

УДК 620.9-62-93

**ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
И РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ  
КАК СТРУКТУРНЫХ ЕДИНИЦ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО  
КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Н. В. Грунтович<sup>1</sup>, Д. Р. Мороз<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

<sup>2</sup>*Государственное предприятие «НИИ Белгипротопгаз»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

Газ был и остается основным видом топлива в Республике Беларусь. На сегодняшний день Беларусь является самой газифицированной страной в мире. Уровень газификации в сельской местности составляет 38 %, в городах – 77 %. Газоснабжающие организации обеспечивают природным газом все предприятия страны (более 12000). Одним из крупнейших потребителей газа Беларуси является Лукомльская ГРЭС, которая вырабатывает около 40 % необходимой для потребителей электроэнергии (ЭЭ).

Официальные данные Белстата показывают [1], что в структуре валового потребления ТЭР Республики Беларусь в 2017 г. доля природного газа составляет 61 %. Из всего объема потребленного газа в 2017 г. 90 % поступило в организации (17505 млн м<sup>3</sup>), а 10 % отпущено на нужды населения республики (1947 млн м<sup>3</sup>). 70 % от общего потребления газа использовалось для производства электрической и тепловой энергии (ТЭ) (табл. 1). По оценкам специалистов, ввод в эксплуатацию собственной атомной станции позволит лишь на 20–30 % снизить его потребление. Высвобождение природного газа от энергетиков будет компенсировано новыми проектами в промышленности, например, это строительство двух калийных предприятий в Петриковском и Любанском районах – потенциальных потребителей природного газа, или строящийся завод по производству белой жести в Витебской области. Кроме того, существуют и другие проекты в промышленном секторе республики, которые потребуют дополнительных объемов газа. Нельзя сбрасывать со счетов и проекты по газификации такой социально значимой группы потребителей, как население. Ежегодно газифицируется 100–120 населенных пунктов.

*Таблица 1*

**Динамика структуры потребления газа (включая попутный)  
по укрупненным группам использования**

| Год  | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| Потреблено в Республике Беларусь, млн м <sup>3</sup> | 20586  | 20427  | 19121  | 19002  | 19452  |
| Организации, млн м <sup>3</sup> , в том числе        | 18709  | 18588  | 17328  | 17030  | 17505  |
|  | 90,9 % | 91,0 % | 90,6 % | 89,6 % | 90,0 % |
| Производство ЭЭ, ТЭ, млн м <sup>3</sup>              | 14340  | 14376  | 13495  | 13306  | 13701  |
|  | 69,7 % | 70,4 % | 70,6 % | 70,0 % | 70,4 % |
| Отпущено населению, млн м <sup>3</sup>               | 1877   | 1839   | 1793   | 1972   | 1947   |
|  | 9,1 %  | 9,0 %  | 9,4 %  | 10,4 % | 10,0 % |

Если посмотреть на структуру потребления топлива, используемого для производства электрической и тепловой энергии в 2017 г., то составляющая природного газа там достигает 91 % (рис. 1).

Структура потребления газа для производства ЭЭ и ТЭ на тепловых электростанциях и котельных показывает, что 98,8 % всей вырабатываемой в стране ЭЭ осуществляется за счет газа, а в производстве ТЭ доля газа достигает 87,2 % (табл. 2).

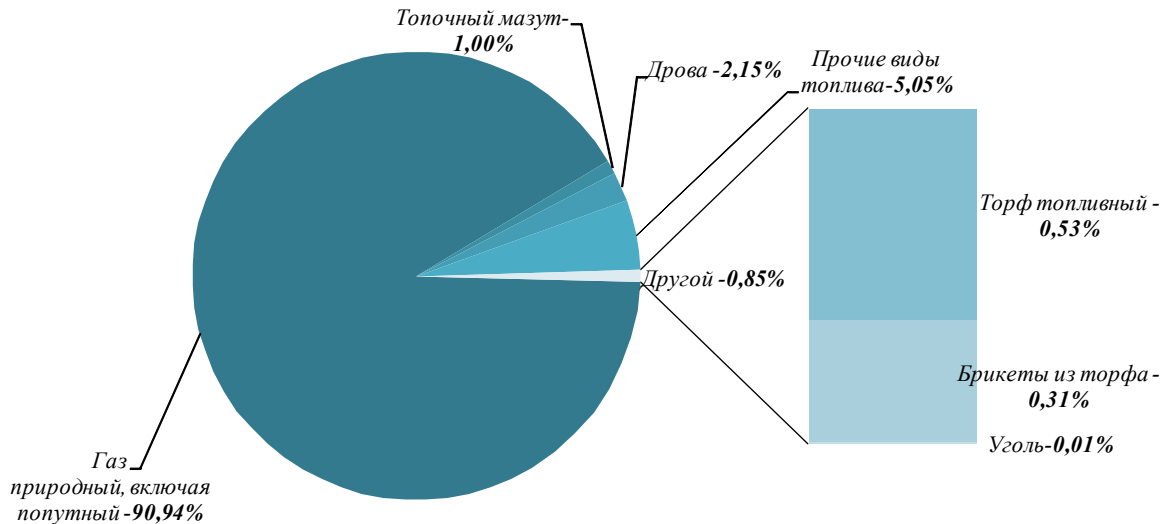


Рис. 1. Балансовая структура потребления топлива для производства ЭЭ и ТЭ в 2017 г.

Таблица 2

**Структура потребления газа для производства ЭЭ и ТЭ на тепловых электростанциях и котельных в 2017 г.**

| Потребитель   | Расход газа, тыс. т | % от общего потребления | Производство электрической и тепловой энергии |                             |               |                             |
|---|---------------------|-------------------------|---|-----------------------------|---------------|-----------------------------|
|   |                     |                         | ЭЭ, млн кВт·ч                                 | % от общего производства ЭЭ | ТЭ, тыс. Гкал | % от общего производства ТЭ |
| Конденсационные электростанции общего пользования   | 3548                | 22,4 %                  | 13188   | 39,4 %                      | 181           | 0,3 %                       |
| ТЭЦ общего пользования  | 7929                | 50,0 %                  | 16836   | 50,2 %                      | 29408         | 55,6 %                      |
| ТЭЦ, мини-ТЭЦ и другие установки для комбинированного производства тепловой и электрической энергии организаций | 1620                | 10,2 %                  | 3254  | 9,7 %                       | 6357          | 12,0 %                      |

Окончание табл. 2

| Потребитель                               | Расход газа, тыс. т у. т. | % от общего потребления | Производство электрической и тепловой энергии |                             |               |                             |
|---|---------------------------|-------------------------|---|-----------------------------|---------------|-----------------------------|
|   |                           |                         | ЭЭ, млн кВт · ч                               | % от общего производства ЭЭ | ТЭ, тыс. Гкал | % от общего производства ТЭ |
| Районные котельные общего пользования     | 1524                      | 9,6 %                   | –   | –                           | 9606          | 18,1 %                      |
| Котельные установки организаций           | 1199                      | 7,6 %                   | –   | –                           | 7380          | 13,9 %                      |
| Собственные электрогенераторы организаций | 51                        | 0,3 %                   | 231   | 0,7 %                       | –             | –                           |
| Итого по газу                             | 15871                     | 100,0 %                 | 33509   | 100,0 %                     | 52932         | 100,0 %                     |
| Всего топлива, тыс. т у. т.               | 17451                     | 90,9 %                  | 33924   | 98,8 %                      | 60692         | 87,2 %                      |

В настоящее время протяженность разветвленной системы трубопроводов составляет более 61 тыс. км. Газовый комплекс страны – сложная техническая система, состоящая из систем более низкого уровня, обеспечивающих его функционирование на различных уровнях всего технологического процесса. Основу газового комплекса страны составляют шесть (по количеству областей) региональных систем газоснабжения (РСГС).

На сегодняшний день каждая РСГС – это большая (как по количеству входящих в нее элементов, так и по количеству и структуре потребителей) и многоуровневая, динамическая технологическая система, основной задачей которой является обеспечение безопасной и бесперебойной подачи природного и сжиженного газа потребителям. Технологическая система газоснабжения в общем виде может быть представлена в виде трех подсистем: «Головные сооружения»; «Компрессорные станции»; «Газораспределительные станции» (ГРС); «Подземные хранилища газа»; «Линейные сооружения». Каждая из подсистем имеет свои конечные элементы, количество которых может измеряться тысячами единиц.

Региональную систему газоснабжения можно представить в виде трехуровневой системы со своими подсистемами: линейная часть (газовая сеть); подсистема распределения и регулирования; подсистема хранения газа. Так, для ГомРСГС общая протяженность газовой сети (линейная часть) составляет 8980,7 км, а подсистема «Распределения и регулирования» представлена 459 газорегуляторными пунктами, в том числе 460 телемеханизированными, 7 газорегуляторными установками на котельных, 488 шкафными газорегуляторными пунктами (ШРП), 13721 домовым регулятором (локально у потребителей).

Начальный уровень РСГС, или нулевой, представляет собой магистральный газопровод с отводящими газораспределительными станциями, посредством которых газ поступает в распределительную сеть. Первый уровень – это газопроводы высокого давления (первая категория), в которые газ поступает из ГРС. В зависимости от протяженности и количества отборов давление газа может составлять от 1,2 до 0,3 МПа. Обычно этот газопровод охватывает кольцом снабжаемый населенный пункт (го-

род). Для ГомРСГС общая протяженность сетей высокого давления составляет 2339,8 км. Из этого газопровода газ поступает через отводы в систему ГРП и ШРП, где его давление понижается до уровня среднего (0,3–0,05 МПа) либо низкого давления 3–5 кПа для подачи потребителю. Второй уровень – это газопроводы среднего давления с протяженностью для рассматриваемой системы 1586,7 км. По этим газопроводам газ подается в городские районы. Из второго уровня газ редуцируется до давления 5–3 кПа через отводящие ГРП и ШРП. Третий уровень – это газопроводы низкого давления, через которые газ поступает к конечным потребителям. Для обследуемой РСГС общая протяженность сетей низкого давления достигает 5031,3 км.

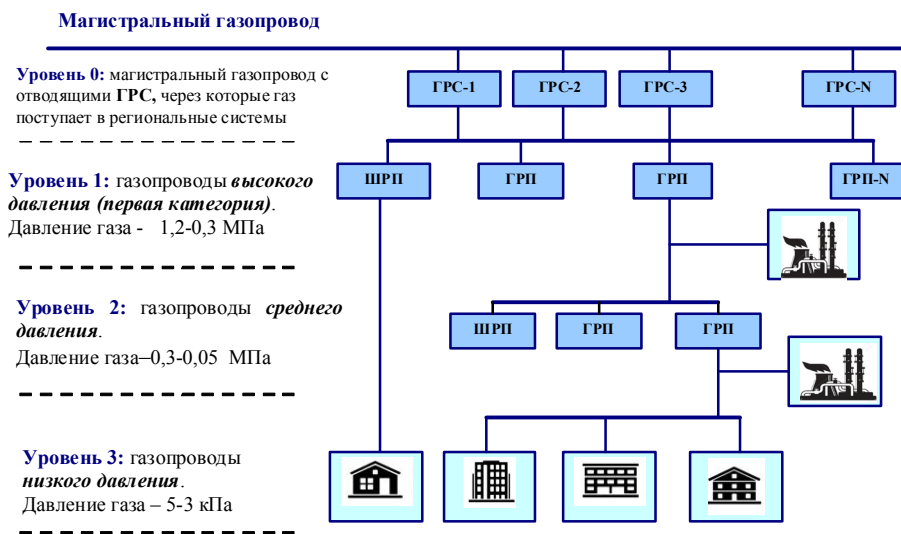


Рис. 2. Уровни региональной системы газоснабжения

Устойчивое функционирование и развитие газоснабжающих систем в республике невозможно без формирования системы управления, основанной на использовании методологии системного анализа, заложенной академиком Л. А. Мелентьевым для систем энергетики еще в 60-х гг. прошлого столетия, и развивающейся в трудах его учеников и последователей [2]–[7].

Из всего комплекса задач функционирования и развития РСГС наиболее острыми на сегодняшний день являются:

1. Составление заявок планируемого объема поставок газа.
2. Разработка проектов развития и реконструкции систем газоснабжения и хранения газа.
3. Формирование тарифов на газ для различных групп потребителей при учете рентабельности их производств.

Рассмотрим указанные задачи, их важность как для потребителей, так и РСГС и пути их решения.

1. *Составление заявок планируемого объема поставок газа.* Актуальность данной задачи объясняется требованием российских поставщиков газа: отклонения от заявленных объемов потребления газа требуются оплачивать по скорректированным тарифам. В публикациях российских ученых отмечается, что для определения направлений и объемов потоков газа по сети, необходимости ввода в эксплуатацию новых месторождений и магистральных газопроводов нужно рассматривать разви-

тие всей единой системы газоснабжения (ЕСГ) в комплексе с учетом пропускных способностей магистральных газопроводов, цен и тарифов на добычу и транспорт газа, *потребности в газе субъектов РФ и договоров по экспортным поставкам*. В Российской Федерации на основе Приказа от 15.12.2009 № 411-э/7 «Об утверждении Методических указаний по регулированию тарифов на услуги по транспортировке газа по газораспределительным сетям» при перерасходе газа без предварительного согласования с поставщиком, газотранспортной или газораспределительной организацией покупатель оплачивает дополнительно объем отобранного им газа сверх установленного договором и стоимость его транспортировки за каждые сутки с применением коэффициентов: с 15 апреля по 15 сентября – 1,1; с 16 сентября по 14 апреля – 1,5. *Это правило не применяется только к объемам газа, израсходованным населением и коммунально-бытовыми потребителями.*

В настоящее время в РСГС задача решается методом прямого счета – «от достигнутого», т. е. формирования объема поставок на основе заявок по основным группам потребителей. Такой подход чаще всего влечет завышение планируемых объемов поставки газа.

Решение данной задачи может быть обеспечено двумя подходами:

– на основе моделей потребления газа по укрупненным группам потребителей РСГС;

– «снизу-вверх» на основе сбора информации от потребителей РСГС, которые в свою очередь формируют заявку на газ для своего производства при учете основных влияющих факторов.

В первом случае использование моделей для различных групп потребителей обосновано такими системными свойствами, как *эмерджентность* и *инерционность* (один из принципов развития). Эмерджентность является одной из форм проявления диалектического закона перехода количественных изменений в качественные [8]. О том, что объединение элементов создает новое качество, человечество знало давно, еще со времен Аристотеля. Чем проще система, чем из меньшего числа элементов и связей она состоит, тем меньше проявляет она системное качество, и чем сложнее система, тем более непохожим является ее системный эффект по сравнению со свойствами каждого элемента. Принцип инерционности системы – способность системы изменять свой потенциал через некоторое время после начала воздействия на нее со стороны внутренней или внешней среды, а завершение изменений в системе происходит через какое-то время после окончания воздействия. То есть изменение состояния большой системы не может происходить скачкообразно. Эти особенности позволяют осуществлять прогнозирование показателей функционирования системы как на основе временных трендов, так и многофакторных регрессионных моделей.

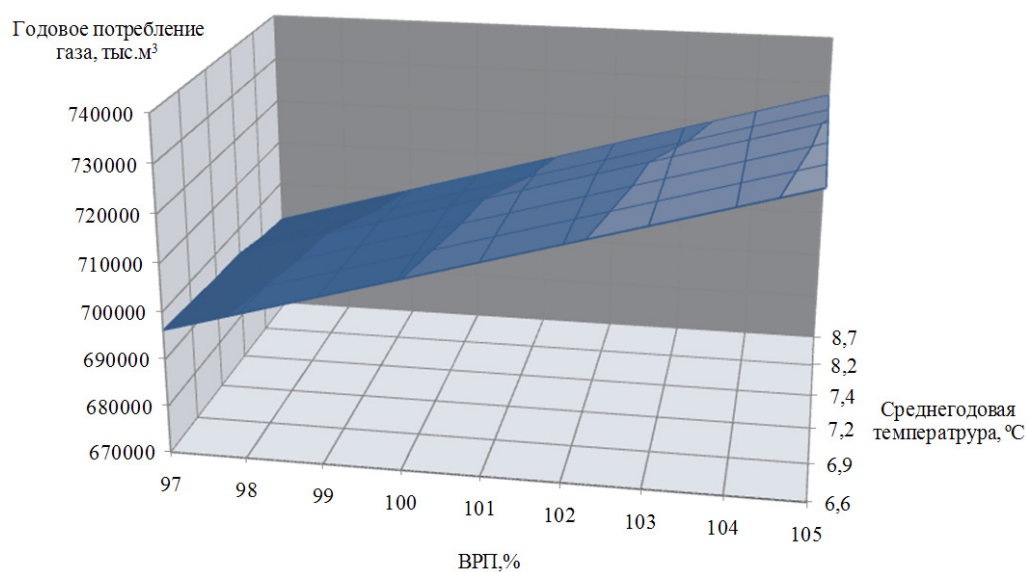
Проведенные исследования для группы промышленных и сельскохозяйственных потребителей ГомРСГС показали, что факторами, оказывающими влияние на годовой объем потребления газа, являются среднегодовая температура наружного воздуха и валовой региональный продукт (ВРП) данной группы потребителей [10]. С использованием разработанной регрессионной модели зависимости объема потребляемого газа от указанных факторов, построенной по месячным данным за 2012–2015 гг., выполнен прогноз потребления газа на 2016 г. Погрешность расчета по модели  $W_{\text{год}} = -4444,6t + 3325 \cdot \text{ВРП} + 412754,4$  составила 3,6 % (табл. 3).

Таблица 3

**Результаты прогнозирования годового объема потребления газа  
для промышленных и сельскохозяйственных потребителей**

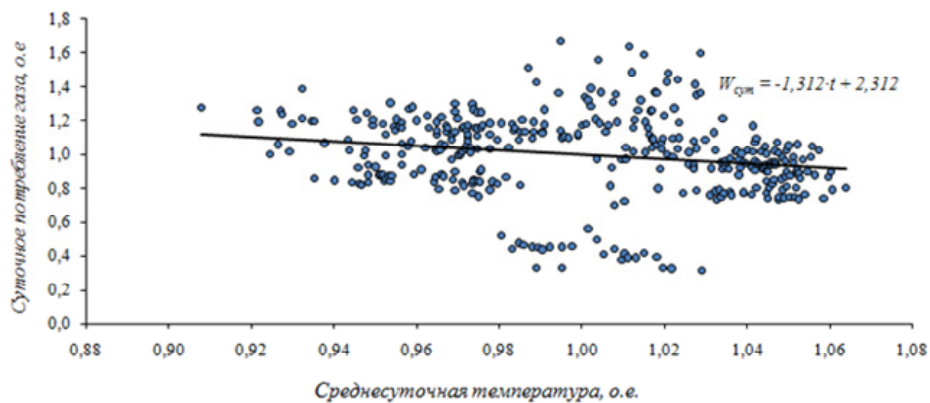
| Год            | Фактическое значение, тыс. м <sup>3</sup> | Прогнозное значение по годовой модели, тыс. м <sup>3</sup> | Погрешность прогноза, % |
|----------------|---|--|-------------------------|
| 2012           | 696407,7                                  | 717012,4   | -3,0                    |
| 2013           | 728608,6                                  | 703488,1   | 3,4                     |
| 2014           | 705607,5                                  | 706826,9   | -0,2                    |
| 2015           | 703856,6                                  | 688050,8   | 2,2                     |
| 2016 (прогноз) | 657278,0                                  | 681127,7   | -3,6                    |

На рис. 3 представлена графическая интерпретация изменения годового потребления газа по группе промышленных и сельскохозяйственных потребителей при изменении среднегодовой температуры и динамике ВРП.

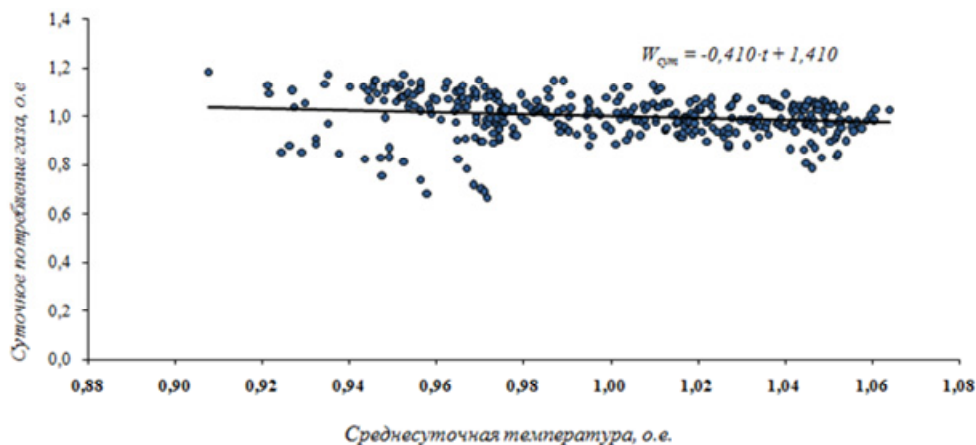


*Рис. 3. Графическая интерпретация изменения годового потребления газа по группе промышленных и сельскохозяйственных потребителей при изменении среднегодовой температуры и динамике ВРП*

Общий объем потребления газа для данной группы потребителей составляет 29 % от суммарного потребления газа региона. Возможность использования годовой двухфакторной модели для прогнозирования потребления газа в данном случае определяется слабым влиянием фактора «температура» на потребление в группе. Действительно, суточные поля «потребление газа – температура» на годовом интервале времени по отдельным группам промышленных потребителей показали на низкую корреляцию указанных факторов (рис. 4).



а)



б)

Рис. 4. Поля соответствия суточного потребления газа от среднесуточной температуры на годовом интервале времени: а – для группы предприятий концерна «Белнефтехим»; б – для группы предприятий «Минстройархитектуры»

Второй подход при формировании заявки на природный газ может быть использован для отдельных крупных потребителей газа. К таким потребителям в ГомРСТГ относятся, например, ОАО «Мозырьсоль», ОАО «Гомсельмаш», ОАО «Мозырский НПЗ», ОАО «Гомельстекло», ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК». Для таких потребителей улучшение качества прогнозирования объемов поставок газа достигается на основе использования классической модели зависимости удельного расхода газа от производительности технологического процесса:

$$W_{\text{уд.газ}} = w_{\text{уд.тех}} + W_{\text{усл.-пост}}/\Pi, \text{ т у. т./ед. прод.},$$

где  $w_{\text{уд.тех}}$  – технологический удельный расход газа на выпуск продукции, т у. т./ед. прод.;  $\Pi$  – объем выпуска продукции, ед. прод.;  $W_{\text{усл.-пост}}$  – условно–постоянная составляющая расхода газа технологическими установками, т у. т.

Ранее было показано [10], что неучет динамики производственной программы и прогнозирование «от достигнутого» влечет за собой как возможный перерасход от заявленного по факту значения, так и недобор газа. Для предприятия по выпуску

листового стекла рассчитано, что разброс ошибки при формировании заявки на годовые объемы поставки газа в зависимости от плановых значений выпуска продукции находится в достаточно широком диапазоне – от 44,6 до + 25,5 %. При этом необходимо учитывать и такой фактор, как «износ футеровки» печей, если газ используется в печном оборудовании (печи обжига цемента, металлургия, стекольное производство).

### *2. Разработка проектов развития и реконструкции систем газоснабжения и хранения газа*

В трудах российских ученых [11] обращается внимание на такую проблему, как износ и устаревание технологического оборудования газотранспортных систем. Так, почти две трети магистральных газопроводов имеют срок эксплуатации более 30 лет, а порядка 40 % установленной мощности газоперекачивающих агрегатов нуждается в замене и модернизации. В еще более длительной эксплуатации находятся газораспределительные сети городов и промышленных центров. По осторожным оценкам, в настоящее время необходимо менять около 30 % физически изношенного и столько же морально устаревшего оборудования. Эта задача требует детальной проработки как самой структуры потребителей, так и возможных сценариев их дальнейшего развития при учете всех возможных альтернативных источников энергии и ценового фактора по каждому энергоресурсу.

Эта проблема актуальна и для РСГС Беларуси. К слову сказать, история газового хозяйства Гомельщины ведет свой отсчет с 1 марта 1960 г., когда на основании приказа Главного управления по газификации при Совете Министров БССР № 13 было организовано Управление по газификации при исполнительном комитете Гомельского городского Совета депутатов трудящихся. Первый газ в наш регион пришел 27 января 1961 г. по магистральному отводу с территории Украины от газопровода «Дашава – Киев – Брянск – Москва» в г. п. Костюковка на стеклозавод им. Ломоносова. На следующий день газовый факел был зажжен в г. Гомеле.

При разработке инвестиционных проектов развития региональных системы газоснабжения одним из определяющих факторов экономической эффективности проекта является *достоверная оценка прогнозного спроса на газ с использованием зависимостей «цена на газ – спрос со стороны потребителей»*. Разница между прогнозным спросом при определенной цене и фактическим потреблением газа – потенциал сбыта газа в регионе. В зависимости от значения этого потенциала можно принимать решения о размерах инвестиций в распределительные сети, сроках ввода новых объектов в соответствии с динамикой спроса.

### *3. Формирование тарифов на газ для различных групп потребителей при учете рентабельности их производств.*

Формирование тарифов на газ для отдельных групп и отдельных потребителей очень болезненная тема. Для потребителей, которые могут перейти на альтернативные газу виды топлива, повышение тарифов на газ не будет таким болезненным, а РСГС может потерять таких потребителей. С другой стороны, потребители, не имеющие газу альтернативы (технологическое оборудование), в условиях повышения тарифов могут ослабить свое положение на рынке продукции или даже потерять его.

Например, предприятие по выпуску спирта в условиях повышения тарифов на природный газ вынуждено перевести котельную на работу с альтернативным видом топлива – мазут (котлы ДКВР), котел Vitomax 200 HS, работающий на газу, практически выведен из работы котельной.

Все обозначенные актуальные задачи должны решаться на основе изучения общих закономерностей формирования режимов потребления газа как по укрупнен-



ным группам балансовой структуры, так и по отдельным элементам (крупным потребителям) каждой РСГС.

#### Л и т е р а т у р а

1. Энергетический баланс Республики Беларусь, 2017. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: [http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public\\_compilation/index\\_7863/](http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_compilation/index_7863/). – Дата доступа: 05.11.2018.
2. Мелентьев, Л. А. Избранные труды. Методология системных исследований в энергетике / Л. А. Мелентьев. – М. : Наука, 1995. – 289 с.
3. Системные исследования в энергетике: Ретроспектива научных направлений СЭИ – ИСЭМ / ред. Н. И. Воропай. – Новосибирск : Наука, 2010. – 686 с.
4. Илькевич, Н. И. Многоуровневое моделирование развития систем газоснабжения / Н. И. Илькевич, Т. В. Дзюбина, Ж. В. Калинина. – Новосибирск : Наука, 2014. – 217 с.
5. Моделирование равновесия потоков стоимости спроса и предложения на природный газ / Н. И. Илькевич [и др.] // Трубопроводные системы энергетики: методические и прикладные проблемы математического моделирования. – Новосибирск : Наука, 2015. – С. 318–331.
6. Шевченко, М. В. Разработка частных моделей организации мониторинга системы регионального газоснабжения / М. В. Шевченко // Технолог. аудит и резервы производства. – 2015. – Т. 6, № 2 (26). – С. 40–46.
7. Галустов, Г. Г. Математическое моделирование и прогнозирование в технических системах : учеб. пособие / Г. Г. Галустов, С. П. Бровченко, С. Н. Мелешкин. – Таганрог : Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008. – 30 с.
8. Перегудов, Ф. И. Введение в системный анализ / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. – М. : Высш. шк., 1989. – 367 с.
9. Грунтович, Н. В. О необходимости изучения структуры и закономерностей функционирования региональных систем газоснабжения / Н. В. Грунтович, Д. Р. Мороз, В. Е. Шалоник // Энергет. стратегия. – 2017. – № 1. – С. 42–46.
10. Мороз, Д. Р. Разработка моделей потребления газа по структурным элементам региональной системы газоснабжения / Д. Р. Мороз, А. А. Капанский // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы IV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов / Тамбов. гос. техн. ун-т. – 2017. – С. 416–418.
11. Прогноз потребления газа – основа принятия рациональных решений по структуре и технологическим параметрам при проектировании и реконструкции системы газоснабжения / Р. А. Кантюков [и др.] // Электрон. науч. журн. «Нефтегазовое дело». – 2015. – № 1. – С. 201–221. – Режим доступа: [http://ogbus.ru/issues/1\\_2015/ogbus\\_1\\_2015\\_p201-221\\_KantyukovRA\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/1_2015/ogbus_1_2015_p201-221_KantyukovRA_ru.pdf).