

КОМПЛЕКСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СПРОСОМ НА ЭНЕРГОРЕСУРСЫ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ И В РЕГИОНЕ

А.П. Дзюба

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Статья посвящена проблеме комплексного управления спросом на потребление электроэнергии и природного газа на уровне Единой энергетической системы (ЕЭС) России. Автором проводится анализ технологических и экономических особенностей процессов производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии и природного газа на уровне отдельных промышленных предприятий и регионов России, доказывающий необходимость и целесообразность комплексного управления спросом на их потребление. Проведена классификация факторов, одновременно влияющих на волатильность параметров спроса на потребление электрической энергии и природного газа на промышленных предприятиях, учет которых является ключевым аспектом информационной базы управления спросом на энергоресурсы. В статье описана разработанная модель комбинированного управления спросом на потребление электроэнергии и природного газа на уровне ЕЭС, особенностью которой является комплексность управления спросом на электроэнергию и природный газ, учет общих характеристик, влияющих на их потребление, и синергии взаимного влияния спроса на потребление электроэнергии и природного газа. Результаты исследования имеют как теоретическую, так и практическую значимость и могут быть использованы при разработке программ повышения энергетической эффективности как на уровне отдельных предприятий, так и на уровне регионов и страны в целом.

Ключевые слова: волатильность спроса на потребление энергоресурсов, спрос на потребление электроэнергии, спрос на потребление природного газа, управление спросом на энергопотребление, энергетическая эффективность, модель комбинированного управления спросом.

Введение

Рост интереса к вопросам повышения энергетической эффективности в мировом сообществе произошел относительно недавно, в связи с чем многие технологии и методы энергосбережения и повышения энергетической эффективности находятся на этапах разработки и развития [1, 2]. Для большинства стран мира повышение энергетической эффективности является частью национальной политики стратегического развития, для реализации которой выделяется существенный объем инвестиций на проведение исследований и апробации новых технологий в этой области [3, 4]. В России толчком к разработке проблемы повышения энергетической эффективности послужил выход в 2009 году федерального закон № 261 «Об энергосбережении», определивший начало реализации политики энергосбережения в стране на общенациональном уровне [5].

Одним из современных и инновационных направлений повышения энергетической эффективности, реализуемым в мировой практике, является механизм управления спросом на потребление электрической энергии, который представляет собой форму экономического взаимодействия субъектов электроэнергетики с конечными потребителями электрической энергии, обеспечивающую взаимовыгодное экономически эффективное регулирование объемов и режимов электропотребления [6].

Теоретическая база

Процессы производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии характеризуются рядом технологических особенностей:

1) значительное количество потребителей электроэнергии, объединенных в рамки единой технологической системы производства, распределения и потребления электроэнергии, работающих одновременно в рамках единого технологического режима функционирования электроэнергетической системы;

2) необходимость обеспечения мгновенного баланса между параметрами производства и потребления электроэнергии, в случае рассогласования которого происходит снижение качества электроэнергии и повышение аварийности в электроэнергетической системе [7];

3) отсутствие возможности мгновенного контроля и ограничения нагрузки электропотребления каждого потребителя, действующего в рамках электроэнергетической системы;

4) отсутствие возможности аккумуляирования электроэнергии в промышленных масштабах с целью выдачи в энергосистему для покрытия пиковых нагрузок электропотребления;

5) высокая неравномерность спроса на электропотребление в рамках различных периодов [8].

На рис. 1 представлена диаграмма почасового спроса на электропотребление Новосибирской области за 2016 год. Видно, что спрос на электро-

потребление характеризуется как внутрисуточной, так и годовой волатильностью. В рамках суток спрос на электропотребление изменяется в среднем на 600 МВт или 35 % от величины минимума суточного графика нагрузки. В рамках годового периода спрос варьируется на 1700 МВт или на 170 % по сравнению с годовым минимумом нагрузки энергосистемы.

График производства электроэнергии электростанциями синхронен с мгновенными значениями спроса на электропотребление. На рис. 2 представлена диаграмма почасовой выработки электроэнергии электростанциями Новосибирской области за 2016 год. Без учета перетоков электроэнергии из смежных электроэнергетических систем спрос на электропотребление в Новосибирской области покрывается тепловыми электростанциями: Барабинской ГРЭС, несколькими Новосибирскими ТЭЦ и гидроэлектростанцией. Так, основную долю покрытия спроса на электропотребление региона обеспечивает внутренняя генерация, 85 % из которой составляют ТЭС, 15 % – ГЭС, при этом основную нагрузку в период зимнего роста спроса покрывает ТЭС.

В рамках суточного графика электропотребления обеспечение неравномерности спроса покрывается за счет формирования горячего резерва генерирующих мощностей, работающих в режиме постоянной готовности к выработке электроэнергии и покрывающих пиковые и полупиковые периоды нагрузок. Горячий резерв генерирующих мощностей работает в круглосуточном режиме, что приводит к значительным непроизводительным затратам электростанций, оплачиваемых конечными потребителями электроэнергии.

В рамках годового графика электропотребления обеспечение неравномерности спроса производится за счет значительного резерва генерирующих мощностей, действующих в электроэнергетической системе. Данный резерв используется для покрытия зимних максимумов энергосистемы. В период спада нагрузки электропотребления резервируемые генерирующие мощности поддерживаются в работоспособном состоянии, проводятся ремонты, работает штат оперативного персонала, обеспечивается требуемый топливный резерв. Для примера, в Новосибирской области резерв генерирующих мощностей на покрытие зимних максимумов электропотребления составляет не менее 800 МВт. Обеспечение резервируемых мощностей также оплачивается конечными потребителями электроэнергии, действующими в рамках ЕЭС.

Затраты, связанные с неравномерностью спроса на электропотребление, также возникают в электросетевом комплексе, что выражается в необходимости создания значительных резервов электросетевых мощностей, требуемых для обеспечения суточной и годовой волатильности, в повышении аварийности и эксплуатационных расходов, связанных с нестабильностью нагрузки электропотребления.

По оценкам авторов, в масштабах ЕЭС России затраты, связанные с неравномерностью спроса на электропотребление, составляют несколько десятков миллиардов рублей ежегодно. Выравнивание спроса на электропотребление может способствовать получению значительного народнохозяйственного эффекта в виде снижения стоимости электроэнергии для всех потребителей ЕЭС, повыше-

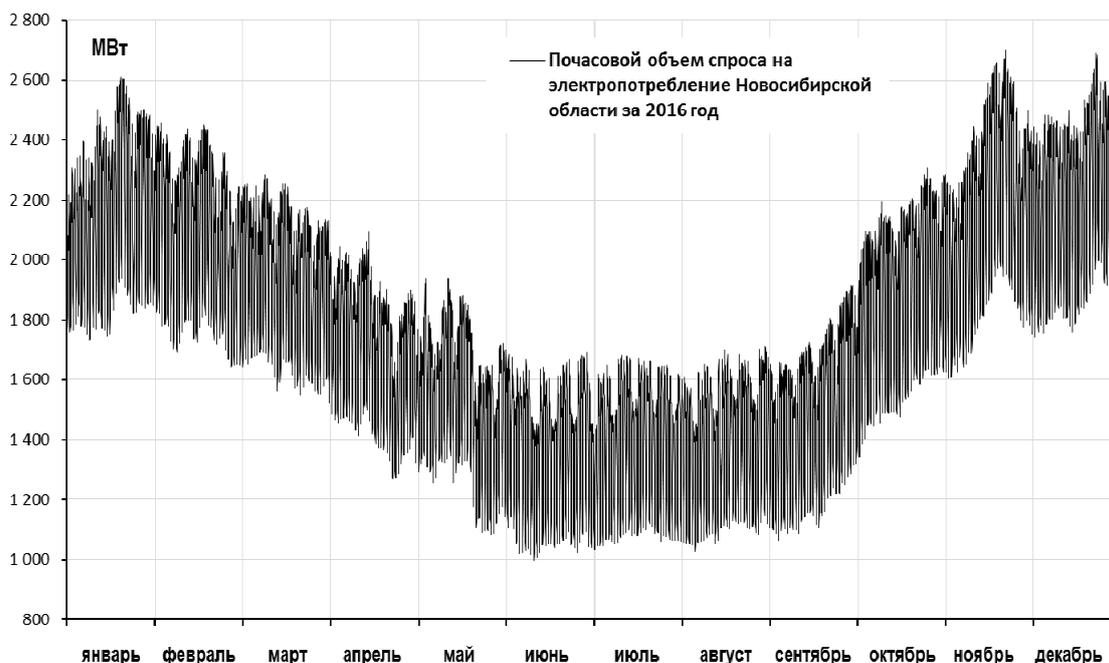


Рис. 1. Диаграмма почасового спроса на электропотребление Новосибирской области за 2016 год

ния надежности и качества энергоснабжения и энергетической безопасности страны [9].

Управление спросом на электропотребление приводит к выравниванию почасовых суточных графиков электропотребления в масштабах РЭС, ОЭС и ЕЭС. Учитывая технологическую сложность процессов обращения электроэнергии, управление спросом должно осуществляться посредством реализации комплексной программы мероприятий, в которой участвуют все субъекты электроэнергетики: производители электроэнергии, магистральные и распределительные электросетевые компании, потребители электроэнергии и субъекты технологической и коммерческой инфраструктуры оптового и розничного рынков электроэнергии.

Помимо электрической энергии одним из наиболее массово используемых энергоресурсов является природный газ. Природный газ характеризуется относительно невысокой стоимостью, простотой трубопроводной транспортировки и распределения, легкостью преобразования в другие виды энергии и экологичностью потребления [10]. Природный газ имеет широкое применение в цветной и черной металлургии, машиностроительной, цементной, химической промышленности и секторе ЖКХ [11].

Характеристики спроса на потребление природного газа сходны с параметрами спроса на потребление электроэнергии. На рис. 3 представлена диаграмма годового графика спроса на потребление газа Омской области. Как видно из диаграмм, кривая спроса на потребление природного газа на уровне региона по форме повторяет кривую спроса на потребление электроэнергии.

Учитывая схожесть технологических процессов обращения природного газа и характеристик неравномерности спроса на потребление газа на различных периодах с характеристиками потребления электрической энергии, механизм управления спросом может применяться не только к электроэнергии, но и к процессу обращения природного газа. Возможность и целесообразность внедрения механизма управления спросом применительно к процессу обращения природного газа схематично представлена на рис. 4. Режимы производства, передачи и распределения природного газа вынужденно подстраиваются под режимы спроса на потребление природного газа всеми потребителями, действующими в рамках ЕСГ, что несет дополнительные издержки на покрытие неравномерности спроса.

Как и в случае с управлением спросом на потребление электрической энергии, управление спросом на потребление природного газа позволяет снижать затраты на производство и транспорт газа, что в свою очередь приводит к снижению тарифов на закуп газа для конечных потребителей [12].

Результаты исследований

В результате анализа существующих отечественных и зарубежных исследований, посвященных вопросу управления спросом на потребление природного газа, выявлено, что наряду со значительным количеством исследований в области управления спросом на потребление электроэнергии [13–15], вопросу управления спросом на газ уделяется достаточно мало внимания [16].

Систематизировав особенности спроса на потребление электрической энергии и природного газа, можно выделить ряд общих черт, а именно:

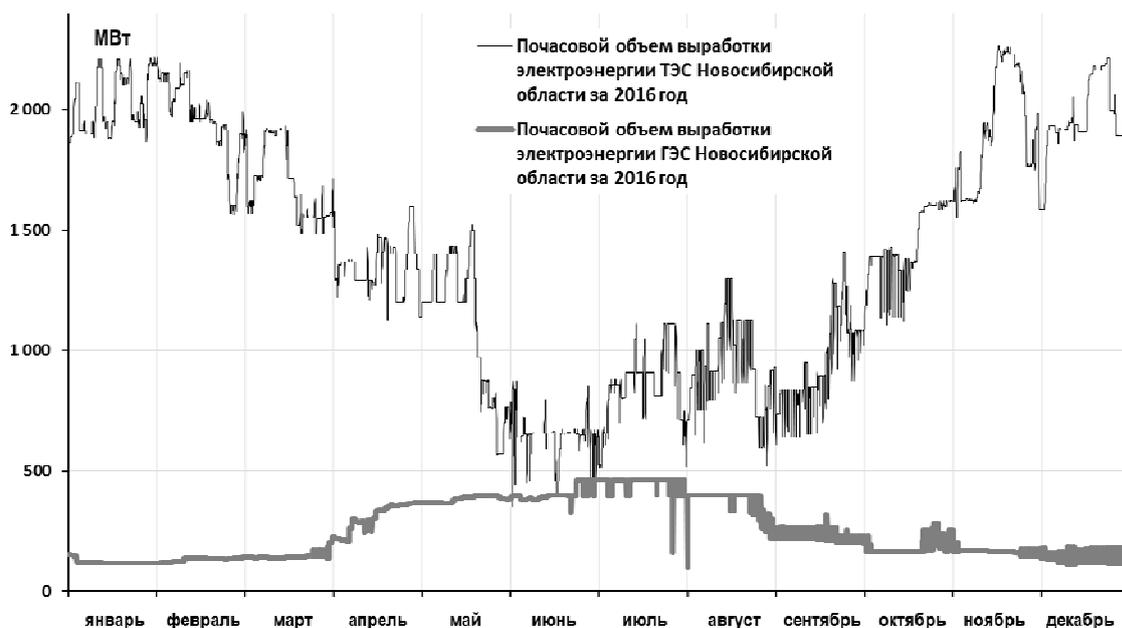


Рис. 2. Диаграмма почасовой выработки электроэнергии электростанциями Новосибирской области за 2016 г.

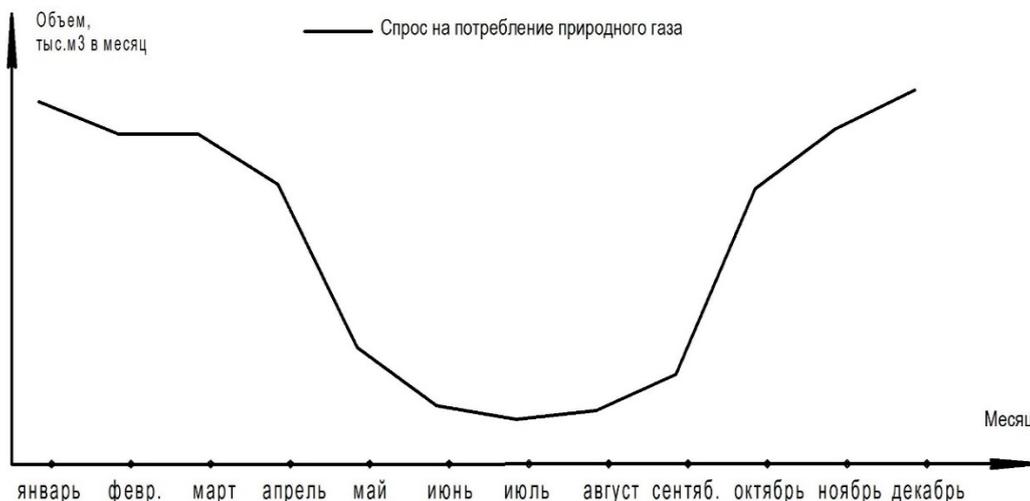


Рис. 3. Диаграмма месячного спроса на потребление газа Омской области

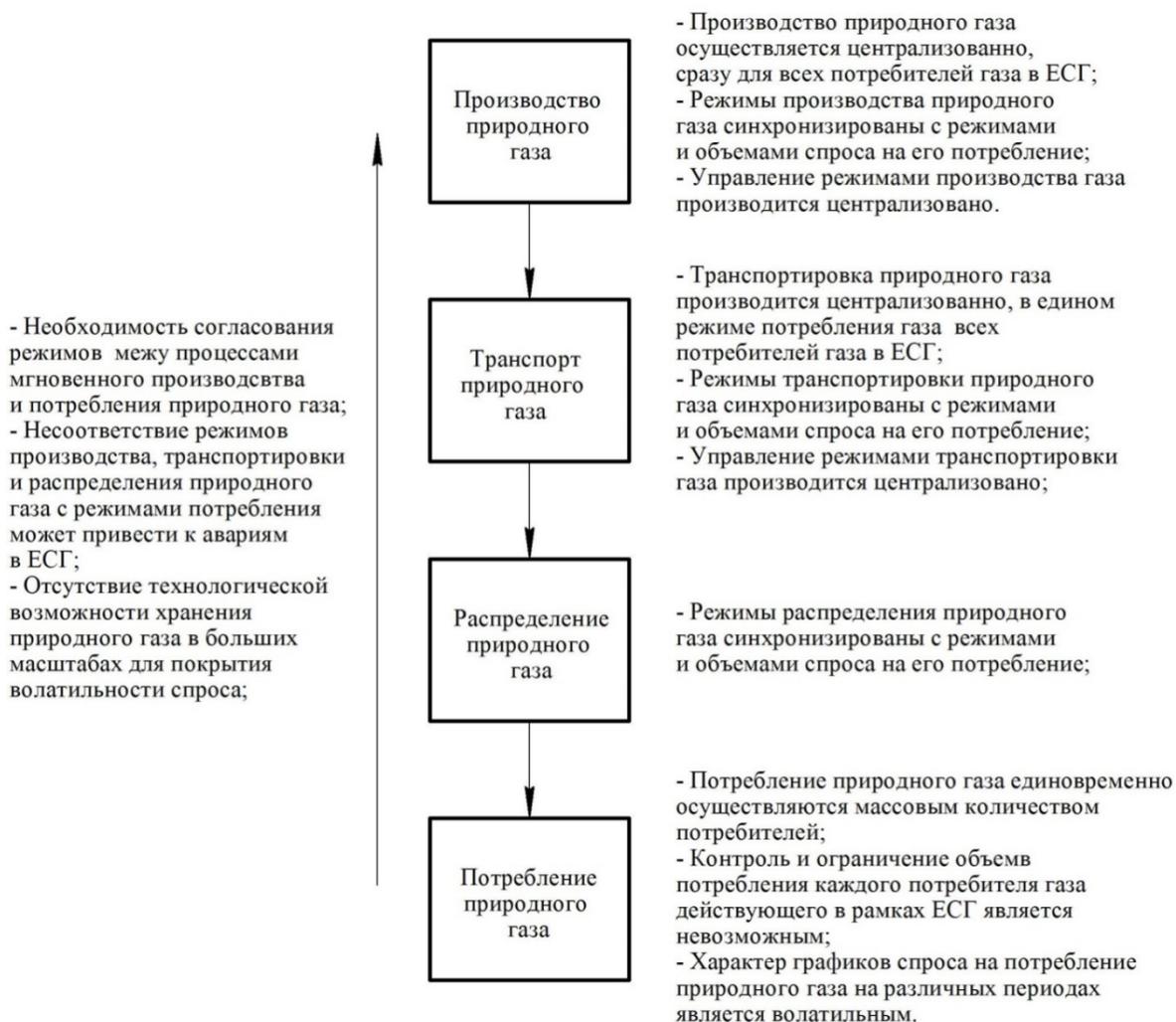


Рис. 4. Схема, определяющая возможность внедрения механизма управления спросом применительно к процессу обращения природного газа

✓ природный газ и электрическая энергия являются основными энергетическими ресурсами, потребляемыми в рамках мировых экономик [17];

✓ основная часть электрической энергии и природного газа потребляется в промышленном секторе;

✓ значительная доля природного газа, потребляемого промышленностью, используется для производства электроэнергии (рис. 5);

✓ графики потребления электрической энергии и природного газа характеризуются схожей по форме волатильностью;

✓ на спрос на потребление электрической энергии и потребление природного газа влияют в основном одинаковые факторы.

Таким образом, технологические и экономические особенности потребления электрической энергии и природного газа, схожесть параметров и структуры спроса обуславливают возможность снижения затрат на их потребление посредством моделей комбинированного управления спросом.

По нашему мнению, наибольшую важность для управления спросом на потребление энергетических ресурсов составляет промышленный сектор, так как:

✓ наибольшая доля потребления электрической энергии и природного газа приходится на промышленный сектор [18];

✓ высока мотивация к снижению затрат на закуп энергоресурсов именно в промышленности [19];

✓ для промышленности действуют более высокие тарифы на поставку энергоресурсов по сравнению с остальными группами потребителей;

✓ существует возможность управления собственным спросом на потребление энергоресурсов;

✓ высока зависимость затрат на потребление газа на электростанциях от спроса на электропотребление со стороны промышленного сектора.

✓ существует возможность получения значительного народнохозяйственного эффекта от управления спросом в промышленности.

Примеры почасовых графиков спроса на потребление электрической энергии и природного газа промышленных предприятий представлены на рис. 6.

Характер волатильности графиков потребления электрической энергии и природного газа на промышленных предприятиях в первую очередь обусловлен техническими параметрами энергопотребляющего оборудования, особенностями технологических процессов в отрасли и производственной программой предприятия.

Проведенная авторами систематизация и классификация факторов, влияющих на волатильность параметров спроса на потребление электрической энергии и природного газа на промышленных предприятиях, представлена на рис. 7.

Производственные факторы – факторы, действующие на характеристики графиков потребления электроэнергии и газа со стороны состава и уровня загрузки производственного оборудования, графиков работы смежных производственных процессов, плана производства, а также аварий и графика ремонтов оборудования.

Технологические факторы – факторы, действующие на характеристики потребления электроэнергии и газа со стороны особенностей и режимов технологии производства продукции, физических характеристик обрабатываемого сырья.

Социально-экономические факторы – факторы, действующие на характеристики потребления электроэнергии и газа со стороны социально-экономических процессов жизнедеятельности людей, режима выходных и праздничных дней, сменности работы производства, продолжительности рабочих смен и перерывов.

Климатические факторы – факторы, действующие на характеристики графиков потребления

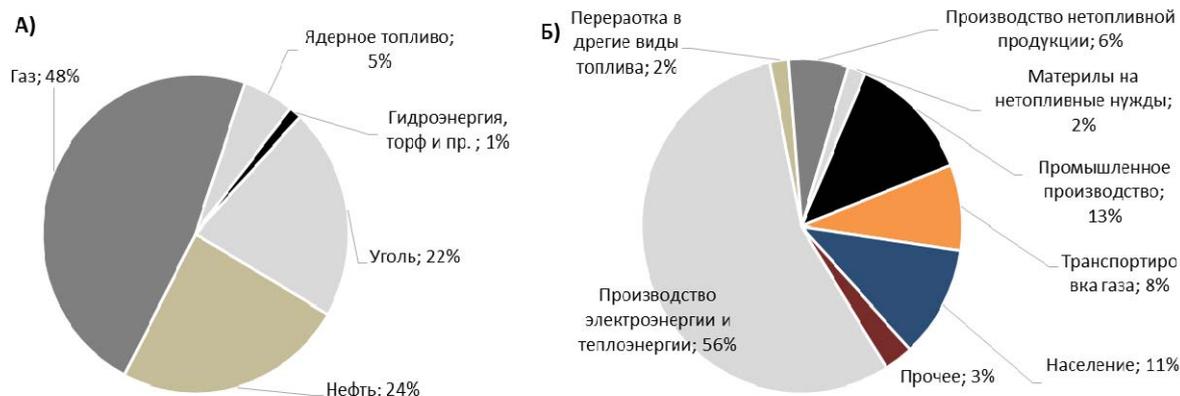


Рис. 5. Структура потребления первичных энергоресурсов экономикой России:
А) общая структура потребления первичных энергоресурсов,
Б) структура потребления природного газа [20]

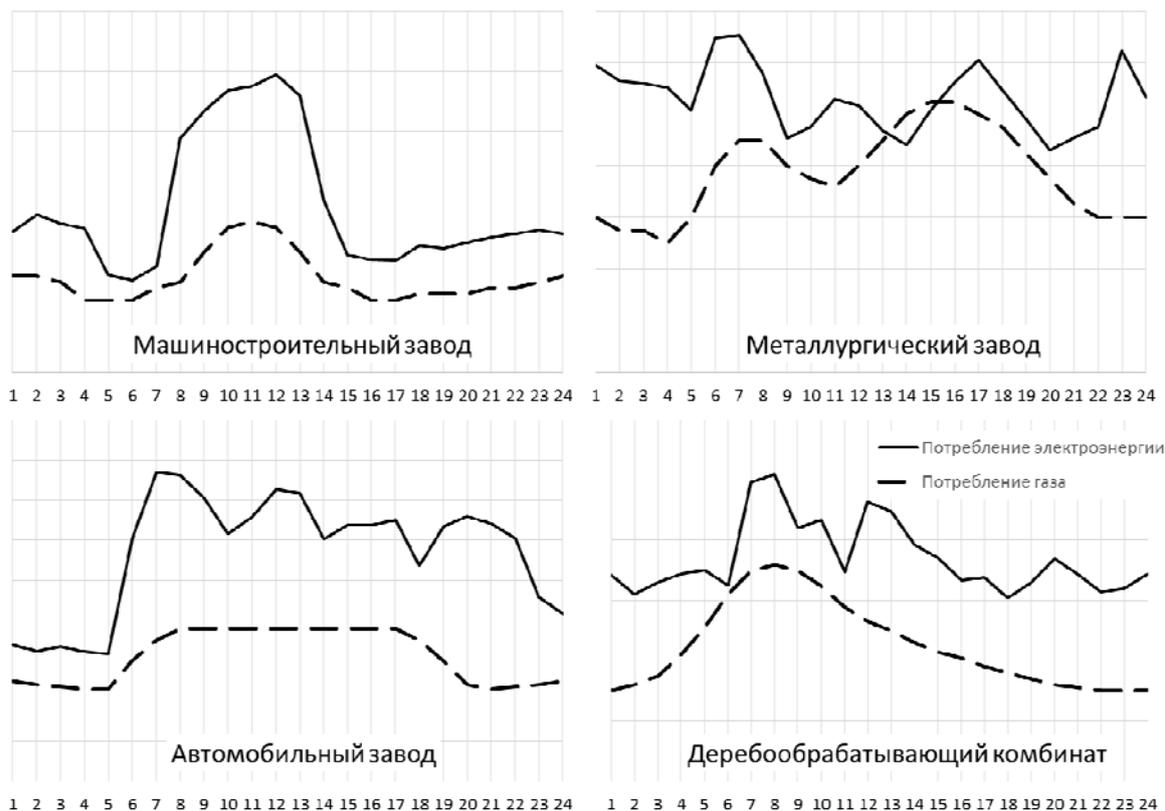


Рис. 6. Графики почасового спроса на потребление электрической энергии и природного газа различными типами промышленных предприятий

электроэнергии и газа, обусловленные климатическими условиями, а именно температура окружающего воздуха, продолжительность светового дня, влажность воздуха и осадки.

Прогнозирование будущих значений вышеперечисленных факторов является основой планирования потребности в энергоресурсах и ключевым аспектом информационной базы управления спросом на энергоресурсы.

Таким образом, проведенный анализ позволяет констатировать, что управление спросом на энергоресурсы возможно и целесообразно реализовывать в комплексе электрическая энергия и природный газ, что можно представить в виде целевых функций и формул:

$$SE = f(I) \times f(T) \times f(CЭ) \times f(K), \quad (1)$$

где SE – спрос на потребление электрической энергии промышленного предприятия; I – влияние производственных факторов; T – влияние технологических факторов; $CЭ$ – влияние социально-экономических факторов; K – влияние климатических факторов.

$$SG = f(I) \times f(T) \times f(CЭ) \times f(K), \quad (2)$$

где SG – спрос на потребление природного газа промышленного предприятия.

Параметры спроса на потребление электрической энергии и природного газа оказывают взаимное влияние друг на друга:

$$SE = f(SG) \Leftrightarrow SG = f(SE). \quad (3)$$

В связи с этим комплексное управление спросом на электрическую энергию и природный газ можно представить в виде целевой функции:

$$S = f(I) \times f(T) \times f(CЭ) \times f(K), \quad (4)$$

где S – комплексный спрос на потребление электрической энергии и природного газа промышленным предприятием.

Модель комбинированного управления спросом

Учитывая общность характеристик, влияющих факторов и взаимное влияние спроса на потребление электроэнергии и природного газа, авторами разработана модель комбинированного управления спросом на потребление электроэнергии и природного газа на уровне ЕЭС, представленная на рис. 8, которая состоит из трех основных блоков: блок разработки индикаторов комбинированного управления спросом на потребление электрической энергии и природного газа, блок комбинированного управления спросом на потребление электрической энергии и природного газа на промышленных предприятиях и блок оценки экономического эффекта на уровне региона и макроэкономики в целом.

В блоке разработки индикаторов комбинированного управления спросом на потребление электрической энергии и природного газа производится

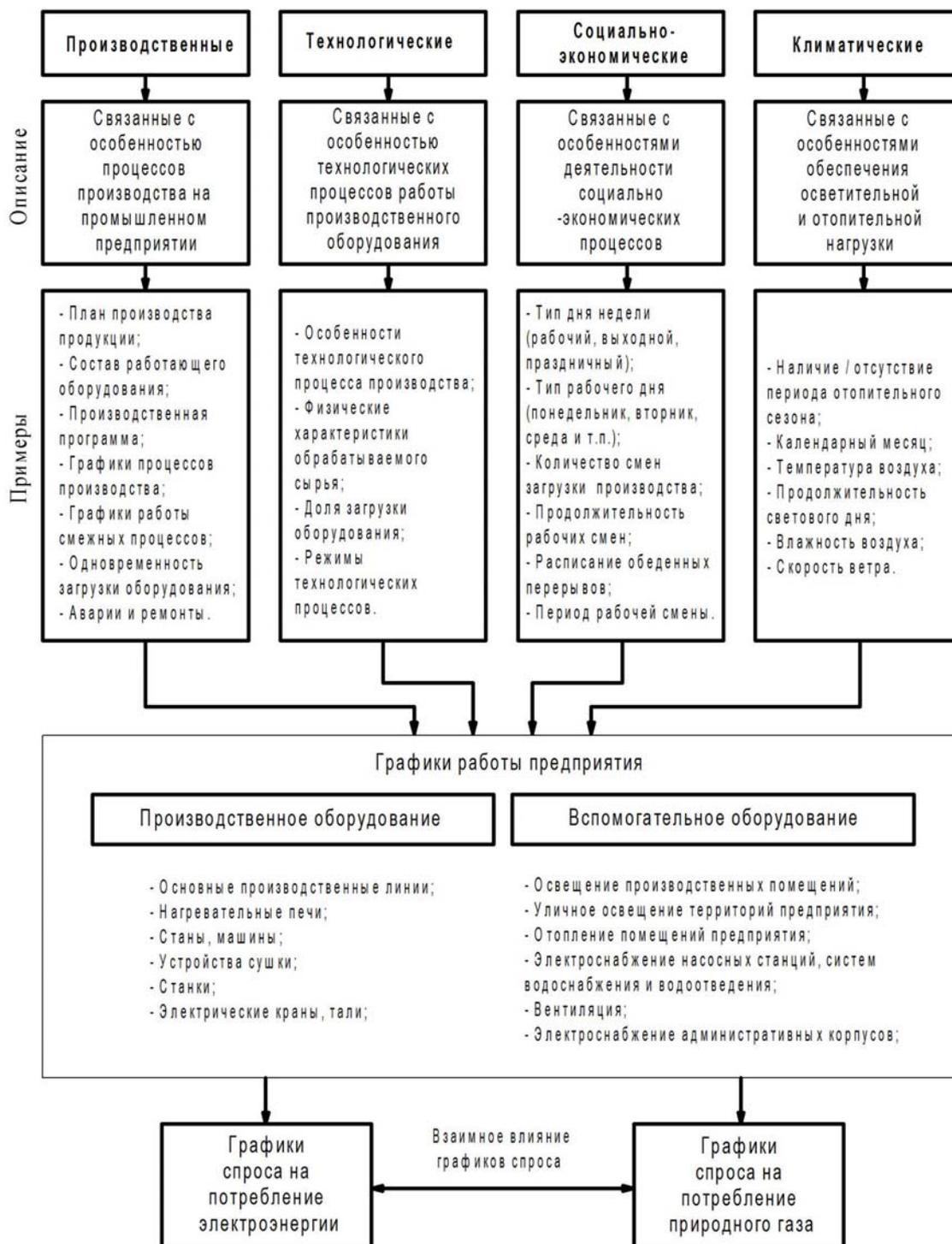


Рис. 7. Классификация факторов влияющих на волатильность параметров спроса на потребление электрической энергии и природного газа на промышленных предприятиях

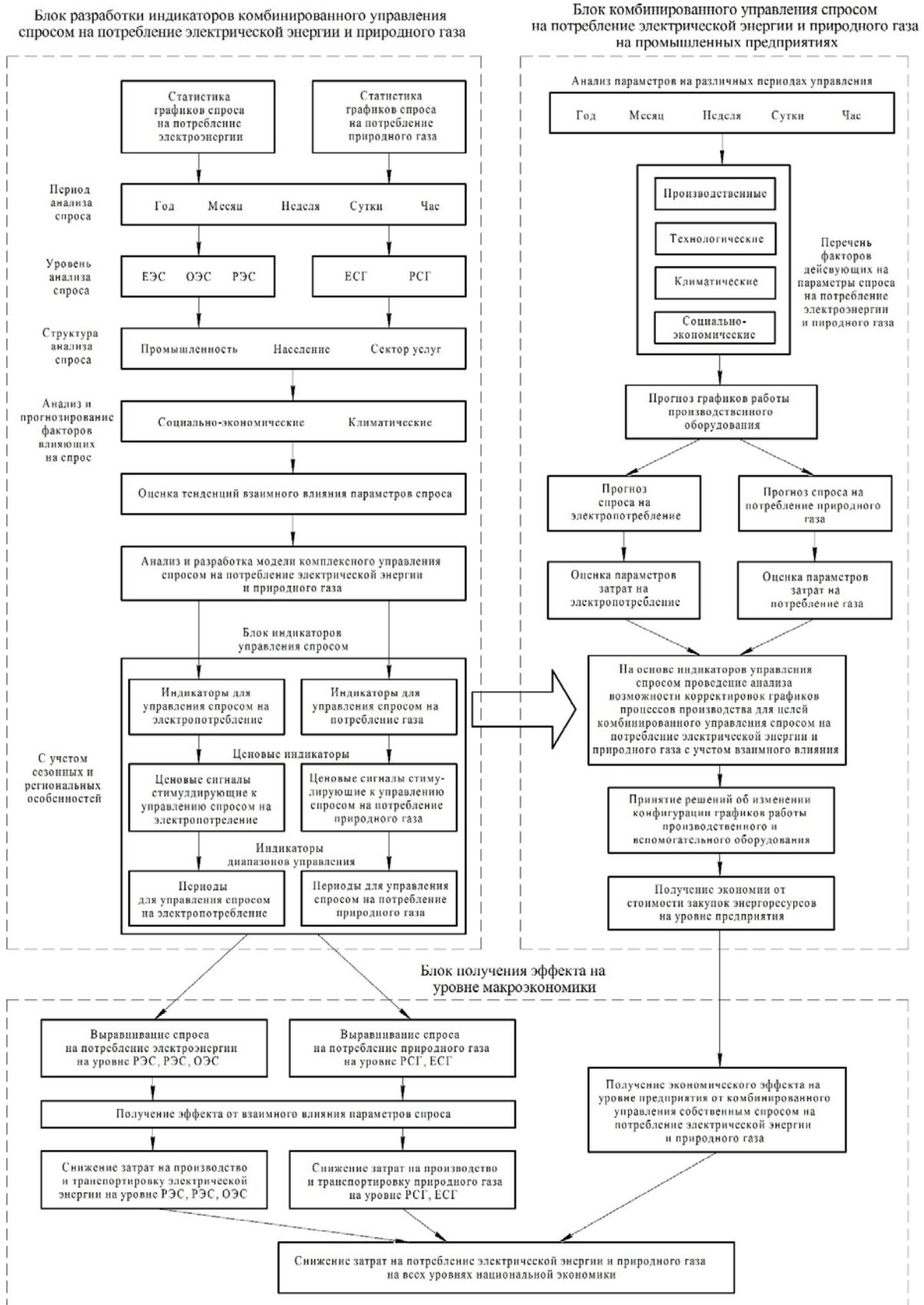


Рис. 8. Модель комбинированного управления спросом на потребление электроэнергии и природного газа на уровне ЕЭС

анализ и определение ценовых и интервальных параметров, стимулирующих потребителей энергетических ресурсов к управлению спросом.

Информационной базой для разработок этого блока является анализ статистических данных об уровне спроса на потребление энергоресурсов на различных уровнях: ЕЭС, ОЭС, РЭС, РСГ, ЕСГ, в разные временные периоды (год, месяц, неделя, сутки, час). Для учета структурных особенностей спроса на потребление энергоресурсов необходим анализ в разрезе основных групп потребителей: промышленность, население, сектор услуг, транспорт, строительство и пр. Для учёта изменений параметров спроса на потребление энергоресурсов на различных временных периодах управления производится оценка уровня влияющих факторов и учет взаимного влияния параметров спроса на потребление электрической энергии и природного газа.

Таким образом, результатом блока разработки индикаторов комбинированного управления спросом является набор индикаторов управления, учитывающих региональные особенности спроса на потребление энергоресурсов, а именно: интервалы для управления спросом для каждого региона, стимулирующие ценовые сигналы, обусловленные конъюнктурой рынка электроэнергии, стоимость поставок газа в регионе, структуру потребления энергоресурсов в регионе, сезонность изменения спроса в регионе, взаимное влияние спроса на потребление электрической энергии и природного газа в регионе.

В блоке комбинированного управления спросом на потребление электрической энергии и природного газа на промышленных предприятиях производится анализ, оценка и принятие решения о корректировке графиков работы производственного и вспомогательного оборудования предприятия с целью снижения величины затрат на закуп энергоресурсов. Опираясь на результаты прогнозирования производственных, технологических, климатических и социально-экономических факторов и анализа степени их влияния, строится прогнозный график работы производственного и вспомогательного оборудования для различных периодов управления [20]. На основе прогнозных графиков работы производственного и вспомогательного оборудования прогноз спроса на потребление электрической энергии и природного газа и оценка различных альтернатив управления спросом при изменении выбранных на предыдущем этапе индикаторов управления и выбирается наиболее оптимальный вариант корректировки совокупного графика спроса на потребление электроэнергии и газа.

В блоке оценки эффекта на уровне региона и макроэкономики рассчитывается потенциальный эффект от выравнивания спроса на потребление электрической энергии и природного газа в рамках ЕЭС, ОЭС, РЭС, РСГ, ЕСГ. Взаимное влияние

друг на друга потребления электроэнергии и природного газа вызывает синергетический эффект сокращения затрат на энергоресурсы на всех уровнях управления [21].

Пример апробации

Приведем пример апробации применения разработанной модели комбинированного управления спросом на электропотребление на уровне промышленного предприятия, расположенного в Челябинской области, с экстраполяцией на уровень региона. В рамках анализа неравномерности спроса было выявлено, что неравномерность спроса на потребление электроэнергии и природного газа наблюдается в периодах 12:00 до 14:00 каждый рабочий день. Неравномерность спроса формируется промышленным сектором. Разработанные индикаторы управления спросом на потребление электроэнергии и природного газа определили более высокие ценовые сигналы на поставку электроэнергии и природного газа на период с 12:00 до 14:00 в каждый рабочий день.

Промышленное предприятие, действующее на территории Челябинской области производит одновременное потребление электроэнергии и природного газа. Предприятием производится прогноз планового почасового потребления энергоресурсов с выполнением анализа плановой стоимости закупок энергоресурсов. На основе анализа индикаторов управления спросом предприятием принято решение об изменении конфигурации графиков работы производственного оборудования для целей снижения затрат на их закупку, в период с 12:00 до 14:00 в каждый рабочий день календарного месяца, с перенесением нагрузки в размере 7 % от объема спроса на другие периоды суток. Снижение графиков работы производственного оборудования для исследуемого предприятия позволяет снизить спрос на потребление как электроэнергии, так и природного газа. Расчеты полученного экономического эффекта для промышленного предприятия составляют 26 млн руб. в год. Экспертная экстраполяция полученного эффекта на экономику Челябинской области позволяет получить эффект в размере порядка 2 млрд руб. ежегодно, которые выразятся в снижении тарифов на закупку электрической энергии и природного газа для промышленных предприятий региона.

Обсуждение и выводы

По результатам проведенного исследования в качестве заключительных выводов можно констатировать следующее.

1. Механизм управления спросом на потребление электрической энергии является одним из современных и инновационных направлений повышения энергетической эффективности, реализуемым в мировой практике. Учитывая характеристики неравномерности спроса на потребление электрической энергии в России, реализация механизмов управления спросом позволит повысить

энергетическую эффективность потребления электроэнергии на уровне как отдельных потребителей, так регионов и страны в целом.

2. Выявленные технологические и экономические схожести параметров спроса на потребление природного газа с характеристиками потребления электрической энергии позволяют сделать вывод о возможности применения механизмов управления спросом к обращению природного газа, что позволяет снизить затраты на газоснабжение на уровне производства, передачи, распределения и потребления газа, что, в свою очередь, приводит к снижению тарифов на закуп газа для конечных потребителей.

3. В результате анализа факторов, оказывающих влияние на неравномерность спроса на потребление электроэнергии и природного газа, была выявлена схожесть, позволяющая выполнить их классификацию на производственные, технологические, социально-экономические и климатические. Выявленная общность характеристик влияющих факторов на потребление исследуемых энергоресурсов позволяет сделать вывод о возможности комбинированного управления спросом на потребление электроэнергии и природного газа.

4. Разработанная модель комбинированного управления спросом на потребление электроэнергии и природного газа на уровне ЕЭС позволяет ускорить процесс выравнивания графиков спроса, увеличить совокупный экономический эффект от сокращения затрат, повысить энергетическую эффективность как отдельных промышленных предприятий, так регионов и страны в целом. Приведенный пример апробации применения разработанной модели комбинированного управления спросом на примере промышленного предприятия, расположенного в Челябинской области, позволяет подчеркнуть эффективность применения разработанных положений не только в рамках отдельных промышленных предприятий, но и в масштабах экономики регионов и страны в целом.

Литература

1. Яковлев, А.С. Энергоэффективность и энергосбережение в России на фоне опыта зарубежных стран / А.С. Яковлев, Г.А. Барышева // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов.* – 2012. – Т. 321, № 6. – С. 25–30.

2. Башмаков И.А. Энергетика России: стратегия инерции или стратегия эффективности? // *Вопросы экономики.* – 2007. – № 8. – С. 104–122.

3. Umit, R. *The role of income in energy efficiency and curtailment behaviours: Findings from 22 European countries* / R. Umit, W. Poortinga, P. Jokinen, P. Pohjolainen // *Energy Research & Social Science.* – 2019. – Vol. 53. – P. 206–214. DOI: 10.1016/j.erss.2019.02.025

4. Chang, C.P. *Is higher government efficiency conducive to improving energy use efficiency? Evidence from OECD countries* / C.P. Chang, J. Wen, M. Zeng, M. Dong // *Economic Modelling.* – 2018. – Vol. 72. – P. 65–77. DOI: 10.1016/j.econmod.2018.01.006

5. Бадах, В.Ф. Реальное энергосбережение в ЖКХ России / В.Ф. Бадах, А.Д. Кузнецова // *Технико-технологические проблемы сервиса.* – 2015. – № 1 (31). – С. 114–118.

6. Feng, J. *Evaluating Demand Response Impacts on Capacity Credit of Renewable Distributed Generation in Smart Distribution Systems* / J. Feng, B. Zeng, D. Zhao, G. Wu, Z. Liu, J. Zhang // *IEEE Access.* Volume: 6. – 2018. pp. 14307–14317. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2745198

7. Emec, S. *Potential for demand side management in automotive manufacturing* / S. Emec, M. Kuschke, M. Chemnitz // *Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT EUROPE).* – 2013. – P. 1–5. DOI: 10.1109/ISGTEurope.2013.6695303

8. Соловьева, И.А. Исследование динамики электропотребления на региональном уровне по показателям волатильности спроса / И.А. Соловьева, А.П. Дзюба // *Энергетическая политика.* – 2016. – № 5. – С. 70–82.

9. Баев И.А., Соловьева И.А., Дзюба А.П. Внедрение модели ценозависимого управления спросом на электропотребление в промышленности // *Управленец.* – 2018. – Т. 9, № 6. – С. 111–121. DOI: 10.29141/2218-5003-2018-9-6-11.

10. *Позиции природного газа в энергобалансе: Бюллетень Аналитического центра при Правительстве РФ.* – 2015. – № 28. – 30 с. – <http://ac.gov.ru/files/publication>.

11. Комков, Н.И. Теоретические проблемы формирования рынка природного газа в России / Н.И. Комков, М.В. Кротова, С.В. Худавердиев // *Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН.* – 2010. – № 1. – С. 72–95.

12. Дзюба, А.П. Краткосрочное прогнозирование параметров потребления природного газа как элемент ценозависимого управления энергозатратами на промышленных предприятиях / А.П. Дзюба, И.А. Соловьева // *Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология.* – 2018. – Т. 20, № 1. – С. 78–90.

13. Olive, L.T.W. *A Hitchhiker's Guide to Gas Demand Response* / Laura T.W. Olive // *Nera economic consulting.* – 2019. – P. 1–14. – <https://www.nera.com/publications/archive/2019/a-hitchhiker-s-guide-to-gas-demand-response.html>

14. Feldman, B. *Natural Gas Demand Response – Not Just for Electricity Any More: Part 1* / B. Feldman / *Navigant research.* 2017. – <https://www.navigantresearch.com/news-and-views/natural-gas-demand-response-not-just-for-electricity-any-more-part-1>

15. Montuori, L. *Application of demand response strategies for the management of natural gas systems under the smart grid configuration: development of a methodology for technical, economic and environmental evaluation* / L. Montuori. – 2017. – 2018 p.

16. Su, H. *A systematic data-driven Demand Side Management method for smart natural gas supply systems* / H. Su, E. Zio, J. Zhang, L. Chi, Z. Zhang // *Energy Conversion and Management*. 2019. – Vol. 185. – P. 368–383. DOI: 10.1016/j.enconman.2019.01.114

17. Татаркин, А.И. *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 /*

А.И. Татаркин и др.; отв. ред. А.И. Татаркин. – Екатеринбург: УрО РАН, 1997. – 37 с.

18. *Gas 2017. Analysis and Forecasts to 2022* / IEA. *Report of International Energy Agency*. – 136 p. – <http://data.iea.org>.

19. Гусакова, Н.Р. *Энергоемкость и энергоэффективность российской промышленности* / Н.Р. Гусакова // *Terra Economicus*. – 2014. – № 2. – С. 107–113.

20. *Электроэнергетика: время сокращать издержки. Энергетический бюллетень Аналитического центра при правительстве РФ. – Июль 2016. – 28 с. – <http://ac.gov.ru/files/publication/a/9764.pdf>*

21. Limaye, D.R. *Implementation of demand-side management programs* / D.R. Limaye // *Published in: Proceedings of the IEEE*. – 1985. – Vol. 73, Iss. 10. – P. 1503–1512. DOI: 10.1109/PROC.1985.13322

Дзюба Анатолий Петрович, старший научный сотрудник кафедры «Финансовые технологии» ВШЭУ, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), dzyuba-a@yandex.ru

Поступила в редакцию 15 августа 2019 г.

DOI: 10.14529/em190304

INTEGRATED DEMAND MANAGEMENT FOR ENERGY RESOURCES AT INDUSTRIAL ENTERPRISES AND IN THE REGION

A.P. Dziuba

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The article regards the problem of integrated demand management for electricity and natural gas consumption at the level of the Unified Energy System of Russia. The author analyzes the technological and economic features of the processes of production, transmission, distribution and consumption of electricity and natural gas at the level of individual industrial enterprises and regions of Russia, proving the need and feasibility of comprehensive management of demand for their consumption. The author has classified the factors that simultaneously affect the volatility of demand parameters for the consumption of electric energy and natural gas at industrial enterprises, the accounting of which is a key aspect of the information base for managing the demand for energy resources. The article describes the developed model of combined demand management for electricity and natural gas consumption at the UES level, the peculiarity of which is the comprehensive management of demand for electric energy and natural gas, taking into account the general characteristics that affect their consumption, and the synergies of the mutual influence of demand on the consumption of electricity and natural gas. Results of the research have both theoretical and practical significance and can be used in the development of energy efficiency enhancement programs both at the level of individual enterprises and at the level of regions and the country as a whole.

Keywords: demand volatility for energy consumption, demand for electricity consumption, demand for natural gas consumption, demand management for energy consumption, energy efficiency, the model of combined demand management.

References

1. Yakovlev A.S., Barysheva G.A. [Energy efficiency and energy saving in Russia against the background of the experience of foreign countries]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurosov* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo-Resource Engineering], 2012, vol. 321, no. 6, pp. 25–30. (in Russ.)
2. Bashmakov I.A. [Electric power industry of Russia: inertia strategy or efficiency strategy]. *Voprosy ekonomiki*, 2007, no. 8, pp. 104–122. (in Russ.)
3. Umit R., Poortinga W., Jokinen P., Pohjolainen P. The role of income in energy efficiency and curtailment behaviours: Findings from 22 European countries. *Energy Research & Social Science*, 2019, vol. 53, pp. 206–214. DOI: 10.1016/j.erss.2019.02.025
4. Chang C.P., Wen J., Zeng M., Dong M. Is higher government efficiency conducive to improving energy use efficiency? Evidence from OECD countries. *Economic Modelling*, 2018, vol. 72, pp. 65–77. DOI: 10.1016/j.econmod.2018.01.006
5. Badakh V.F., Kuznetsova A.D. [Real energy saving in the housing and communal services of Russia]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa* [Technical and technological problems of service], 2015, no. 1 (31), pp. 114–118. (in Russ.)
6. Feng J., Zeng B., Zhao D., Wu G., Liu Z., Zhang J. Evaluating Demand Response Impacts on Capacity Credit of Renewable Distributed Generation in Smart Distribution Systems. *IEEE Access*, 2018, vol. 6, pp. 14307–14317. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2745198
7. Emec S., Kuschke M., Chemnitz M. Potential for demand side management in automotive manufacturing. *Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT EUROPE)*, 2013, pp. 1–5. DOI: 10.1109/ISGTEurope.2013.6695303
8. Solovyeva I.A., Dzyuba A.P. Research of electrical energy consumption dynamics at the regional level by demand volatility indicators. *Energeticheskaya politika* [Energy Policy], 2016, no. 5, pp. 70–82. (in Russ.)
9. Baev I.A., Solov'eva I.A., Dzyuba A.P. [Introducing a model for price-dependent management of industrial demand for energy resources]. *Upravlenets* [The Manager], 2018, vol. 9, no. 6, pp. 111–121. (in Russ.) DOI: 10.29141/2218-5003-2018-9-6-11
10. *Pozitsii prirodnogo gaza v energobalanse: Byulleten' Analiticheskogo tsentra pri Pravitel'stve RF* [Positions of natural gas in the energy balance: Bulletin of the Analytical Center under the Government of the Russian Federation], 2015, no. 28. 30 p. Available at: <http://ac.gov.ru/files/publication>.
11. Komkov N.I., Krotova M.V., Khudaverdiev S.V. [Theoretical problems of the formation of the natural gas market in Russia]. *Nauchnye trudy: Institut narodnokhozyaystvennogo prognozirovaniya RAN* [Scientific works: Institute of Economic Forecasting RAS], 2010, no. 1, pp. 72–95. (in Russ.)
12. Dzyuba A.P., Solovyeva I.A. Short-term forecasting of the parameters of natural gas consumption as an element of price-dependent management of energy costs in industrial enterprises. *Vestnik Volgogradskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya 3, Ekonomika. Ekologiya* [Science Journal of VolSU. Global Economic System], 2018, vol. 20, no. 1, pp. 78–90. (in Russ.) DOI: 10.15688/jvolsu3.2018.1.8
13. Olive L.T.W. A Hitchhiker's Guide to Gas Demand Response. *Nera economic consulting*, 2019. pp. 1–14. Available at: <https://www.nera.com/publications/archive/2019/a-hitchhiker-s-guide-to-gas-demand-response.html>
14. Feldman B. Natural Gas Demand Response – Not Just for Electricity Any More: Part 1. *Navigant research*, 2017. Available at: <https://www.navigantresearch.com/news-and-views/natural-gas-demand-response-not-just-for-electricity-any-more-part-1>
15. Montuor L. *Application of demand response strategies for the management of natural gas systems under the smart grid configuration: development of a methodology for technical, economic and environmental evaluation*. 2017. 2018 p. DOI: 10.4995/Thesis/10251/90407
16. Su H., Zio E., Zhang J., Chi L., Zhang Z. A systematic data-driven Demand Side Management method for smart natural gas supply systems. *Energy Conversion and Management*, 2019, vol. 185, pp. 368–383. DOI: 10.1016/j.enconman.2019.01.114
17. Tatarkin A.I. et al. *Povyshenie effektivnosti energeticheskoy i ekonomicheskoy bezopasnosti regiona na osnove upravleniya rezhimami elektropotrebleniya. Ch. 1.: Metodicheskie osnovy analiza i prognozirovaniya tseny proizvodstva elektroenergii v regional'nykh elektroenergeticheskikh sistemakh s uchetom rezhimnykh faktorov* [Improving the efficiency of energy and economic security of the region through the management of energy consumption regimes. Part 1: Methodological foundations of analysis and forecasting the price of electricity production in regional electric power systems, taking into account regime factors]. Ekaterinburg, 1997. 37 p.
18. *Gas 2017. Analysis and Forecasts to 2022 IEA. Report of International Energy Agency*. 136 p. Available at: <http://data.iea.org>.

19. Gusakova N.R. [Power capacity and energy efficiency of the Russian industry]. *Terra Economicus*, 2014, no. 2, pp. 107–113. (in Russ.)

20. *Elektroenergetika: vremya sokrashchat' izderzhki. Energeticheskiy byulleten' Analiticheskogo tsentra pri pravitel'stve RF* [Electric power industry: time to cut the costs. Energy Bulletin of the Analytical Center under the Government of the Russian Federation], July 2016. 28 p. Available at: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/9764.pdf>

21. Limaye D.R. Implementation of demand-side management programs. *Proceedings of the IEEE*, 1985, vol. 73, iss. 10, pp. 1503–1512. DOI: 10.1109/PROC.1985.13322

Anatoly P. Dziuba, Senior research fellow at the Department of Financial Technology, School of Economics and Management, South Ural State University (NRU), Chelyabinsk, dzyuba-a@yandex.ru

Received August 15, 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Дзюба, А.П. Комплексное управление спросом на энергоресурсы на промышленных предприятиях и в регионе / А.П. Дзюба // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2019. – Т. 13, № 3. – С. 33–45. DOI: 10.14529/em190304

FOR CITATION

Dziuba A.P. Integrated Demand Management for Energy Resources at Industrial Enterprises and in the Region. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2019, vol. 13, no. 3, pp. 33–45. (in Russ.). DOI: 10.14529/em190304
