

## МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 338.32 + 658.5.011 + 622.691-50

DOI: 10.17223/19988648/45/15

А.П. Дзюба, И.А. Соловьева

### ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СПРОСОМ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ И ГАЗ С МАЛОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Статья посвящена разработке комплексной модели управления энергетическими затратами крупных потребителей электроэнергии на основе интеграции модели ценозависимого управления спросом на потребление электрической энергии, природного газа и системы малой распределенной генерации. Доказывается возможность и целесообразность комплексного ценозависимого управления спросом на потребление электрической энергии и природного газа. Разработанная модель позволяет повысить экономическую эффективность использования систем малой распределенной генерации.*

*Ключевые слова: малая распределенная энергетика, малая генерация, ценозависимое потребление, электропотребление, потребление газа, энергоэффективность, электроэнергетика, топливно-энергетический комплекс, энергорынок, моделирование.*

**Введение.** Одной из базовых составляющих современного технологического уклада развития глобальной экономической системы является совершенствование технологий энергосбережения и повышения энергетической эффективности, внедрение которых на уровне национальных экономик либо отдельных крупных потребителей энергетических ресурсов позволяет без значительных инвестиционных вложений осуществить качественный скачок роста эффективности и экономической устойчивости функционирования хозяйствующих субъектов. Рост стоимости углеводородного сырья на мировых энергетических рынках, сопровождаемый ростом мирового спроса на энергоресурсы, обуславливает привлечение внимания к развитию теоретических, методологических и методических разработок в области повышения энергетической эффективности.

Из технологий, получивших наибольшую популярность среди потребителей энергоресурсов России, следует отметить использование систем автономных источников энергоснабжения, называемых системами малой распределенной энергетики. Последние представляют собой автономные электростанции средней мощности (до 25 МВт и (или) 20 Гкал/ч), устанавливаемые на производственных площадках конкретных потребителей электроэнергии и предназначены для выработки электрической и (или)

тепловой энергии [1, 2]. Преимуществами использования систем малой распределенной генерации является расположение источника энергоснабжения в непосредственной близости от энергопотребляющих объектов, что позволяет снизить потери на производство и распределение энергоресурсов.

С одной стороны, распространенность электросетевой инфраструктуры в России, способной обеспечить требуемый спрос на энергетические мощности и относительно низкий уровень тарифов на поставляемую электроэнергию, существенно ограничивает экономическую целесообразность использования систем распределенной генерации. С другой стороны, высокий КПД электростанций, работающих на природном газе, развитая газотранспортная инфраструктура России, особенно в европейской части страны, значительный спад спроса на потребление газа со стороны промышленных предприятий и сравнительно низкие тарифы на поставку газа в России по сравнению со странами мира (рис. 1) обеспечивают технологическую и экономическую доступность использования систем распределенной генерации. Стоимость поставляемого природного газа в России (рис. 1) является одной из самых низких в мире (в 3,5 раза ниже, чем в Турции, в 5,7 раза ниже, чем в Великобритании, в 7,3 раза ниже, чем в Германии, в 9 раз ниже по сравнению с Нидерландами).

**Актуальность исследования.** Актуальным вопросом для отечественных и зарубежных исследований в области применения систем малой распределенной генерации остается повышение экономической эффективности их использования [4, 5] за счет совершенствования технологических процессов, направленных на снижение потерь и повышение КПД [6], за счет снижения топливной составляющей в себестоимости выработки электроэнергии [7], за счет повышения эффективности процесса выработки электроэнергии [8].

Повышение экономической эффективности работы систем малой распределенной генерации позволяет:

- сократить срок окупаемости инвестиций на покупку, установку и эксплуатацию системы малой распределенной генерации;
- увеличить количество объектов, обслуживаемых системой распределенной генерации;
- сократить риск поставщика (изменение цен поставки энергоресурсов от альтернативных поставщиков и цен сырья, используемого системой распределенной генерации);
- повысить эффективность основной деятельности потребителей энергоресурсов, использующих системы распределенной генерации.

Одними из современных инновационных механизмов, позволяющих повысить экономическую эффективность потребления электроэнергии, являются технологии ценозависимого потребления, заключающиеся в управлении стоимостью закупок энергоресурсов посредством регулирования графиков собственного спроса на электрическую энергию и природный газ с учетом рыночных параметров их закупок [9]. Механизм ценозависимого потребления электрической энергии и природного газа позволяет

снижать удельную стоимость закупаемых энергоресурсов без снижения объемов их суммарного потребления.

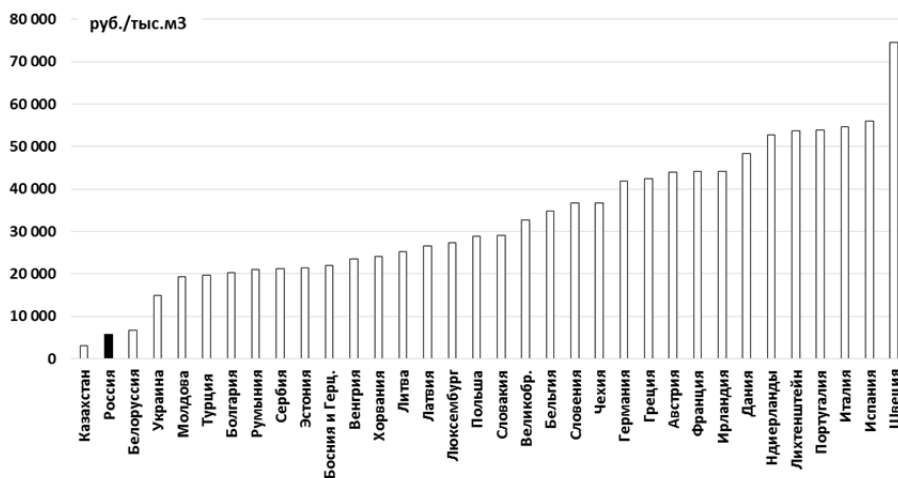


Рис. 1. Рейтинг стран Европы по стоимости природного газа для населения в 2017 г. [3]

Для потребителей электроэнергии, имеющих системы малой распределенной генерации, работающие на природном газе, и одновременно закупающих часть потребляемой электрической энергии из ЕЭС, существует возможность гибкого управления собственным спросом на энергоресурсы.

**Методология исследования.** Экономический эффект от потребления 1 кВт\*ч электроэнергии, произведенной системой малой распределенной генерации,  $\Delta T_{\text{мес}}$  можно определить по формуле

$$\Delta T_{\text{мес}} = \frac{S_{\text{мес}}^{\text{ЕЭС}}}{W_{\text{мес}}^{\text{ЕЭС}}} - \frac{S_{\text{мес}}^{\text{МРГ}}}{W_{\text{мес}}^{\text{МРГ}}}, \quad (1)$$

где  $S_{\text{мес}}^{\text{ЕЭС}}$  – стоимость электроэнергии, закупленной из ЕЭС за расчетный месяц (руб.);  $S_{\text{мес}}^{\text{МРГ}}$  – стоимость электроэнергии, выработанной системой малой распределенной генерации за расчетный месяц (руб.);  $W_{\text{мес}}^{\text{ЕЭС}}$  – величина электроэнергии, закупленной из ЕЭС за расчетный месяц (кВтч);  $W_{\text{мес}}^{\text{МРГ}}$  – величина электроэнергии, выработанной системой малой распределенной генерации за расчетный месяц (кВтч).

Таким образом, эффект от использования системы малой распределенной генерации  $\Delta T_{\text{мес}}$  – это разница между тарифом на электроэнергию, закупаемую из ЕЭС, и тарифом на электроэнергию, вырабатываемую системой малой распределенной генерации.

Совокупный экономический эффект от выработки электроэнергии при помощи системы малой распределенной генерации за месяц  $\Delta E_{\text{мес}}$  определяется по формуле (2), а средний тариф на потребление электрической энергии  $T_{\text{мес}}$  за период – по формуле (3):

$$\Delta E_{\text{мес}} = \Delta T_{\text{мес}} \times W_{\text{мес}}^{\text{МРГ}}, \quad (2)$$

$$T_{\text{мес}} = \frac{S_{\text{мес}}^{\text{ЕЭС}} + S_{\text{мес}}^{\text{МРГ}}}{W_{\text{мес}}^{\text{ЕЭС}} + W_{\text{мес}}^{\text{МРГ}}} \quad (3)$$

Очевидно, что  $\Delta T_{\text{мес}}$ ,  $\Delta E_{\text{мес}}$ ,  $T_{\text{мес}}$  зависят как от стоимости выработанной и потребленной электроэнергии  $S_{\text{мес}}^{\text{ЕЭС}}$  и  $S_{\text{мес}}^{\text{МРГ}}$ , так и от соотношения между их объемами  $W_{\text{мес}}^{\text{ЕЭС}}$  и  $W_{\text{мес}}^{\text{МРГ}}$ .

Вся электроэнергия, обращающаяся в ЕЭС России, продается и покупается в рамках оптового и розничного рынков электроэнергии. Конечная стоимость электроэнергии, закупаемой крупными потребителями из ЕЭС ( $S^{\text{ЕЭС}}$ ) состоит из трех основных компонент, структура которых проиллюстрирована на рис. 2, и рассчитывается по формуле (4) [10].



Рис. 2. Структура стоимости электроэнергии в России для промышленных потребителей

$$S^{\text{ЕЭС}} = SW + SP + СП, \quad (4)$$

где  $SW$  – стоимость электрической энергии (руб.);  $SP$  – стоимость электрической мощности (руб.);  $СП$  – стоимость услуг по передаче электроэнергии (руб.).

Величина каждой из компонент стоимости (стоимость электрической энергии, стоимость электрической мощности и стоимость услуг по передаче электроэнергии) для каждого потребителя рассчитывается индивидуально, на основе его фактического почасового графика спроса на электропотребление. Таким образом, в зависимости от вида и структуры графика спроса на электропотребление величина стоимости электроэнергии, закупаемой потребителем из ЕЭС, может существенно варьироваться:

$$S^{\text{ЕЭС}} \neq \text{const}; \quad S^{\text{ЕЭС}} = \begin{cases} SW = f(W_t^{\text{ЕЭС}}) \\ SP = f(W_t^{\text{ЕЭС}}) \\ СП = f(W_t^{\text{ЕЭС}}) \end{cases}, \rightarrow S^{\text{ЕЭС}} = f(W_t^{\text{ЕЭС}}), \quad (5)$$

где  $W_t^{\text{ЕЭС}}$  – график почасового спроса на потребление электрической энергии из ЕЭС (кВтч).

Для потребителей, использующих системы малой распределенной генерации, спрос на электрическую энергию, потребляемую из ЕЭС, в конкретный час суток определяется по формуле

$$W_t^{\text{ЕЭС}} = W_t^{\text{Спрос}} - W_t^{\text{СМГ}}, \quad (6)$$

где  $W_t^{\text{Спрос}}$  – суммарный спрос на электропотребление со стороны потребителя в час  $t$  (кВтч);  $W_t^{\text{СМГ}}$  – объем часовой выработки электроэнергии системой малой генерации (кВтч).

Таким образом, почасовой график величины электрической энергии, потребляемой промышленным предприятием из ЕЭС, представляет собой почасовую разницу между спросом на электропотребление со стороны всех электропотребляющих объектов предприятия и почасового графика выработки электроэнергии системой малой генерации (рис. 3).

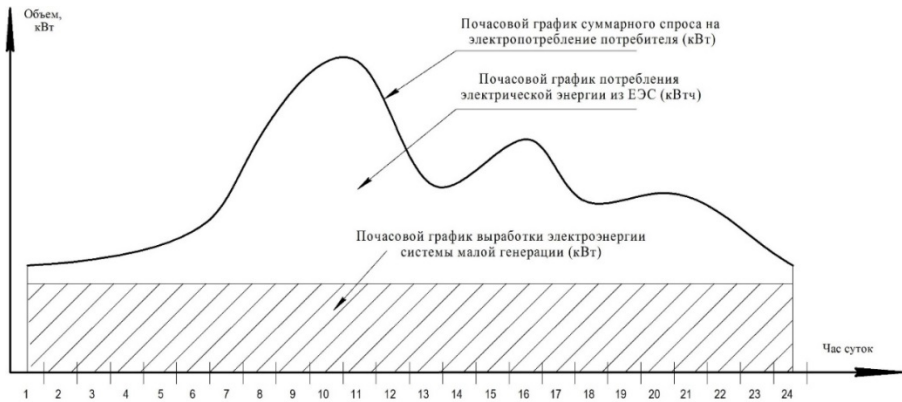


Рис. 3. Пример распределения покрытия графика спроса на электропотребление предприятия между почасовым графиком выработки электроэнергии системой малой генерации и величиной потребления из ЕЭС

Учитывая особенности ценозависимого управления электропотреблением, график выработки электроэнергии системой малой генерации можно корректировать в зависимости от ценовых параметров рынка электроэнергии, тем самым минимизируя стоимость электроэнергии, закупаемой из ЕЭС  $S^{\text{ЕЭС}}$ .

При этом степень регулирования графика выработки электроэнергии системой малой распределенной генерации имеет существенные ограничения. Так как основной составляющей стоимости вырабатываемой электроэнергии [формула (7)] является цена топлива, то существенным ограничением изменений в работе системы малой распределенной генерации служит величина договорных лимитов на выборку газа из ЕСГ, превышение которых может в значительной степени увеличить затраты на выработку электроэнергии:

$$S_{\text{мес}}^{\text{СМГ}} = S_{\text{мес}}^{\text{ГАЗ}} + S_{\text{мес}}^{\text{прочие}}, \quad (7)$$

$S_{\text{мес}}^{\text{ГАЗ}}$  – стоимость закупленного природного газа на выработку электроэнергии системой малой распределенной генерации за расчетный месяц (руб.);  $S_{\text{мес}}^{\text{прочие}}$  – прочие затраты, влияющие на стоимость выработки электроэнергии системой малой распределенной генерации за расчетный месяц (руб.).

График выработки электроэнергии системой малой распределенной генерации синхронен с графиком потребления природного газа из ЕСГ (рис. 4), что объясняется зависимостью нагрузки генератора системы малой распределенной генерации от интенсивности сгорания природного газа [формула (8)].

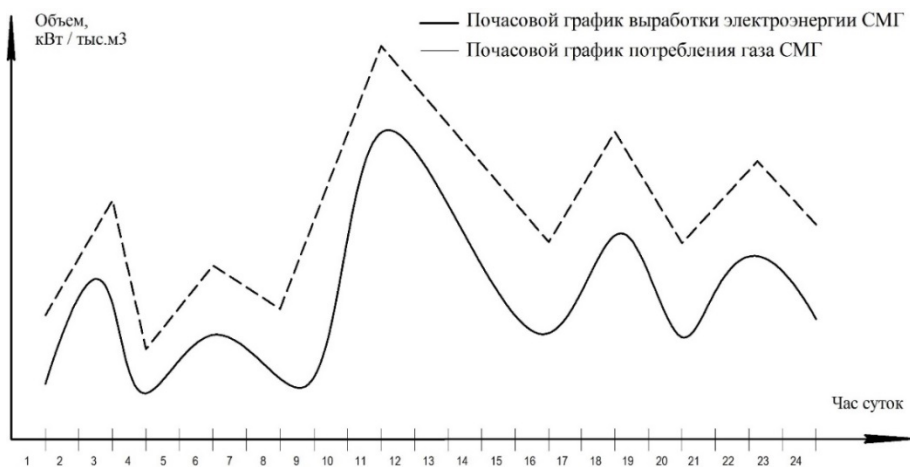


Рис. 4. Конфигурация графика выработки электроэнергии системой малой распределенной генерации и графика потребления газа на выработку электроэнергии

$$Q_{\text{сут}}^{\text{факт}} = (f) W_{\text{сут}}^{\text{МРГ}}, \quad (8)$$

где  $Q_{\text{сут}}^{\text{факт}}$  – объем потребления газа системой малой распределенной генерации (тыс. м<sup>3</sup>).

Согласно условиям договоров на поставку газа региональными газоснабжающими организациями выборка газа в течение календарного месяца осуществляется при выполнении условия равномерности посуточного потребления и объем выборки рассчитывается по формуле

$$V_{\text{сут\_месяц\_x}}^{\text{лимит}} = V_{\text{мес\_x}}^{\text{лимит}} / n_{\text{мес\_x}}^{\text{дни}}, \quad (9)$$

где  $V_{\text{сут\_месяц\_x}}^{\text{лимит}}$  – величина суточного лимита выборки газа в месяц  $x$  (тыс. м<sup>3</sup>);  $V_{\text{мес\_x}}^{\text{лимит}}$  – величина месячного лимита выборки газа в месяц  $x$  (тыс. м<sup>3</sup>);  $n_{\text{мес\_x}}^{\text{дни}}$  – количество календарных дней в месяце  $x$  [11].

На рис. 5 представлен пример посуточных лимитов выборки газа для календарного месяца, величины допустимых коридоров выборки газа и график потребления газа конкретного потребителя. Как видно, посуточные лимиты являются константой в течение расчетного месяца поставки газа при волатильном характере фактического потребления, которое может выходить за рамки допустимого коридора.



Рис. 5. Пример суточных лимитов и графика посуточного потребления газа крупным потребителем

Таким образом, в случае если объем потребления газа превысил величину суточного лимита, объем потребления сверх лимита будет рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{сут\_месяц\_х}}^{\text{сверхлимит}} = Q_{\text{сут}}^{\text{факт}} - V_{\text{сут\_месяц\_х}}^{\text{лимит}} \times 1,1, \quad (10)$$

где  $Q_{\text{сут\_месяц\_х}}^{\text{сверхлимит}}$  – объем суточного потребления газа предприятием, оплачиваемый с завышенным коэффициентом (тыс. м<sup>3</sup>);  $Q_{\text{сут}}^{\text{факт}}$  – суточная величина фактического потребления газа предприятием (тыс. м<sup>3</sup>).

Если  $Q_{\text{сут\_месяц\_х}}^{\text{сверхлимит}} < 0$ , то величина  $Q_{\text{сут\_месяц\_х}}^{\text{сверхлимит}} = 0$ .

В случае потребления газа ниже величины установленного коридора среднесуточной нормы выборки газа потребитель несет штрафные санкции согласно объемам недопотребления. При этом согласно правилам поставки газа в РФ [12] при невыборке газа покупателями, потребляющими до 10 000 тыс. м<sup>3</sup> газа в год, объем невыбранного газа не оплачивается и санкции за невыборку газа не предусматриваются.

Таким образом, в случае если объем потребления газа оказался ниже величины суточного лимита, объем потребления, оплачиваемый с штрафными санкциями, будет рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{сут\_месяц\_х}}^{\text{невыборка}} = V_{\text{сут\_месяц\_х}}^{\text{лимит}} \times 0,8 - Q_{\text{сут}}^{\text{факт}}, \quad (11)$$

где  $Q_{\text{сут\_месяц\_х}}^{\text{невыборка}}$  – величина невыбранного объема суточного потребления газа предприятием, попадающая под штрафные санкции (тыс. м<sup>3</sup>).

Если  $Q_{\text{сут\_месяц\_х}}^{\text{невыборка}} < 0$ , то величина  $Q_{\text{сут\_месяц\_х}}^{\text{невыборка}} = 0$ .

Стоимость газа, потребленного сверх допустимых коридоров выборки газа за расчетный месяц, рассчитывается по формуле

$$P_{\text{месяц\_х}}^{\text{сверхлимит}} = \sum_n^{\text{месяц\_х}} Q_{\text{сут\_месяц\_х}}^{\text{сверхлимит}} \times T_{\text{газ}} \times K^{\text{сверхлимит}}, \quad (12)$$

где  $P_{\text{месяц}_x}^{\text{сверхлимит}}$  – стоимость покупки сверхлимитного объема газа в месяце  $x$  (руб. в мес.);  $T_{\text{газ}}$  – тариф за поставляемый газ (руб./тыс.  $\text{м}^3$ );  $K^{\text{сверхлимит}}$  – величина превышающего коэффициента:

– для периода с 15 апреля по 15 сентября  $K^{\text{сверхлимит}} = 1,1$ ;

– для периода с 16 сентября по 14 апреля  $K^{\text{сверхлимит}} = 1,5$ .

Таким образом, ценозависимое управление графиком спроса на электропотребление посредством покрытия части спроса потребителя системой малой генерации заключается в оперативном регулировании работы малой распределенной генерации с целью минимизации затрат на энергоресурсы [13]. При этом важно помнить, что есть вероятность ситуации, когда тариф производства электроэнергии системой малой распределенной генерации выше тарифа на потребление электроэнергии из ЕЭС вследствие несоблюдения лимитов на выборку предприятием природного газа:

$$\frac{S_{\text{мес}}^{\text{ЕЭС}}}{W_{\text{мес}}^{\text{ЕЭС}}} < \frac{S_{\text{мес}}^{\text{МРГ}}}{W_{\text{мес}}^{\text{МРГ}}} \quad (14)$$

При этом, как видно из формулы (9), лимиты на выборку газа ограничены лишь суточным периодом, а ценозависимое управление спросом на потребление электроэнергии производится с почасовой дискретностью, что обеспечивает возможность управления внутрисуточной волатильностью выработки электроэнергии системой малой генерации с условием не превышения лимитов по выборке газа в разрезе суток.

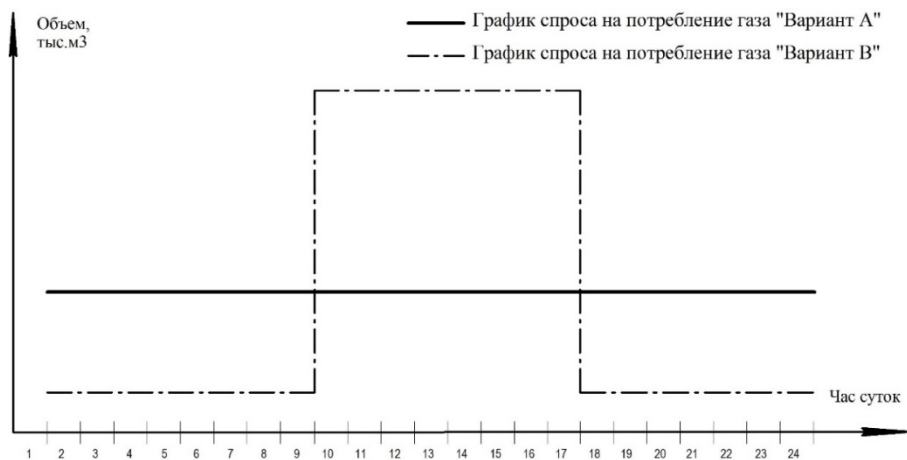


Рис. 6. Пример вариантов графиков почасового спроса на выборку газа

На рис. 6 представлен пример двух вариантов почасовых графиков спроса на потребление природного газа в разрезе суток. На графике «А» спрос является равномерным в каждый час суток, а почасовые объемы потребления газа на графике «В» варьируются, при этом в периоде с 10 по 17 час объемы потребления газа превышают показатели графика «А», в



остальные периоды существенно ниже. Несмотря на различие почасовых объемов спроса на потребление газа в вариантах «А» и «В», объемы суточного потребления эквивалентны и выборка газа по варианту «В» находится в рамках лимитов и оплачивается по базовым тарифам.

Таким образом, управление волатильностью производства электроэнергии системой малой распределенной генерации позволяет использовать ценозависимое управление стоимостью закупки электроэнергии из ЕЭС, не превышая действующих лимитов на выборку газа, а следовательно, снижать затраты на закупку электроэнергии без увеличения затрат на ее производство системой малой генерации.

**Модель ценозависимого управления спросом.** Учитывая особенности ценообразования и правила закупа электроэнергии и природного газа, авторы разработали модель ценозависимого управления спросом на электропотребление на базе интегрирования с системой малой распределенной генерации (рис. 7).

Модель состоит из ряда последовательно реализуемых блоков. Вначале производится планирование распределения объемов выработки электроэнергии системой малой генерации и потребления электроэнергии из ЕЭС на различные периоды управления, разделяемые на сутки, неделю, месяц, квартал и т.д.

Основой модели является прогнозный почасовой график электропотребления предприятия на различные периоды управления, корректировкой которого производится моделирование стоимости покупки электроэнергии, закупаемой потребителем из ЕЭС, посредством разработки и анализа различных вариантов структуры покрытия совокупного спроса на электропотребление системой малой распределенной генерации [14]. Обязательным звеном служит анализ технологических возможностей почасовой выработки электроэнергии системой малой генерации на рассматриваемые периоды управления, учет ограничений, таких как наличие запасов топлива, график ремонтов, режимы работы сети, пропускная способность электрических сетей. Результатом анализа выступает моделирование различных вариантов структуры покрытия почасового графика спроса на электропотребление потребителя электроэнергии с учетом выявленных технологических ограничений на различные периоды управления.

Параллельно производится расчет договорных лимитов на поставку газа для каждых суток, определяются величины коридоров выхода за рамки допустимых лимитов, оценка ценовых параметров закупок газа в случаях выхода за рамки допустимых лимитов. Учитывая стоимостные параметры закупки газа, для различных вариантов структуры покрытия графиков спроса на электропотребление системой малой генерации производится расчет величины затрат на газ и стоимость выработки электроэнергии системой малой генерации для каждого сценария.

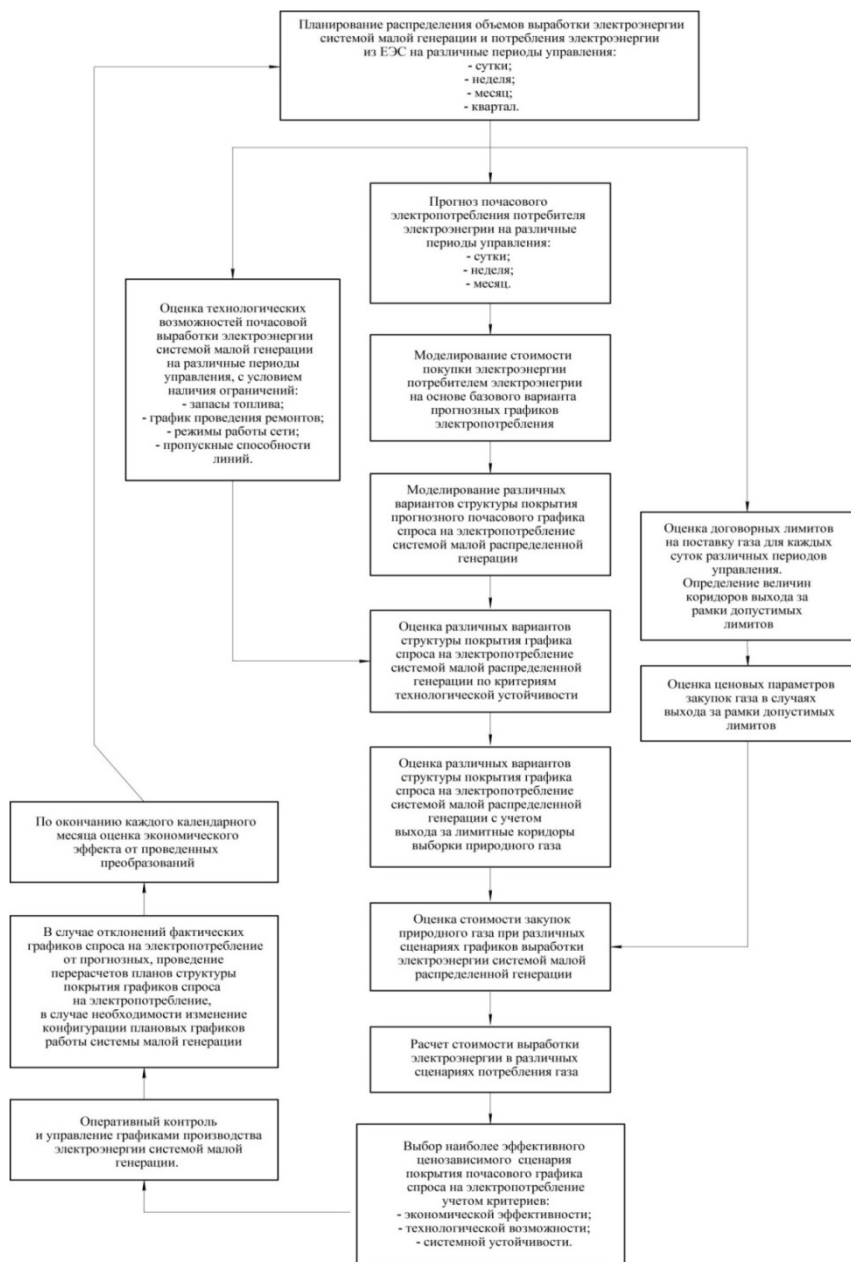


Рис. 7. Модель ценозависимого управления спросом на потребление электроэнергии и природного газа на базе интегрирования с системой малой распределенной генерации

Следующим этапом осуществляется оценка стоимостных параметров потребления электроэнергии для различных вариантов (сценариев) струк-

туры покрытия почасового спроса и производится выбор оптимального варианта по критериям экономической эффективности, технологической возможности и системной устойчивости.

После определения варианта покрытия почасового графика спроса на электропотребление и внедрения его в работу производится оперативный контроль и управление графиками производства электроэнергии системой малой генерации. В случае отклонений фактических графиков спроса на электропотребление от прогнозных выполняется перерасчет эффективности вариантов структуры покрытия графика спроса на электропотребление, и в случае необходимости корректируется работа системы малой генерации. По окончании каждого календарного месяца (расчетный период для закупок электроэнергии на оптовом и розничном рынках) производится оценка экономического эффекта от проведенных преобразований.

**Опыт практического применения.** На рис. 8 представлен пример применения модели ценозависимого управления спросом на электропотребление на базе интеграции с системой малой распределенной генерации на данных промышленного потребителя электроэнергии, расположенного в Пермском крае. При эквивалентном совокупном графике спроса на электропотребление промышленного предприятия приведено два варианта формирования графика выработки электроэнергии системой малой генерации, с учетом которых определяется повариантный график потребления электрической энергии из ЕЭС.

На графиках «А» представлен вариант выработки электроэнергии системой малой генерации без учета ценозависимого потребления электроэнергии из ЕЭС, и в этом случае график выработки электроэнергии системой малой генерации и, соответственно, график потребления природного газа имеют постоянный почасовой характер, а график потребления электрической энергии из ЕЭС формируется по остаточному принципу.

На графиках «Б» проиллюстрирован вариант выработки электроэнергии системой малой генерации при использовании модели ценозависимого потребления электроэнергии из ЕЭС. При этом график выработки электроэнергии системой малой генерации имеет ценозависимый характер и зависит от графика потребления электрической энергии из ЕЭС, формируемого с учетом ценовых сигналов оптового или розничного рынка электроэнергии по критерию минимизации стоимости [15].

Результат расчета экономического эффекта от использования разработанной модели ценозависимого управления спросом на электропотребление на базе интеграции с системой малой распределенной генерации представлен в таблице. Расчеты приведены на базе тарифов на электроэнергию и природный газ, действующих на территории Пермского края в 2016 г. для совокупного объема электропотребления промышленного предприятия в 36 000 кВтч в месяц.

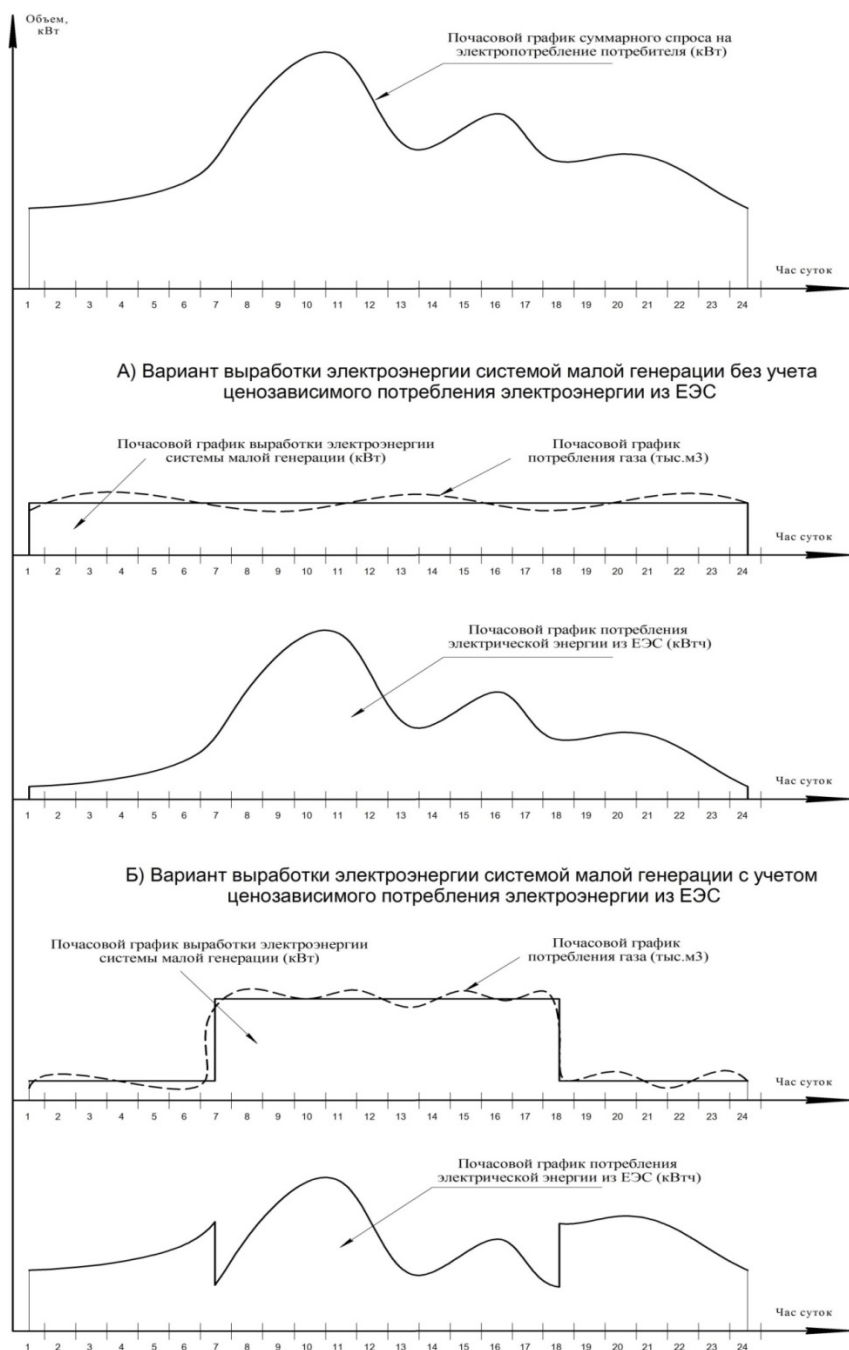


Рис. 8. Пример применения ценозависимого управления спросом на электропотребление посредством интеграции с системой малой распределенной генерации

Затраты на энергоресурсы и величина экономического эффекта от использования ценозависимого управления и системы малой распределенной генерации рассчитаны для трех вариантов. Вариант «А» – покупка полного объема потребности в электроэнергии из ЕЭС без использования системы малой распределенной генерации.

**Таблица 1. Расчет экономического эффекта от реализации разработанной модели ценозависимого управления спросом на потребление электроэнергии и природного газа на базе интегрирования с системой малой распределенной генерации для примера, представленного на рис. 8**

№ п/п	Параметр	Ед. измерения	Вариант потребления полного объема из ЕЭС	Вариант применения системы малой генерации	Вариант применения системы малой генерации с учетом ценозависимого потребления
			Вариант «А»	Вариант «В»	Вариант «С»
1	Почасовой график суммарного спроса на электропотребление потребителя электроэнергии в сутки	кВт*ч	36 000	36 000	36 000
2	Почасовой график выработки электроэнергии системой малой генерации в сутки	кВт*ч	0	10 000	10 000
3	Почасовой график величины электрической энергии, потребленной из ЕЭС в сутки	кВт*ч	36 000	26 000	26 000
4	Величина суточных лимитов на потребление газа электростанцией	м <sup>3</sup>	5 000	5 000	5 000
5	Величина суточного потребления газа системой малой генерации	м <sup>3</sup>	0	4 000	4 000
6	Величина сверхлимитного потребления газа системой малой генерации	м <sup>3</sup>	0	0	0
7	Величина покупки электроэнергии на РСВ в сутки	кВт*ч	36 000	26 000	26 000
8	Средний тариф покупки электроэнергии на РСВ	руб./кВтч	1,15	1,15	1,04
9	Объем покупки электрической мощности	кВт в месяц	1 700	1 225	970
10	Средний тариф на закупку электрической мощности	руб./кВтч	0,92	0,92	0,76
11	Величина оплаты услуг по содержанию электрических сетей	кВт в месяц	2 000	1 440	1 140
12	Тариф на оплату услуг по содержанию электрических сетей	руб./кВтч	0,97	0,97	0,76

№ п/п	Параметр	Ед. изме- рения	Вариант потребления полного объ- ема из ЕЭС	Вариант применения системы ма- лой генера- ции	Вариант при- менения си- стемы малой генерации с учетом цено- зависимого потребления
			Вариант «А»	Вариант «В»	Вариант «С»
13	Тариф на оплату технологи- ческого расхода в электри- ческих сетях	руб./кВтч	0,14	0,14	0,14
14	Общий тариф на закупку электроэнергии	руб./кВтч	3,18	3,18	2,70
15	Общий тариф на выработку электроэнергии системой малой генерации	руб./кВтч	2,92	2,92	2,92
16	Стоимость закупки электро- энергии из ЕЭС в сутки	руб.	114 480	82 680	70 200
17	Стоимость потребления электроэнергии из системы малой генерации	руб.	0	29 200	29 200
18	Цена покупки природного газа в рамках договорных лимитов	руб./м3	0	4,50	4,50
19	Цена покупки природного газа сверх договорных лимитов	руб./м3	0	6,75	6,75
20	Фактическая стоимость покупки природного газа системой малой генерации	руб.	0	18 000	18 000
21	Общая стоимость потребле- ния электроэнергии в сутки	руб.	114 480	111 880	99 400
22	Средний тариф на потреб- ление электроэнергии	руб./кВтч	3,18	3,11	2,76
23	Эффект от использования системы распределенной генерации	руб./кВтч	0,00	0,07	0,42
24	Эффект от использования системы распределенной генерации в сутки	руб.	0,00	2 600	15 080
25	Эффективность использова- ния системы распределен- ной генерации	%	0,0%	2,3%	13,2%

Вариант «В» – покрытие части совокупного спроса на электропотребление (10 000 кВтч в сутки) выработкой ее системой малой генерации без учета ценозависимого потребления электроэнергии из ЕЭС и природного газа на нужды работы системы малой генерации.

Вариант «С» – покрытие части совокупного спроса на электропотребление (10 000 кВтч в сутки) выработкой ее системой распределенной генерации с учетом ценозависимого потребления электроэнергии из ЕЭС и природного газа на нужды работы системы малой генерации.

Использование ценозависимого потребления электрической энергии за счет выработки части потребности системой малой распределенной генерации позволило промышленному предприятию существенно сократить затраты на оплату энергоресурсов.

Так, удельные показатели тарифов на покупку электроэнергии на РСВ, на закупку электрической мощности, на оплату услуг по содержанию электрических сетей по вариантам отличаются в пользу варианта «С», что обусловлено учетом ценовых параметров энергосистемы при планировании графика спроса на электропотребление в рамках ценозависимого потребления.

Также в вариантах «В» и «С» при различной структуре потребления природного газа суточный объем выборки газа составляет 4 000 м<sup>3</sup> и даже при волатильном характере потребления газа в варианте «С» в условиях установленного лимита потребления в объеме 5000 м<sup>3</sup> сверхлимитное потребление исключено. Стоимость закупки природного газа составила 4,5 руб./тыс. м<sup>3</sup>, а в случае выхода за коридоры установленных лимитов закупка газа производилась бы по тарифу с превышающим коэффициентом – 6,75 руб./тыс. м<sup>3</sup>.

Варианты «А» и «В» отличаются на величину экономии от потребления электроэнергии от малой распределенной генерации, которая составляет 7 копеек за 1 кВтч, или 2,3% от общей стоимости электроэнергии. При сравнении вариантов «А» и «С» эффект составляет 42 копейки за 1 кВтч, или 13,2% от общей стоимости электроэнергии.

Таким образом, проведенная апробация показала, что при использовании модели ценозависимого электропотребления эффект, получаемый в процессе регулирования работы системы малой распределенной генерации, может возрасти в несколько раз. По мнению авторов, в зависимости от масштаба электропотребления промышленного предприятия экономический эффект в денежном выражении может достигать в годовом измерении нескольких десятков миллионов рублей.

**Выводы.** В качестве основных выводов по результатам проведенного исследования можно констатировать следующие:

1. Применение технологии ценозависимого потребления электроэнергии на промышленных предприятиях с системами малой распределенной генерации позволяет повысить эффективность использования систем автономных генерирующих установок за счет снижения совокупной стоимости закупаемой электроэнергии, сокращения срока окупаемости инвестиций в создание систем малой распределенной генерации, расширения количества обслуживаемых объектов и способствует росту общей эффективности функционирования потребителей электроэнергии, использующих системы малой распределенной генерации.

2. Экономический эффект, получаемый от совместного использования технологии ценозависимого потребления электрической энергии и систем распределенной генерации крупными потребителями, формируется посредством снижения среднего тарифа на закупку электроэнергии из ЕЭС и,

следовательно, общей величины затрат на электропотребление по всем ее компонентам (стоимость электрической энергией, стоимость электрической мощности и стоимость услуг по передаче электроэнергии).

3. Ценозависимое потребление газа в процессе управления графиком выработки электроэнергии системой малой генерации позволяет исключить риск его сверхлимитного потребления.

4. Разработанная авторами модель ценозависимого управления спросом на потребление электроэнергии и природного газа на базе интеграции с системой малой распределенной генерации позволяет крупным потребителям электроэнергии сократить затраты на оплату энергоресурсов и существенно повысить экономическую эффективность использования систем малой распределенной генерации, что подтверждается результатами апробации на одном из крупных промышленных предприятий Пермского края.

### Литература

1. Попова С.Н., Потехина Н.В. Перспективы и ограничения развития распределенной энергетики на электроэнергетическом рынке России // Общество: политика, экономика, право. 2016. № 12. С. 93–95.

2. Jordehi A.R. Allocation of distributed generation units in electric power systems: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. № 56. P. 893–905.

3. Рейтинг стран по ценам на природный газ для населения в 2017 году // РИА Рейтинг. URL: <http://riarating.ru/countries/20170608/630064764.html>

4. Климовец О.В. Оценка экономической эффективности электроснабжения промышленного предприятия с использованием распределенной генерации // Вестник Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. 2016. № 2 (86). С. 140–144.

5. Singh B. A review on distributed generation planning / B. Singh, J. Sharma // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. P. 529–544.

6. Булатов Ю.Н., Крюков А.В. Влияние нелинейной и несимметричной нагрузки на работу генераторов установок распределенной генерации // Системы. Методы. Технологии. 2017. № 3 (35). С. 40–49.

7. Сергеев Н.Н. Основные направления развития и модернизации электроэнергетики // Вестник Удмуртского университета. Серия «Экономика и право». 2016. № 1. С. 49–53.

8. Фролова Я.А., Русина А.Г., Армеев Д.В. Оптимизация режимов энергосистем с распределенной генерацией в режиме On-Line // Новое в российской электроэнергетике. 2017. № 11. С. 34–41.

9. Соловьева И.А., Дзюба А.П. Управление затратами на электропотребление промышленных предприятий на базе модели оптимизации графиков электрических нагрузок // Известия Тульского Государственного университета. Экономические и юридические науки. 2017. № 1-1. С. 165–174.

10. Baev I.A., Solovieva I.A., Dziuba A.P. Assessment and analysis of energy infrastructural potential of Russian regions // 3rd International Conference on Industrial Engineering. SHS Web Conf. 35 (2017) AN 01048.

11. Постановление Правительства РФ от 28.05.2007 № 333 (ред. от 31.12.2010) «О совершенствовании государственного регулирования цен на газ». URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_55732/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_55732/) (дата обращения: 24.12.2017 г.)

12. Постановление Правительства РФ от 19 июня 2014 г. № 566 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам реализации газа в Российской Федерации». URL: <http://static.government.ru/media/files/41d4ea45da756d8377a5.pdf> (дата обращения: 24.12.2017).



13. Дзюба А.П., Соловьева И.А. Модель управления затратами промышленных предприятий на покупку природного газа на товарно-сырьевой бирже // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2018. № 2. С. 25–33.

14. Дзюба А.П., Соловьева И.А. Ценозависимое управление электропотреблением и энергозатратами на производственных объектах металлургического комплекса // Металлург. 2017. № 1. С. 8–15.

15. Соловьева И.А., Дзюба А.П. Управление затратами на электропотребление промышленных предприятий на базе модели оптимизации графиков электрических нагрузок // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. 2017. № 1-1. С. 165–174.

**Dzyuba A.P.**, Candidate of Economic Sciences, Department of "Finance, money circulation and credit" of the Higher School of Economics and Management of the FSAE of the South Ural State University (Chelyabinsk, Russian Federation). E-mail: dzyuba-a@yandex.ru

**Solovyova I.A.**, Doctor of Economics, associate professor, Department of "Finance, money circulation and credit" of the Higher School of Economics and Management of the FSAE of the South Ural State University (Chelyabinsk, Russian Federation). E-mail: solovevaia@susu.ru

#### **INTEGRATION OF DEMAND MANAGEMENT SYSTEMS FOR ELECTRICITY AND GAS WITH A SMALL DISTRIBUTED GENERATION OF INDUSTRIAL ENTERPRISES**

**Keywords:** small distributed energy, small generation, price-dependent consumption, power consumption, gas consumption, energy efficiency, electric power, fuel and energy complex, energy market, modeling.

DOI: 10.17223/19988648/45/15

The article is devoted to the development of complex models of energy cost management, the basic principles of pricing. The developed model allows large consumers to increase the economic efficiency of the use of resources associated with the acquisition of gas. The performed study of parameters and consumption of electricity, which has a system of small distributed generation, and also to establish the possibility of simultaneous demand control for electricity and gas consumption. The article presents the results of the analysis of pricing principles for all components of cost, contact within the wholesale and retail markets, and natural gas traded in regional markets. The possibility and expediency of complex price-dependent demand management for energy resources is being proved. Approved by the authors approbation of the developed model for the case of large-scale industrial use of data obtained in the aggregate.

#### **References**

1. Popova, S.N. Perspektivy i ogranicheniya razvitiya raspredelennoj ehnergetiki na ehlektroehnergeticheskom rynke Rossii / S.N. Popova, N.V. Potekhina // Obshchestvo: politika, ehkonomika, pravo. 2016. №12. S. 93-95.

2. Jordehi, A.R. Allocation of distributed generation units in electric power systems: A review//Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. No. 56. P. 893-905.

3. Rejting stran po cenam na prirodnyj gaz dlya naseleniya v 2017 godu / RIA Rejting // [ehlektronnyj resurs] URL: <http://riarating.ru/countries/20170608/630064764.html>

4. Klimovec, O.V. Ocenka ehkonomicheskoy ehffektivnosti ehlektrosnabzheniya promyshlennogo predpriyatiya s ispol'zovaniem raspredelennoj generacii / O.V. Klimovec // Vestnik rossijskogo ehkonomicheskogo universiteta im. G.V. Plekhanova. 2016. №2(86). S. 140-144.

5. Singh, B. A review on distributed generation planning / B. Singh. J. Sharma // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. P. 529-544.
6. Bulatov, YU.N. Vliyaniye nelineynoy i nesimmetrichnoy nagruzki na rabotu generatorov ustanovok raspredelennoy generacii / YU.N. Bulatov, A.V. Kryukov // *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. 2017. №3(35) S. 40-49.
7. Sergeev, N.N. Osnovnye napravleniya razvitiya i modernizacii ehlektroehnergetiki / N.N. Sergeev // *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya ehkonomika i pravo*. 2016. №1. S.49-53.
8. Frolova, YA.A. Optimizatsiya rezhimov ehnergosistem s raspredelennoy generaciey v rezhime On-Line / YA.A. Frolova, A.G. Rusina, D.V. Armeev // *Novoe v rossijskoj ehlektroehnergetike*. 2017. №11 S.34-41.
9. Solov'eva, I.A. Upravlenie zatratami na ehlektropotrebleniye promyshlennyyh predpriyatij na baze modeli optimizacii grafikov ehlektricheskikh nagruzok / I.A. Solov'eva, A.P. Dzyuba // *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo universiteta. EHkonomicheskie i yuridicheskie nauki*. 2017. №1-1 S. 165-174.
10. Baev, I.A. Assessment and analysis of energy infrastructural potential of Russian regions / I.A. Baev, I.A. Solovieva, A.P. Dziuba // *3rd International Conference on Industrial Engineering. SHS Web Conf.*, 35 (2017) AN 01048
11. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 28.05.2007 N 333 (red. ot 31.12.2010) «O sovershenstvovanii gosudarstvennogo regulirovaniya cen na gaz» [ehlektronnyj resurs]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_55732/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_55732/) (data obrashcheniya: 24.12.2017g.)
12. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 19 iyunya 2014 g. № 566 «O vnesenii izmenenij v nekotorye akty Pravitel'stva Rossijskoj Federacii po voprosam realizacii gaza v Rossijskoj Federacii» [ehlektronnyj resurs]. URL: <http://static.government.ru/media/files/41d4ea45da756d8377a5.pdf> (data obrashcheniya: 24.12.2017g.)
13. Dzyuba, A.P. Model' upravleniya zatratami promyshlennyyh predpriyatij na pokupku prirodnogo gaza na tovarno-syr'evoy birzhe / A.P. Dzyuba, I.A. Solov'eva // *Problemy ehkonomiki i upravleniya neftegazovym kompleksom* 2/2018. S.25-33
14. Dzyuba, A.P. Cenozavisimoe upravlenie ehlektropotrebleniyem i ehnergozatratami na proizvodstvennykh ob'ektakh metallurgicheskogo kompleksa / A.P. Dzyuba, I.A. Solov'eva // *Metallurg*. 2017. №1. S. 8-15.
15. Solov'eva, I.A. Upravlenie zatratami na ehlektropotrebleniye promyshlennyyh predpriyatij na baze modeli optimizacii grafikov ehlektricheskikh nagruzok / I.A. Solov'eva, A.P. Dzyuba // *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo universiteta. EHkonomicheskie i yuridicheskie nauki*. 2017. № 1-1. S. 165-174.

**For referencing:**

**Dziuba A.P., Solovyova I.A.** Integratsiya sistem upravleniya sprosom na ehlektroehnergiyu i gaz s maloj raspredelennoy generaciey promyshlennogo predpriyatiya [Integration of demand management systems for electricity and gas with a small distributed generation of industrial enterprises]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika – Tomsk State University Journal of Economics*, 2019, no. 45, pp. 216–233.