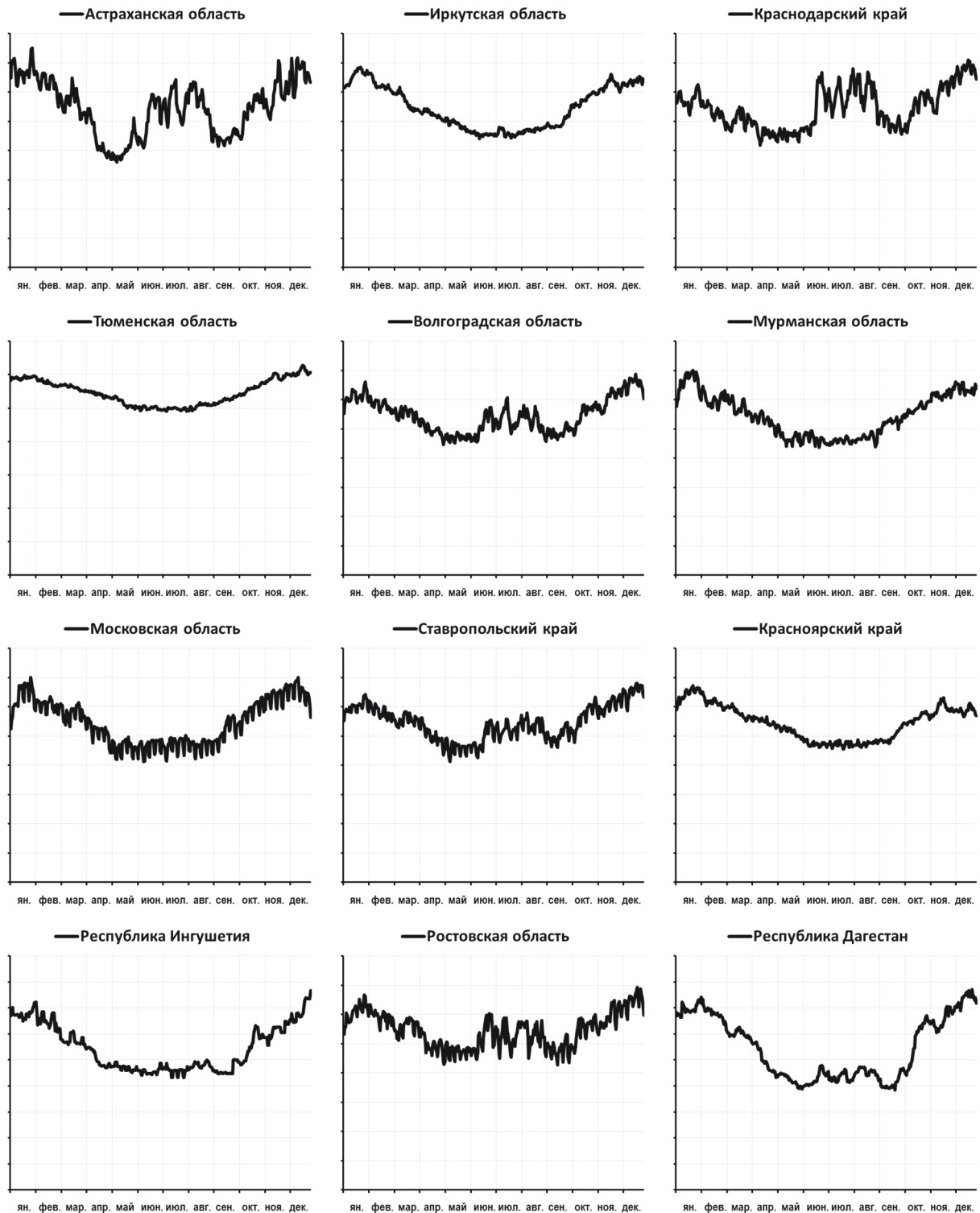


Рис. 2. Графики посуточного спроса на электропотребление некоторых регионов России за 2018 г.

Fig. 2. Daily electricity demand in some Russian regions in 2018

ного газа и электроэнергии обусловлена схожестью процессов потребления и ценообразования данных энергоресурсов:

— электроэнергия и газ являются наиболее значимыми топливно-энергетическими ресурсами, которые потребляются мировой экономикой;

— потребители электроэнергии и газа объединены в систему централизованного непрерывного производства, передачи и распределения энергетических ресурсов [29];

— необходимость непрерывного энергоснабжения десятков тысяч потребителей энергетических ресурсов, которые действуют

в условиях единого режима работы энергосистемы;

- отсутствие возможности хранения электрической энергии и природного газа в масштабах, необходимых для покрытия спроса энергосистемы в период максимума нагрузок [30];

- необходимость обеспечения синхронных режимов между процессами производства и потребления как электроэнергии, так и газа, несогласованность которых приводит к существенному снижению качества отпускаемых энергоресурсов;

- существенная доля потребляемого в России природного газа используется на нужды электрогенерации [31];

- график потребления газа электрическими станциями синхронен с графиком выработки электроэнергии;

- конфигурации графиков потребления электроэнергии и газа на уровне региональной энергосистемы характеризуются схожей плотностью (рис. 2, 3);

- невозможность постоянного контроля и ограничения нагрузки, как на электроэнергию, так и на природный газ каждого промышленного потребителя региональной энергосистемы;

- высокая неравномерность спроса на электрическую энергию и на природный газ в разные временные интервалы;

- влияние схожего состава факторов на характеристики неравномерности спроса на потребление электроэнергии и природного газа;

- характеристики неравномерности спроса оказывают влияние на ценообразование как на электрическую энергию, так и на природный газ.

Среди факторов, определяющих неравномерность спроса на потребление газа, особое место занимают факторы, обуславливающие высокую вариацию спроса на потребление электроэнергии, что проиллюстрировано на рисунке 4 разбивкой графика спроса на категории потребителей на примере Пермского края. Безусловно, в регионах, где покрытие зоны неравномерности графика электропотребления традиционными гидроэлектростанциями невозможно, пиковые и полупиковые периоды обеспечивает работа тепловых электростанций. В связи с этим влияние электроэнергетики на спрос на потребление природного газа индивидуально в региональном разрезе и зависит от вида доминирующего топлива, используемого на электростанциях покрывающих региональный спрос. При этом

график неравномерности спроса на потребление газа формируется не только электростанциями, но и промышленным сектором и прочими группами потребителей. В настоящем исследовании фокус сделан на комплексное управление спросом на электроэнергию и природный газ для промышленного сектора как основного драйвера повышения энергоэффективности.

Комплексное управление спросом на потребление электроэнергии и природного газа в разрезе территориальных образований, с нашей точки зрения, должно выполняться в несколько этапов: дифференциация территорий по группам, объединенным общностью параметров плотности графиков спроса на потребление электроэнергии и природного газа, разработка целевых мероприятий управления неравномерностью графиков спроса в рамках каждой выделенной группы с учетом ее особенностей, реализация разработанных мероприятий, оперативная оценка результатов и, при необходимости, корректировка моделей и методов управления.

Первым и достаточно важным этапом является выбор территорий с наибольшими перспективами эффективной реализации и получения максимального синергетического эффекта от комплексного управления неравномерностью спроса на потребление электроэнергии и природного газа.

Методика группировки территориальных образований по перспективности комплексного управления спросом

Для выявления территориальных образований, наиболее перспективных для комплексного управления спросом, необходимо провести их ранжирование. Мы предлагаем использовать для этого показатели относительной и абсолютной волатильности спроса, весовые коэффициенты и ранги, ряд авторских интегральных индексов и карты позиционирования, позволяющие провести группировку регионов по степени перспективности применения механизмов управления спросом.

Характеристики абсолютной годовой плотности спроса на потребление электроэнергии и природного газа на уровне регионов предложено оценивать через «коэффициент волатильности годовой нагрузки» (1). Величина предлагаемого коэффициента может иметь значения от 0 до 1. Приближение значения показателя к 1 подчеркивает низкие показатели волатильности спроса, и наоборот.

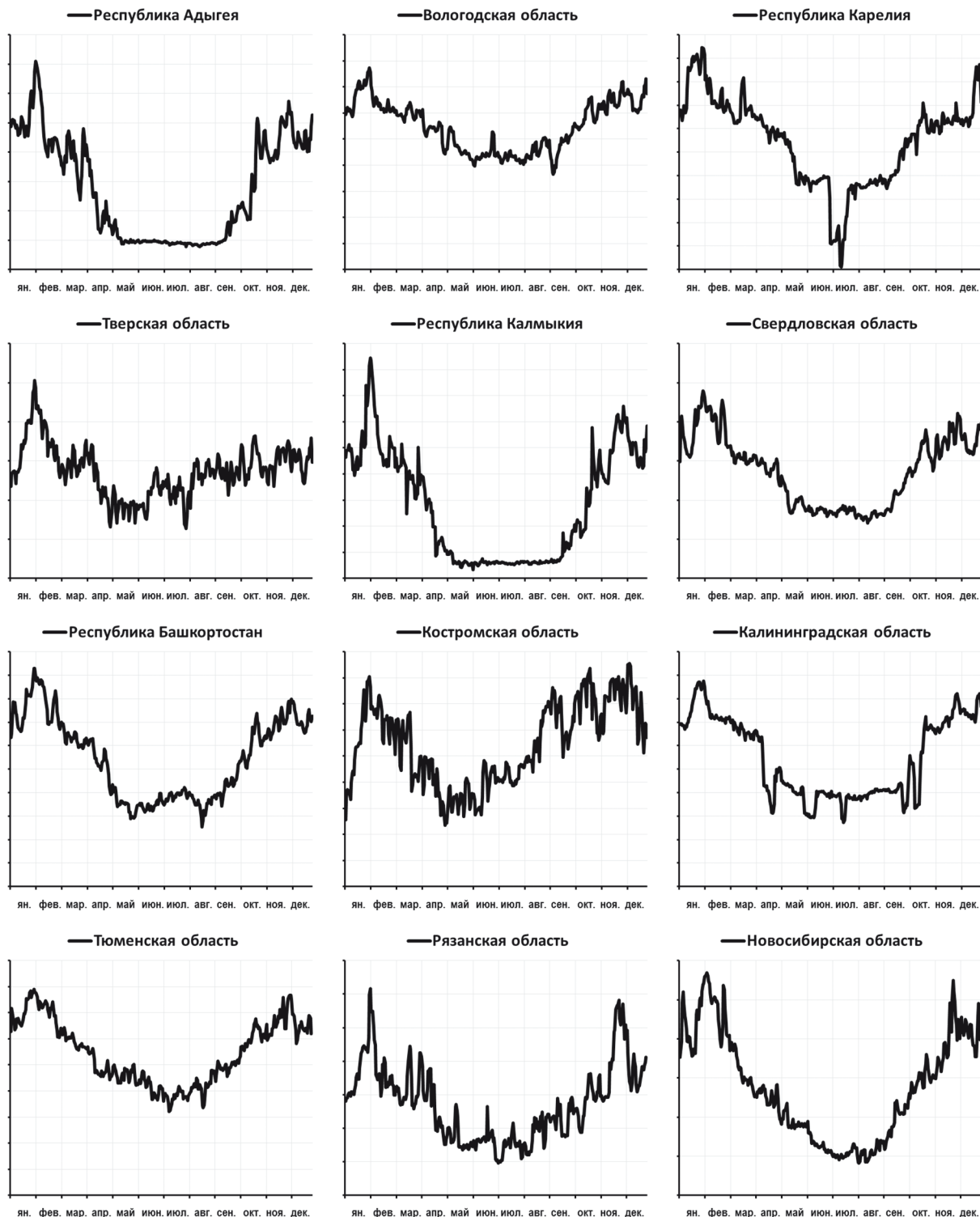


Рис. 3. Графики посуточного спроса на потребление газа в некоторых регионах России за 2018 г.
Fig. 3. Daily gas demand in some Russian regions in 2018

$$K_{\text{год}}^{\text{вол}} = \frac{P_{\text{min}_{10\%}}}{P_{\text{max}_{10\%}}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{год}}^{\text{вол}}$ — коэффициент волатильности годовой нагрузки; $P_{\text{min}_{10\%}}$ — средняя величина нагрузки в интервале 10 % периодов минималь-

ной годовой нагрузки дней календарного года (МВт или млн м³); $P_{\text{max}_{10\%}}$ — средняя величина нагрузки в интервале 10 % часов максимальной годовой нагрузки дней календарного года (МВт или млн м³);

Степень относительной годовой плотности графиков нагрузки регионов на потребле-

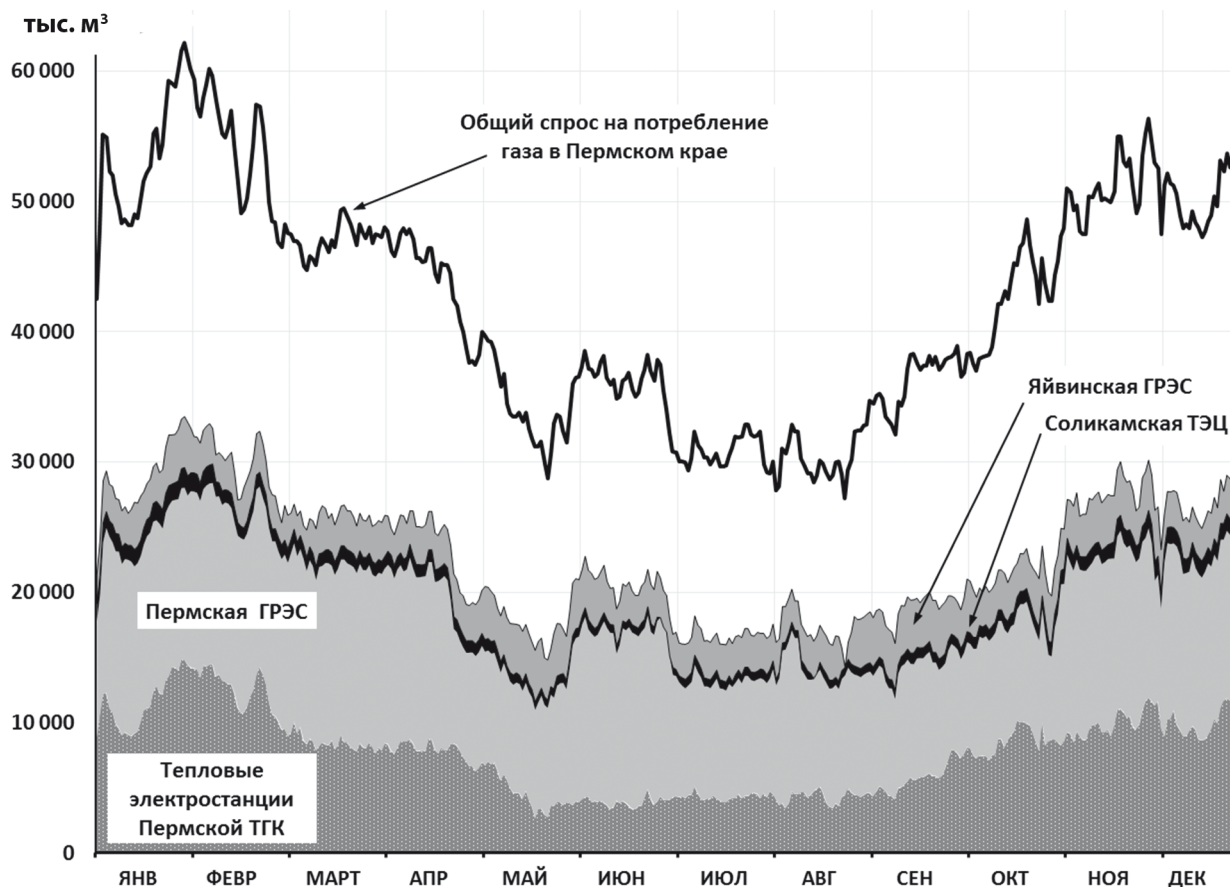


Рис. 4. График посуточного спроса на потребление газа в Пермском крае и электростанциями Пермского края за 2018 г.

Fig. 4. Daily gas demand in Perm Krai and power plants of Perm Krai in 2018

ние природного газа (электроэнергии) предлагается оценивать через показатель «размах вариации годового графика нагрузки», который рассчитывается по формуле (2) [32].

$$R_{\text{год}}^{\text{регион}} = P_{\text{max}_{10\%}} - P_{\text{min}_{10\%}}, \quad (2)$$

где $R_{\text{год}}^{\text{регион}}$ — размах вариации годового графика спроса региона (на электрическую энергию или природный газ), МВт или млн м³.

Расчет показателей абсолютной и относительной плотности графиков спроса отдельно на потребление электрической энергии и природного газа позволяет построить карты волатильности регионального спроса на потребление энергоресурсов с целью группировки территорий на управленческие группы со схожими характеристиками, что, в свою очередь, позволяет сделать процесс управления спросом на потребление электрической энергии (природного газа) более адресным и эффективным, сократить время и повысить отдачу от реализации мероприятий в области повышения энергетической эффективности.

Для применения механизма комплексного управления спросом на потребление электри-

ческой энергии и природного газа одновременно, с учетом особенностей отдельных территориальных образований, мы предлагаем использовать дополнительно ряд интегральных индексов.

1. Индекс волатильности годовой нагрузки позволяет сопоставить регионы по степени относительной волатильности годового спроса на потребление электроэнергии либо газа (3).

$$I_{\text{К вол}}^{\text{спрос } i} = \frac{(1 - K_{\text{год}}^{\text{вол}})}{(1 - K_{\text{год}}^{\text{вол}})}, \quad (3)$$

где $I_{\text{К вол}}^{\text{спрос } i}$ — индивидуальный индекс коэффициента волатильности годовой нагрузки для региона i ; $K_{\text{год}}^{\text{вол } i}$ — коэффициент волатильности годовой нагрузки для региона i ; $K_{\text{год}}^{\text{вол}}$ — среднее значение коэффициента волатильности годовой нагрузки по совокупности регионов.

2. Индекс размаха вариации годового графика нагрузки позволяет сопоставить регионы по степени абсолютной волатильности годового спроса на потребление электроэнергии либо газа (4).

$$I_{R \text{ год}}^{\text{спрос } i} = \frac{R_{\text{год}}^{\text{регион } i}}{R_{\text{год}}^{\text{регион}}}, \quad (4)$$

где $I_{R \text{ год}}^{\text{спрос } i}$ — индивидуальный индекс размаха вариации годового графика нагрузки для региона i ; $R_{\text{год}}^{\text{регион } i}$ — размах вариации годового графика нагрузки для региона i (МВт или млн м³); $R_{\text{год}}^{\text{регион}}$ — среднее значение размаха вариации годового графика нагрузки для совокупности регионов (МВт или млн м³).

3. Индекс региональной доли потребления электроэнергии промышленностью рассчитывается по формуле (5).

$$I_{\text{эз_пром}}^{\text{регион } i} = \frac{K_{\text{эз_пром}}^{\text{регион } i}}{K_{\text{эз_пром}}^{\text{регион}}}, \quad (5)$$

где $I_{\text{эз_пром}}^{\text{регион } i}$ — индивидуальный индекс доли потребления электроэнергии промышленностью в регионе i ; $K_{\text{эз_пром}}^{\text{регион } i}$ — доля электропотребления промышленностью региона i (%); $K_{\text{эз_пром}}^{\text{регион}}$ — среднее значение доли электропотребления промышленностью для совокупности регионов (%).

4. Индекс региональной доли потребления газа на выработку электроэнергии в регионе рассчитывается по формуле (6).

$$I_{\text{газ_эз}}^{\text{регион } i} = \frac{K_{\text{газ_эз}}^{\text{регион } i}}{K_{\text{газ_эз}}^{\text{регион}}}. \quad (6)$$

где $I_{\text{газ_эз}}^{\text{регион } i}$ — индивидуальный индекс доли потребления газа на выработку электроэнергии для региона i ; $K_{\text{газ_эз}}^{\text{регион } i}$ — доля потребления газа на выработку электроэнергии в регионе i (%); $K_{\text{газ_эз}}^{\text{регион}}$ — среднее значение доли потребления газа на выработку электроэнергии по регионам (%).

5. Интегральный индекс спроса на электроэнергию $I_{\text{эз}}^{\text{спрос } i}$ рассчитывается по формуле (7) и позволяет ранжировать регионы по перспективности управления спросом на потребление электроэнергии:

$$I_{\text{эз}}^{\text{спрос } i} = (I_{K \text{ вол}}^{\text{спрос } i} \times 0,2) + (I_{R \text{ год}}^{\text{спрос } i} \times 0,5) + (I_{\text{эз_пром}}^{\text{регион } i} \times 0,3). \quad (7)$$

6. Интегральный индекс спроса на газ $I_{\text{газ}}^{\text{спрос } i}$, рассчитывается по формуле (8) и позволяет ранжировать регионы по перспективности управления спросом на потребление природного газа:

$$I_{\text{газ}}^{\text{спрос } i} = (I_{K \text{ вол}}^{\text{спрос } i} \times 0,2) + (I_{R \text{ год}}^{\text{спрос } i} \times 0,5) + (I_{\text{газ_эз}}^{\text{регион } i} \times 0,3). \quad (8)$$

7. В расчет интегральных индексов спроса на электрическую энергию и природный газ введены весовые коэффициенты, соответствующие степени вклада каждого частного показателя в интегральную характеристику перспективности управления спросом в регионе.

8. Интегральный индекс комплексного управления спросом $I_{\text{комплекс}}^{\text{регион}}$ рассчитывается по формуле (9) и позволяет ранжировать регионы по перспективности комплексного управления спросом на электроэнергию и природный газ одновременно.

$$I_{\text{комплекс}}^{\text{регион } i} = (I_{\text{эз}}^{\text{спрос } i} \times 0,7) + (I_{\text{газ}}^{\text{спрос } i} \times 0,3). \quad (9)$$

В формуле (9) весовые коэффициенты перераспределены в пользу электрической энергии с учетом преобладания доли электроэнергии в энергобалансе страны.

Опыт практического применения методики на примере регионов России

В рамках апробации авторской методики было проведено исследование плотности графиков спроса на потребление электрической энергии и природного газа в регионах России в 2018 г. и предложена группировка регионов по степени перспективности применения механизмов комплексного управления спросом на энергоресурсы.

Построенные карты волатильности регионального спроса на потребление электроэнергии и газа представлены на рисунках 5 и 6. По горизонтальной оси регионы распределяются по показателю «коэффициент волатильности годовых нагрузок», по вертикальной оси — по показателю «размах вариации годового графика нагрузок».

На карте волатильности регионального спроса на потребление электроэнергии площадь круга соответствует доле потребления электроэнергии промышленным сектором региона, так как, согласно исследованиям, именно этот фактор вносит существенный вклад в уровень вариации спроса. На карте волатильности регионального спроса на потребление природного газа площадь круга соответствует показателю доли потребления газа на выработку электроэнергии в регионе.

Построенные карты волатильности регионального спроса на потребление электроэнергии и на потребление природного газа могут быть использованы с целью выявления групп регионов со схожими характеристиками с целью разработки индивидуальных рекомендаций по управлению спросом для каждой выде-

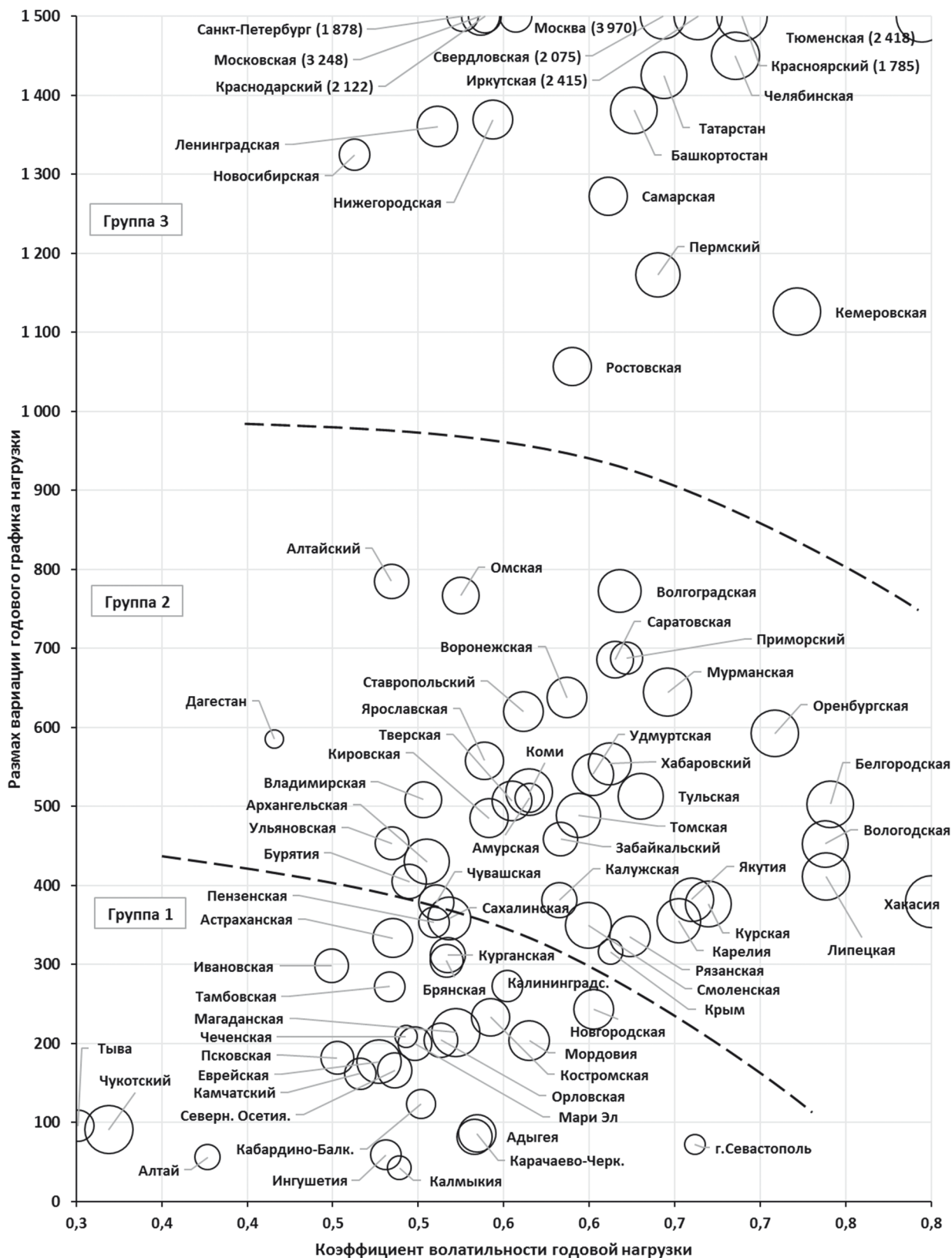


Рис. 5. Карта волатильности спроса на потребление электрической энергии в регионах России (площадь круга равна доле потребления электроэнергии промышленным сектором региона)

Fig. 5. Volatility map of electricity demand in Russian regions. The area of circles indicates industrial electricity consumption in regions

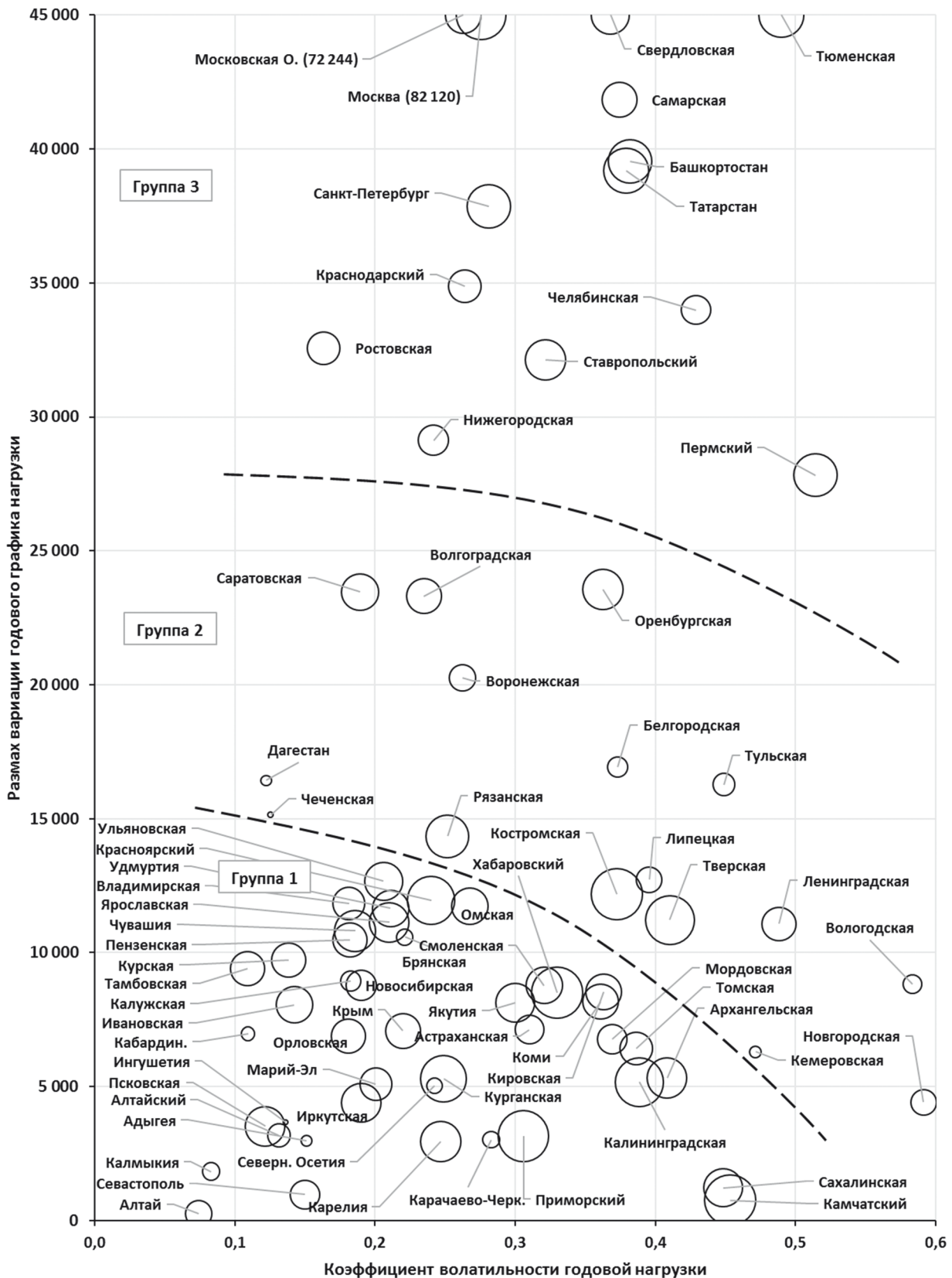


Рис. 6. Карта волатильности регионального спроса на потребление природного газа в регионах России (площадь круга соответствует показателю доли потребления газа на выработку электроэнергии в регионе)
 Fig. 6. Volatility map of natural gas demand in Russian regions. The circles indicate the share of gas used to generate electricity

ленной группы в отдельности, что более подробно описано в авторской работе [33].

С целью определения групп регионов с наибольшей перспективностью внедрения механизмов комплексного управления неравномерностью графиков спроса одновременно на потребление электроэнергии и природного газа были рассчитаны индексы (5–7) и построена матрица перспективности комплексного управления спросом, представленная на рисунке 7.

Матрица строится в двух координатах — интегральный индекс спроса на электрическую энергию и интегральный индекс спроса на газ. Все регионы России в матрице условно распре-

делены на три группы по значению соответствующих индексов. При построении матрицы учтена доля электропотребления промышленностью и доля потребления природного газа на выработку электроэнергии. Уровень перспективности внедрения механизмов комплексного управления спросом на энергоресурсы отражен цветом.

В группу с наибольшей перспективностью внедрения комплексного управления спросом вошли 18 регионов России, характеризующиеся наименьшими показателями абсолютной и относительной плотности графиков спроса на потребление электроэнергии и природного газа, а также высокими долями электропотре-

		Е	Д	Г	В	Б	А		
Природный газ	Группа 3	Дээ > 1	—	—	• Ставропольский Край;	• г. Москва; • Московская обл.; • г. Санкт-Петербург; • Самарская обл.;	• Тюменская обл.; • Респ. Башкортостан; • Респ. Татарстан; • Свердловская обл.; • Пермский край;	1	
		Дээ < 1		—	—	• Ростовская обл.; • Краснодарский край;	• Челябинская обл.; • Нижегородская обл.;	2	
	Группа 2	Дээ > 1	• Костромская обл.;	—	• Саратовская обл.;	• Оренбургская обл.; • Волгоградская обл.; • Рязанская обл.; • Тверская обл.;	—	—	3
		Дээ < 1	• Чеченская респ.;	• Новгородская обл.;	• Респ. Дагестан;	• Липецкая обл.; • Белгородская обл.; • Вологодская обл.; • Тульская обл.; • Воронежская обл.;	—	• Кемеровская обл.; • Ленинградская обл.;	4
	Группа 1	Дээ > 1	• Курганская обл.; • Ивановская обл.; • Псковская обл.; • Камчатский край; • Калининградская обл.;	• Сахалинская обл.;	• Ярославская обл.; • Омская обл.; • Чувашская Респ.; • Ульяновская обл.; • Приморский край; • Респ. Крым; • Амурская обл.;	• Респ. Коми; • Смоленская обл.; • Архангельская обл.; • Респ. Карелия; • Респ. Саха (Якутия); • Хабаровский край; • Удмуртская Респ.; • Кировская обл.; • Мурманская обл.; • Респ. Хакасия;	—	• Красноярский край; • Иркутская обл.;	5
		Дээ < 1	• Карачаево-Черкесская респ.; • Респ. Адыгея; • Респ. Северная Осетия-Алания; • Орловская обл.; • Респ. Марий-Эл; • Брянская обл.; • г. Севастополь; • Пензенская обл.; • Тамбовская обл.; • Респ. Ингушетия; • Респ. Кабардино-Балкария; • Респ. Алтай; • Респ. Калмыкия; • Респ. Тыва;	• Мордовская Респ.; • Астраханская обл.; • Чукотский автономный округ; • Магаданская обл.; • Еврейская автономная обл.;	• Владимирская обл.; • Калужская обл.; • Алтайский край; • Забайкальский край; • Респ. Бурятия;	• Курская обл.; • Томская обл.;	• Новосибирская обл.;	—	6
		Группа 1		Группа 2		Группа 3			
		Дээ пром < 1		Дээ пром > 1		Дээ пром < 1		Дээ пром > 1	
		Электроэнергия							

- Группа с наибольшей перспективностью внедрения комплексного управления спросом
- Группа со средней перспективностью внедрения комплексного управления спросом
- Группа с низкой перспективностью внедрения комплексного управления спросом

Рис. 7. Матрица регионов России по перспективности внедрения комплексного управления спросом
Fig. 7. A matrix of Russian regions in terms of the prospects for introducing demand management

бления промышленностью и потребления природного газа на выработку электроэнергии. В группу со средним уровнем перспективности внедрения комплексного управления спросом вошли 28 регионов, в группу с низкой перспективностью — 36 регионов России.

Таким образом, программы комплексного управления спросом на потребление энергоресурсов следует планировать и разрабаты-

вать, в первую очередь, для регионов, вошедших в группу с наибольшей перспективностью, характеризующихся высокой долей промышленного потребления энергоресурсов и существенным вкладом в общую вариацию спроса на потребление электроэнергии и природного газа на уровне ЕЭС и ЕСГ России.

В таблице представлены показатели абсолютной и относительной плотности графиков

Таблица

Ранжирование регионов России, входящих в группу с наибольшей перспективностью внедрения комплексного управления спросом, по показателям перспективности комплексного управления спросом

Table

Ranking of Russian regions included in the group with the greatest prospects for introducing demand management based on the examined indicators

№ пп	Регион	Тип энергоресурса	$\frac{I_{\text{э\textsubscript{э}} \text{ пром}}^{\text{регион}}}{I_{\text{газ, \textsubscript{э\textsubscript{э}}}}^{\text{регион}}}$	$I_{\text{К вол}}^{\text{спрос}}$	$I_{\text{R год}}^{\text{спрос}}$	$\frac{I_{\text{э\textsubscript{э}} \text{ пром}}^{\text{спрос}}}{I_{\text{газ}}^{\text{спрос}}}$	$I_{\text{регион комплекс}}$
1	г. Москва	Электроэнергия	1	2	3	3	3
		Природный газ	3	2	3	3	
2	Московская обл.	Электроэнергия	2	2	3	3	3
		Природный газ	2	2	3	3	
3	Тюменская обл.	Электроэнергия	3	1	3	3	3
		Природный газ	3	1	3	2	
4	Ленинградская обл.	Электроэнергия	2	2	3	3	3
		Природный газ	2	1	1	1	
5	Свердловская обл.	Электроэнергия	3	1	3	2	3
		Природный газ	2	2	3	2	
6	Краснодарский край	Электроэнергия	2	2	3	2	2
		Природный газ	2	2	3	2	
7	Иркутская обл.	Электроэнергия	3	1	3	3	2
		Природный газ	2	3	1	1	
8	г. Санкт-Петербург	Электроэнергия	1	2	3	2	2
		Природный газ	3	2	3	2	
9	Республика Татарстан	Электроэнергия	3	1	2	2	2
		Природный газ	3	2	3	2	
10	Республика Башкортостан	Электроэнергия	3	2	2	2	2
		Природный газ	3	2	3	2	
11	Красноярский край	Электроэнергия	3	1	3	2	2
		Природный газ	3	3	1	1	
12	Челябинская обл.	Электроэнергия	3	1	2	2	2
		Природный газ	1	1	3	2	
13	Самарская обл.	Электроэнергия	2	2	2	2	2
		Природный газ	2	2	3	2	
14	Нижегородская обл.	Электроэнергия	2	2	2	2	2
		Природный газ	2	3	2	1	
15	Пермский край	Электроэнергия	3	1	2	2	2
		Природный газ	3	1	2	2	
16	Ростовская обл.	Электроэнергия	2	2	2	1	2
		Природный газ	2	3	3	2	
17	Ставропольский край	Электроэнергия	2	2	1	1	2
		Природный газ	2	2	3	2	
18	Кемеровская обл.	Электроэнергия	3	1	2	2	2
		Природный газ	1	1	1	1	

спроса на потребление электрической энергии и природного газа, доли электропотребления промышленностью и доли использования природного газа на производство электроэнергии для 18 регионов, вошедших в группу наиболее перспективных с точки зрения внедрения механизмов комплексного управления спросом на энергоресурсы. Полученные значения частных индексов в таблице для удобства восприятия переведены в ранги (от 1 до 3), где ранг 1 отражает — наибольший уровень перспективности внедрения комплексного управления спросом по данному показателю, 3 — наименьший уровень.

Очевидно, что среди 18 наиболее перспективных регионов с точки зрения получения максимального эффекта от комплексного управления спросом на энергоресурсы ранги частных индексов далеко не однородны. Это обуславливает необходимость учета индивидуальных характеристик каждого региона при разработке региональной программы управления спросом.

Кроме того, более детальный анализ частных индексов позволяет выделить 13 регионов России, которые можно предложить в качестве пилотных для разработки и реализации программ комплексного управления спросом на электрическую энергию и природный газ. Основанием для этого являются высокие ранги всех частных индексов волатильности спроса на электроэнергию и газ и интегрального индекса $I_{\text{комплекс}}^{\text{регион}} i$. В этих регионах отмечаются низкая плотность графиков спроса на потребление как электроэнергии, так и газа, высокие показатели потребления электроэнергии промышленным сектором и значительная доля использования природного газа на выработку электрической энергии. Такое сочетание позволяет максимизировать синергетический экономический эффект от комплексного управления спросом на энергоресурсы.

Таким образом, проведенный анализ констатирует целесообразность дифференцированного подхода к комплексному управлению спросом на электроэнергию и природный газ в региональном разрезе.

Внедрение комплексного управления спросом (DSM) на электроэнергию и природный газ сопряжено с рядом проблем, таких как регулирование взаимоотношений между субъектами электроэнергетики и газовой промышленности, необходимость одновременного контроля и регулирования режимов потребления электроэнергии и природного газа, сложность координации рынка электроэнер-

гии и объемов поставок газа и необходимость внесения изменений и поправок в нормативную базу регулирующую деятельность ТЭК страны.

Применение разработанных карт волатильности регионального спроса на потребление электроэнергии и природного газа и матрицы регионов России по перспективности внедрения комплексного управления спросом позволяет выявить схожие региональные группы по степени перспективности комплексного управления спросом на потребление электроэнергии и газа, что на практике может быть использовано при разработке региональных программ управления спросом в целях повышения их обоснованности, сокращения всех видов ресурсов на реализацию таких программ и максимизации роста энергетической эффективности страны.

Выводы

По результатам проведенного исследования можно сделать ряд выводов.

Исследования показывают, что такое перспективное направление повышения энергетической эффективности мировых экономик, как управление спросом (DSM), существенно проработано, разрабатывается и внедряется для сферы потребления электроэнергии и, как правило, не затрагивает потребление прочих энергоресурсов, что, с нашей точки зрения требует дополнительных исследований и разработок.

Во многих территориях и на промышленных предприятиях природный газ используется для выработки электроэнергии. Существенная доля газа, потребляемого на выработку электроэнергии, и общность факторов, влияющих на формирование неравномерности графиков спроса на эти два энергоресурса, обуславливают целесообразность комплексного управления спросом на потребление электроэнергии и природного газа одновременно.

Проведенный анализ характеристик плотности спроса в разрезе временных периодов, территориальной принадлежности, категорий потребителей и других факторов [12, 32] позволяет констатировать, что перспективность управления спросом на потребление электроэнергии и природного газа в значительной степени определяется индивидуальными характеристиками территории или предприятия, в рамках которых используются механизмы управления спросом. В связи с этим актуальным является вопрос выявления территорий с наибольшими перспективами примене-

ния механизмов комплексного управления неравномерностью графиков спроса на электроэнергию и природный газ.

Авторами предложена методика группировки и ранжирования территориальных образований по степени перспективности внедрения механизмов комплексного управления графиками неравномерности спроса на энергоресурсы. В основе методики лежит расчет ряда индексов и интегральных показателей абсолютной и относительной волатильности спроса на потребление электроэнергии и природного газа с применением весовых коэффициентов и карт позиционирования. Предложенная методика учитывает уровень абсолютной плотности графиков спроса региона на электроэнергию и природный газ, уровень относительной плотности графиков регионального спроса на электроэнергию и газ, долю регионального электропотребления, приходящуюся на промышленность и долю природного газа, используемого для выработки электроэнергии.

Применение методики позволяет выявить региональные группы со схожими характеристиками плотности графиков спроса на потребление электрической энергии и природного газа, учет которых может способствовать более быстрому и эффективному внедрению механизмов управления спросом в России за счет получения синергетического эффекта от управления спросом на два основных энергоресурса одновременно. Кроме того, методика позволяет выделить те территории, которые могут выступать в качестве пилотных при реализации программ комплексного управления спросом на энергоресурсы.

Апробация разработанной авторами на примере регионов России методики позволяет констатировать ее практическую значимость для разработки региональных программ управления спросом на энергоресурсы и решения проблем повышения энергетической эффективности экономики отдельных регионов, территориальных образований и стран в целом.

Список источников

1. Управление спросом на энергию. Уникальная инновация для российской электроэнергетики / Л. Д. Гительман, Б. Е. Ратников, М. В. Кожевников, Ю. П. Шевелев. Екатеринбург : Экономика, 2013. 120 с.
2. Evaluating Demand Response Impacts on Capacity Credit of Renewable Distributed Generation in Smart Distribution Systems / Feng, J., Zeng, B., Zhao, D., Wu, G., Liu, Z. & Zhang, J. // IEEE Access. 2018. No. 6. P. 14307–14317. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2745198>.
3. Pilz M., Al-Fagih L. A Dynamic Game Approach for Demand-Side Management: Scheduling Energy Storage with Forecasting Errors // Dynamic Games and Applications. 2018. No. 2. P. 1–32. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13235-019-00309-z>.
4. Müller T., Möst D. Demand Response Potential: Available when Needed? // Energy Policy. 2018. Vol. 115. P. 181–198. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.12.025>.
5. Torriti J., Hassan M. G., Leach M. Demand response experience in Europe: Policies, programmes and implementation // Energy. 2010. No. 35. P. 1575–1583. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.05.021>.
6. Нехороших И. Н. Инновационные механизмы управления спросом на электрическую энергию. Обзор мирового опыта и оценка перспектив его применения в России // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019. № 2. С. 17–25. (Экономика. Социология. Менеджмент).
7. Haley B., Gaede J., Winfield M., Love P. From utility demand side management to low-carbon transitions: Opportunities and challenges for energy efficiency governance in a new era // Energy Research & Social Science. 2020. No. 59. P. 95–107. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101312>.
8. Нехороших И. Н., Добринова Т. В., Анисимов А. Ю. Мировая практика управления спросом на электроэнергию // Экономика в промышленности. 2019. № 3. С. 280–287.
9. Дзюба А. П. Комплексное управление спросом на энергоресурсы на промышленных предприятиях и в регионе // Вестник ЮУрГУ. 2019. Т. 13, № 3. С. 33–45. DOI: <https://doi.org/10.14529/em190304>. (Экономика и менеджмент).
10. Дзюба А. П., Соловьева И. А. Модель комплексного ценозависимого управления спросом промышленных предприятий на электроэнергию и газ // Известия Уральского государственного экономического университета. 2018. № 1. С. 79–93.
11. Соловьева И. А., Дзюба А. П. Управление затратами на электропотребление по показателям волатильности спроса // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. № 1(33). С. 36–43.
12. Воронцов Д. А. Концепция «Demand response» (управление спросом на электроэнергию) на рынках электроэнергии // Инновационная экономика. 2018. № 4. С. 47–52.
13. Емельяшина Ю. В. Развитие системных исследований вопросов прогнозирования спроса на газ // Нефть, газ и бизнес. 2007. № 11. С. 28–31.
14. Афанасьев В. В., Ковалев В. Г., Тарасов В. А. Энерготехнологические комплексы как регуляторы работы электроэнергетических систем // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. № 5. С. 50–58.

15. Beenstock M., Dalziel A. The demand for energy in the UK: a general equilibrium analysis // *Energy Economics*. Vol. 8, iss. 2. 1985. P. 90–98. DOI: [https://doi.org/10.1016/0140-9883\(86\)90033-2](https://doi.org/10.1016/0140-9883(86)90033-2).
16. Clark A. Demand-side management investment in South Africa: barriers and possible solutions for new power sector contexts // *Energy for Sustainable Development*. 2000. Vol. 4, iss. 4. P. 27–35.
17. Gellings C. W. IEEE PES Load Management Working. IEEE Power Engineering Review // Load Management Working Group of the System Planning Subcommittee of the Power Engineering Committee. 1981. No. 8. P. 7–8.
18. Chao H. Price-Responsive Demand Management for a Smart Grid World // *The Electricity Journal*. 2010. Vol. 23. No. 1. P. 7–20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tej.2009.12.007>.
19. Vos A. Effective business models for demand response under the Smart Grid paradigm // IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition. 2009. No. 2. P. 1–3. DOI: <https://doi.org/10.1109/PSCE.2009.4840261>.
20. Дзюба А. П. Роль программ управления спросом на энергопотребление в России в вопросе выполнении требований Парижского соглашения // *Корпоративная экономика*. 2020. № 1(21). С. 11–20.
21. Кукель-Краевский С. А. Технично-экономические основы планирования потребителей-регуляторов нагрузки // *Известия энергетического института им. Г. М. Кржижановского* 1935. № 1 Т. III. С. 101–117.
22. Элькин М. Л. Потребители-регуляторы электрической нагрузки в энергосистеме. Москва : ОНТИ НКТП, 1935. 107 с.
23. Гордеев В. И., Васильев И. Е., Щуцкий В. И. Управление электропотреблением и его прогнозирование. Ростов-н/Д. : Изд-во Ростовского университета, 1991. 101 с.
24. Кононов Д. Ю. Анализ зарубежного опыта управления спросом на электроэнергию. Иркутск : ИСЭМ СО РАН, 1998. 49 с.
25. Ханаев В. В. Роль управления спросом на электроэнергию в перспективном покрытии электрической нагрузки при дефиците генерирующих мощностей // *Энергорынок*. 2009. № 3. С. 26–29.
26. Оптимизация суточных графиков нагрузки активных потребителей / Н. И. Воропай, З. А. Стычински, Е. В. Козлова, В. С. Степанов, К. В. Суслов // *Известия Российской академии наук*. 2014. № 1. С. 84–90. (Энергетика).
27. Волкова И. О., Шувалова Д. Г., Сальникова Е. А. Активный потребитель в интеллектуальной энергетике // *Академия энергетике*. 2011. № 2 (40). С. 50–57.
28. Оптимизация суточных графиков нагрузки активных потребителей / Н. И. Воропай, З. А. Стычински, Е. В. Козлова, В. С. Степанов, К. В. Суслов // *Известия Российской академии наук*. 2014. № 1. С. 84–90. (Энергетика).
29. Татаркин А. И., Куклин А. А. Повышение эффективности энергетической и экономической безопасности региона на основе управления режимами электропотребления. Ч. 1. Методические основы анализа и прогнозирования цены производства электроэнергии в региональных электроэнергетических системах с учетом режимных факторов. Екатеринбург : УрО РАН, 1997. 37 с.
30. Диагностика и механизмы повышения энергетической безопасности России / А. А. Куклин, А. Л. Мызин, П. А. Пыхов, М. М. Потанин // *Вестник Забайкальского государственного университета*. 2013. № 10. С. 134–149.
31. Чичканов В. П., Куклин А. А. Формирование каркаса экономической безопасности в аспекте обеспечения устойчивого развития региона. Екатеринбург : Институт экономики УрО РАН, 2017. 432 с. DOI: <https://doi.org/10.17059/5922>.
32. Соловьева И. А., Дзюба А. П. Управление спросом на электропотребление на мезоуровне по показателям волатильности // *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. 2017. № 1. С. 76–86.
33. Dzyuba A. Demand-side management in territorial entities based on their volatility trends // *International journal of energy economics and policy*. 2020. No. 10. P. 302–315. DOI: <https://doi.org/10.32479/ijee.8682>.

References

1. Gitelman, L. D., Ratnikov, B. E., Kozhevnikov, M. V. & SHevelev, Yu. P. (2013). *Upravlenie sprosom na energiyu. Unikalnaya innovatsiya dlya rossiyской elektroenergetiki [Energy demand management. Unique innovation for the Russian electric power industry]*. Ekaterinburg: Economy, 120. (In Russ.)
2. Feng, J., Zeng, B., Zhao, D., Wu, G., Liu, Z. & Zhang, J. (2018). Evaluating Demand Response Impacts on Capacity Credit of Renewable Distributed Generation in Smart Distribution Systems. *IEEE Access*, 6, 14307–14317. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2745198.
3. Pilz, M. A. & Al-Fagih, L. (2018). Dynamic Game Approach for Demand-Side Management: Scheduling Energy Storage with Forecasting Errors. *Dynamic Games and Applications*, 2, 1–32. DOI: 10/1007/s13235-019-00309-z.
4. Müller, T. & Möst, D. (2018). Demand Response Potential: Available when Needed? *Energy Policy*, 115, 181–198. DOI: 10.1016/j.enpol.2017.12.025.
5. Torriti, J., Hassan, M. G. & Leach, M. (2010). Demand response experience in Europe: Policies, programmes and implementation. *Energy*, 35(4), 1575–1583. DOI: 10.1016/j.energy.2009.05.021.
6. Nekhoroshih, I. N. (2019). Innovative mechanisms of control demand for electric power: a review of international experience and assessment of the prospects of its application in Russia. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Ekonomika. Sotsiologiya. Menedzhment [Proceedings of South-West State University. Series Economy. Sociology. Management]*, 2, 17–25. (In Russ.)

7. Haley, B., Gaede, J., Winfield, M. & Love, P. (2020). From utility demand side management to low-carbon transitions: Opportunities and challenges for energy efficiency governance in a new era. *Energy Research & Social Science*, 59, 95–107. DOI: 10.1016/j.erss.2019.101312.
8. Nekhoroshikh, I. N., Dobrinova, T. V., Anisimov, A. Yu. & Zhaglovskaya, A. V. (2019). World practice of managing electricity demand. *Ekonomika v promyshlennosti [Russian Journal of Industrial Economics]*, 12(3), 280–287. (In Russ.) (In Russ.)
9. Dziuba, A. P. (2019). Integrated Demand Management for Energy Resources at Industrial Enterprises and in the Region. *Vestnik YuUrGU. Seriya «Ekonomika i menedzhment» [Bulletin of the South Ural State University. Series Economics and Management]*, 13(3), 33–45. DOI: 10.14529/em190304. (In Russ.)
10. Dzyuba, A. P. & Solovyeva, I. A. (2018). A Model for Comprehensive Price-Dependent Management of Industrial Enterprises' Demand for Electricity and Gas. *Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta [Journal of the Ural State University of Economics]*, 1, 79–93. (In Russ.)
11. Solovieva, I. A. & Dzyuba, A. P. (2017). Cost control of electricity consumption in terms of volatility of demand. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta [Kazan state power engineering university bulletin]*, 1(33), 36–43. (In Russ.)
12. Vorontsov, D. A. (2018). The concept of Demand response in electricity markets. *Innovatsionnaya ekonomika [Innovative economy]*, 4, 47–52. (In Russ.)
13. Emelyashina, Yu. V. (2007). Development of system studies of gas demand forecasting issues. *Neft, gaz i biznes*, 11, 28–31. (In Russ.)
14. Afanasyev, V. V., Kovalev, V. G. & Tarasov, V. A. (2019). Energy technology complexes as regulators of electrical power systems. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki [Power engineering: research, equipment, technology]*, 5, 50–58. (In Russ.)
15. Beenstock, M. & Dalziel, A. (1986). The demand for energy in the UK: A general equilibrium analysis. *Energy Economics*, 8(2), 90–98. DOI: 10.1016/0140-9883(86)90033-2.
16. Clark, A. (2000). Demand-side management investment in South Africa: barriers and possible solutions for new power sector contexts. *Energy for Sustainable Development*, 4(4), 27–35.
17. Gellings, C. W. (1981). IEEE PES Load Management Working. IEEE Power Engineering Review. *Load Management Working Group of the System Planning Subcommittee of the Power Engineering Committee*, 8, 7–8.
18. Chao, H. (2010). Price-Responsive Demand Management for a Smart Grid World. *The Electricity Journal*, 23(1), 7–20. DOI: 10.1016/j.tej.2009.12.007.
19. Vos, A. (2009). Effective business models for demand response under the Smart Grid paradigm. *2009 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition*, 2, 1–3. DOI: 10.1109/PSCE.2009.4840261.
20. Dzyuba, A. P. (2020). The role of demand for energy consumption programs in Russia in compliance with the requirements of the Paris agreement. *Korporativnaya ekonomika [Corporate economy]*, 1, 11–20. (In Russ.)
21. Kukel-Kraevskiy, S. A. (1935). Technical and economic bases of planning of consumers-load regulators. *Izvestiya energeticheskogo instituta im. G. M. Krzhizhanovskogo*, 1(III), 101–117. (In Russ.)
22. Elkind, M. L. (1935). *Potrebiteli-regulyatory elektricheskoy nagruzki v energosisteme [Consumers-regulators of electrical load in the power system]*. Moscow: ONTI NKTP, 107. (In Russ.)
23. Gordeev, V. I., Vasilev, I. E. & Shchutskiy, V. I. (1991). *Upravlenie elektropotrebleniem i ego prognozirovanie [Energy management and forecasting]*. Rostov-on-Don: Izd-vo Rostovskogo universiteta, 101. (In Russ.)
24. Kononov, D. Yu. (1998). *Analiz zarubezhnogo opyta upravleniya sprosom na elektroenergiyu [Analysis of foreign experience in electricity demand management]*. Irkutsk: ESI SB RAS, 49. (In Russ.)
25. Khanaev, V. V. (2009). The Role of Electricity Demand Management in Prospective Electricity Load Coverage with a Deficit of Generating Capacities. *Energorynok [Energy market]*, 26–29. (In Russ.)
26. Voropai, N. I., Styczynski, Z. A., Kozlova, E. V., Stepanov, V. S. & Suslov, K. V. (2014). Daily load curve optimization for active consumers. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Energetika*, 1, 84–90. (In Russ.)
27. Volkova, I. O., Shuvalova, D. G. & Salnikova, E. A. (2011). Active consumer in smart energy. *Akademiya energetiki [Energocademy]*, 2(40), 50–57. (In Russ.)
28. Voropai, N. I., Styczynski, Z. A., Kozlova, E. V., Stepanov, V. S. & Suslov, K. V. (2014). Daily load curve optimization for active consumers. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Energetika*, 1, 84–90. (In Russ.)
29. Tatarkin, A. I. & Kuklin, A. A. (1997). *Povyshenie effektivnosti energeticheskoy i ekonomicheskoy bezopasnosti regiona na osnove upravleniya rezhimami elektropotrebleniya. Ch. 1. Metodicheskie osnovy analiza i prognozirovaniya tseny proizvodstva elektroenergii v regionalnykh elektroenergeticheskikh sistemakh s uchetom rezhimnykh faktorov [Increase in efficiency of energy and economic security of the region on the basis of management of the power consumption modes. Pt.1 Methodical bases of the analysis and price forecasting for electricity generation in regional electrical power systems taking into account regime factors]*. Ekaterinburg: UB RAS, 37. (In Russ.)
30. Kuklin, A. A., Myzin, A. L., Pyhov, P. A. & Potanin, M. M. (2013). Diagnostics and mechanisms of energy increase security in Russia. *Vestnik Zabaykalskogo gosudarstvennogo universiteta [Transbaikalian State University journal]*, 10, 134–149. (In Russ.)

31. Chichkanov, V. P. & Kuklin, A. A. (2017). *Formirovanie karkasa ekonomicheskoy bezopasnosti v aspekte obespecheniya ustoychivogo razvitiya regiona [Developing the framework of economic security for the sustainable development of a region]*. Ekaterinburg: IE UB RAS Publ., 432. DOI: 10.17059/5922 (In Russ.)

32. Solovyova, I. A. & Dzyuba, A. P. (2017). Electricity demand management at the meso-level by volatility parameters. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta [Vestnik of Ivanovo State Power Engineering University]*, 1, 76–86. (In Russ.)

33. Dzyuba, A. (2020). Demand-side management in territorial entities based on their volatility trends. *International journal of energy economics and policy*, 10, 302–315. DOI: 10.32479/ijeep.8682.

Информация об авторах

Дзюба Анатолий Петрович — кандидат экономических наук, старший научный сотрудник кафедры «Финансовые технологии» Высшей школы экономики и управления, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Scopus Author ID: 57190407660; Researcher ID AAF-5350-2019; <https://orcid.org/0000-0001-6319-1316> (Российская Федерация, 454080, г. Челябинск, пр-т Ленина, 76; e-mail: dzyuba-a@yandex.ru).

Соловьева Ирина Александровна — доктор экономических наук, профессор кафедры «Финансовые технологии» Высшей школы экономики и управления, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Scopus Author ID: 57191536038; Researcher ID U-7391-2018; <https://orcid.org/0000-0001-6730-0356> (Российская Федерация, 454080, г. Челябинск, пр-т Ленина, 76; e-mail: solovevaia@susu.ru).

About the authors

Anatoly P. Dzyuba — Cand. Sci. (Econ.), Senior Research Associate, Department of Financial Technology, School of Economics and Management, South Ural State University; Scopus Author ID: 57190407660; Researcher ID: AAF-5350-2019; <https://orcid.org/0000-0001-6319-1316> (76, Lenina Ave., Chelyabinsk, 454080, Russian Federation; e-mail: dzyuba-a@yandex.ru).

Irina A. Solovyeva — Dr. Sci. (Econ.), Professor, Department of Financial Technology, School of Economics and Management, South Ural State University; Scopus Author ID: 57191536038; Researcher ID: U-7391-2018; <https://orcid.org/0000-0001-6730-0356> (76, Lenina Ave., Chelyabinsk, 454080, Russian Federation; e-mail: solovevaia@susu.ru).

Дата поступления рукописи: 17.03.2020.

Прошла рецензирование: 20.04.2020.

Принято решение о публикации: 23.03.2021.

Received: 17 Mar 2020

Reviewed: 20 Apr 2020

Accepted: 23 Mar 2021