

Дальнейшее исследование включало разделение данных на два диапазона – до и после порога в 10 °С, с постепенным увеличением шага температуры. Для каждого диапазона были рассчитаны коэффициенты корреляции подачи воды и электропотребления в зависимости от температуры. Анализ показал, что при низких температурах корреляция подачи воды близка к нулю, что указывает на слабую значимость этого фактора в холодные периоды года. В то же время, для электропотребления выявлена отрицательная корреляция при низких температурах, что подтверждает увеличение энергозатрат в зимний период из-за роста гидравлических потерь и дополнительных расходов на обслуживание (например, отопление насосных станций, освещение и другие нужды). Влияние температуры на изменение энергопотребления составляет 15,6 %, а на изменение объема подачи воды – 15,8 %. Это означает, что при каждом градусе выше 25 °С энергопотребление увеличивается на 2597,1 кВт · ч, а объем подаваемой воды – на 4951,5 м³ в сутки.

#### Л и т е р а т у р а

1. Twomey, K. M. Evaluating the energy intensity of the US public water system / K. M. Twomey, M. E. Webber // Energy Sustainability. – 2011. – Vol. 54686. – P. 1735–1748. DOI 10.1115/ES2011-54165
2. Zapata, O. More water please, it's getting hot! The effect of climate on residential water demand / O. Zapata // Water Economics and Policy. – 2015. – Vol. 1, N 03. – P. 1550007. DOI 10.1142/S2382624X15500071
3. Bezerra, B. G. Crop evapotranspiration and water use efficiency / B. G. Bezerra, T. S. Lee // Irrigation Systems and Practices in Challenging Environments. – 2012. – Vol. 9. – P. 57–76. DOI 10.5772/29777
4. Грунтович, Н. В. Исследование влияния факторов на формирование удельных и общих расходов электрической энергии в технологической системе водоснабжения / Н. В. Грунтович, А. А. Капанский, О. В. Федоров // Электротехнические системы и комплексы. – 2016. – № 3 (32). – С. 54–59. – DOI 10.18503/2311-8318-2016-3(32)-54-59
5. Зализный, Д. И. Адаптивное моделирование тепловых процессов электроэнергетического оборудования в реальном времени / Д. И. Зализный // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2015. – № 4 (63). – С. 44–52.

УДК 620.9

### **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА В РЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ**

**Н. В. Грунтович, А. А. Капанский**

*ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ», Минск, Республика Беларусь*

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

*Исследование посвящено анализу влияния сезонных климатических колебаний на динамику потребления природного газа в региональных системах газоснабжения. Основное внимание уделяется взаимосвязи между температурой наружного воздуха и объемом потребления газа в различных секторах экономики. Предварительные результаты подчеркивают сильную отрицательную корреляцию между снижением температуры и ростом потребления, что подчеркивает значимость климатических условий как ключевого фактора, влияющего на использование газа. Это исследование закладывает основу для разработки эффективных моделей прогнозирования, где температура воздуха играет определяющую роль при планировании газопотребления.*

**Ключевые слова:** региональные системы газоснабжения, потребление природного газа, температура наружного воздуха, корреляционный анализ.

## INFLUENCE OF TEMPERATURE FLUCTUATIONS ON NATURAL GAS CONSUMPTION IN REGIONAL GAS SUPPLY SYSTEMS

N. V. Gruntovich, A. A. Kapanski

*State Institute for Advanced Studies «GAS-INSTITUTE», Minsk,  
the Republic of Belarus*

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

*The study analyzes the impact of seasonal climate fluctuations on the dynamics of natural gas consumption in regional gas supply systems. The main focus is on the relationship between outdoor air temperature and gas consumption in various sectors of the economy. Preliminary results highlight a strong negative correlation between a decrease in temperature and an increase in consumption, which emphasizes the importance of climate conditions as a key factor influencing gas use. This study lays the foundation for developing effective forecasting models where air temperature plays a decisive role in planning gas consumption.*

**Keywords:** regional gas supply systems, natural gas consumption, outside air temperature, correlation analysis.

В последние десятилетия тема энергетической эффективности и устойчивости систем газоснабжения становится все более актуальной на глобальном уровне. В контексте Беларуси, страны с высоким уровнем газификации, прогнозирование потребления энергетических ресурсов является ключевой задачей в условиях меняющегося климата и экономических реалий. Региональные системы газоснабжения (РСГС) Беларуси, обслуживающие значительное количество энергетических, промышленных, бытовых и коммунальных потребителей по всей стране, сталкиваются с вызовами, связанными с необходимостью адаптации к изменяемым погодным условиям. Систематическое исследование взаимосвязи между температурой наружного воздуха и потреблением природного газа может предоставить ценные данные для планирования и оптимизации работы систем газоснабжения, а также для разработки дальнейших стратегий повышения эффективности системы планирования [1–6].

Целью проводимого исследования является анализ влияния сезонных температурных колебаний на динамику потребления природного газа Гомельской региональной системы газоснабжения. Особое внимание уделяется корреляционному анализу, позволяющему оценить степень влияния температурных изменений на потребление газа в различных секторах экономики. Стоит отметить, что в этой публикации представлены промежуточные результаты научной работы, в то время как конечной задачей является поиск ключевых закономерностей и тенденций, которые могут составить основу для формирования эффективной политики в области газоснабжения и планирования поставок природного газа на национальном уровне.

Проводимые исследования основывались на детальном анализе суточной статистики потребления природного газа за длительный период с 2012 по 2023 г. Для снижения размерности данных потребители газа в рамках региональной системы газоснабжения РПУП «Гомельоблгаз» сгруппированы в укрупненные балансовые группы, которые отражают основные секторы потребления. Выделены следующие группы: *энергетический сектор*, где газ выступает важнейшим источником для вы-

работки электро- и теплоэнергии; *промышленность*, охватывающая как крупные, так и мелкие предприятия с различными уровнями потребления газа; *сектор населения*, использующий газ для отопления домов и бытовых нужд; *сельское хозяйство*, где газ используется для технических операций, таких как обогрев помещений и сушка урожая; *коммунальные и жилищно-коммунальные хозяйства*, задействующие газ в своей повседневной деятельности.

Анализ корреляций по выделенным секторам экономики позволил сделать несколько важных выводов. Во-первых, в большинстве балансовых групп наблюдается очень сильная ежегодная отрицательная корреляция (от  $-0,90$  до  $-1,00$ ), подчеркивающая тесную связь между снижением температуры и ростом потребления газа. Это явно демонстрирует, что температурные условия играют ключевую роль в определении потребления газа во всех секторах. Во-вторых, вариативность корреляции между разными секторами и годами указывают на различную чувствительность к изменениям температуры, что может отражать специфику потребления газа в каждом из них. К примеру, сектор «Население» выделяется очень высокой и стабильной отрицательной корреляцией во все годы, указывая на значительное влияние температуры наружного воздуха на бытовое потребление газа. Секторы «Белэнерго» и «Минстройархитектуры» также показывают значительное влияние температуры на потребление газа, в то время как сектор «Белнефтехим» демонстрирует наименьшую силу связи, что может свидетельствовать о более сложных факторах, влияющих на его потребление газа, особенно в 2017 г.

На основе данных о потреблении газа в различных секторах экономики проведена оценка вариативности суточных данных. Для этого была построена диаграмма разброса. На рис. 1 каждый «ящик» показывает распределение потребления газа для групп потребителей, включая медиану, первый и третий квартили (25-й и 75-й процентиля), а также минимальные и максимальные значения в пределах 1,5 межквартильных размахов. Точки за пределами «усов» указывают на выбросы, отражающие аномально высокое или низкое потребление.

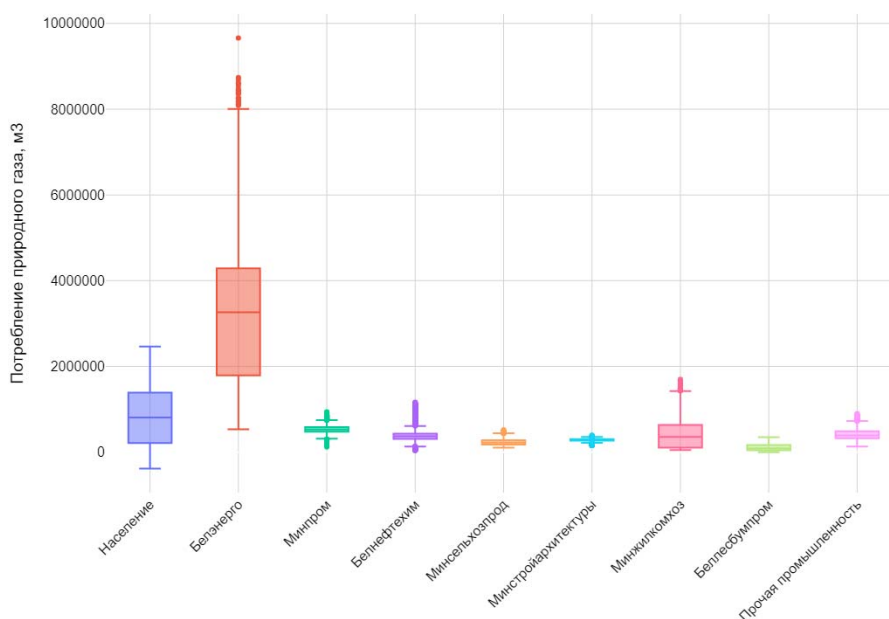


Рис. 1. Диаграмма разброса для различных групп потребителей природного газа

На представленной диаграмме группа «Энергетика» заметно выделяется среди остальных групп. Это можно увидеть по значительно большему разбросу значений потребления газа. Эти особенности распределения делают эту группу ключевой для учета при формировании стратегии газоснабжения, так как именно она может вносить наибольший вклад в общий объем потребления газа.

Для подтверждения различий в потреблении газа между балансовыми группами был проведен дисперсионный анализ.  $F$ -статистика в 12188,97 значительно превысила пороговое значение 3,84 при уровне значимости 0,05, а  $p$ -значение приблизилось к нулю, подтвердив высокую значимость различий. Межгрупповые вариации оказались значительно больше внутригрупповых, что продемонстрировало существенные различия в потреблении газа между группами.

Полученные результаты подчеркивают необходимость дифференцированного подхода к планированию газоснабжения с учетом потребностей каждой группы. Игнорирование таких различий может снизить точность планирования, что приведет к промахам и отразится на поставках и стоимости газа.

#### Литература

1. The study of structural fields of daily gas consumption of the balance groups of the regional gas supply system / D. Moroz, N. Hruntovich, S. Jhukovets [et al.] // E3S Web of Conferences, Prague, 14–15 мая 2020 года. – Prague, 2020. – P. 01066. – DOI 10.1051/e3sconf/202017801066.
2. Оптимизация схем электроснабжения промышленных предприятий / Е. И. Грачева, Т. В. Синюкова, Т. В. Табачникова, А. Н. Алимова. – Казань : Казан. гос. энергет. ун-т, 2022. – 135 с.
3. Regularities of the formation of structural fields of daily gas consumption of the regional gas supply system / D. Moroz, N. Hruntovich, A. Kapanski [et al.] // E3S Web of Conferences, Saint-Petersburg, 29–30 октября 2020 года. – Saint-Petersburg, 2020. – P. 01076. – DOI 10.1051/e3sconf/202023001076.
5. Conditional-constant component in the total consumption of an energy resource and its influence on the energy efficiency of industrial consumers / N. Hruntovich, A. Kapansky, S. Jhukovets [et al.] // Sustainable Energy Systems: innovative perspectives : Conference proceedings, Saint-Petersburg, 29–30 окт. 2020 г. – Saint-Petersburg: Springer, Cham, 2022. – P. 459–470. – DOI 10.1007/978-3-030-67654-4\_48
6. Совершенствование систем управления энергетической эффективностью и экономической безопасностью промышленных предприятий / Н. В. Грунтович, Н. В. Грунтович, Л. Г. Ефремов, О. В. Федоров // Вестник Чувашикого университета. – 2015. – № 3. – С. 40–48.

УДК 681.5

## ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЕНСИРУЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ

А. В. Сычёв

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

*Рассмотрена возможность оптимизации управления реактивной мощностью в системах промышленного электроснабжения, предлагается управление батареями статических конденсаторов выполнять автоматически с поддержанием заданного значения коэффициента мощности и с помощью программируемого таймера или дежурного персонала.*

**Ключевые слова:** управление, компенсация реактивной мощности, автоматизация, оптимизация.