

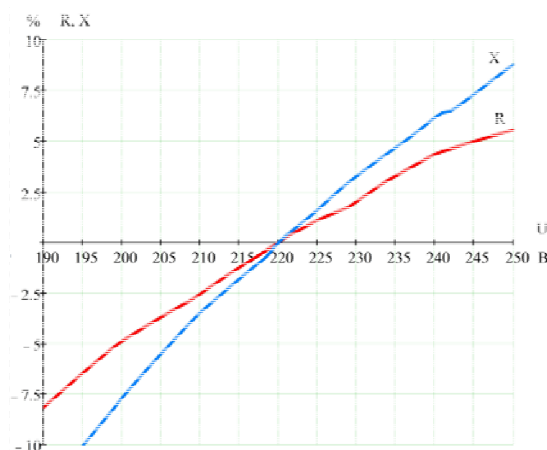


Рис. 1. Зависимость отклонения от номинального значения активного R и реактивного X сопротивлений нагрузки потребителя от напряжения сети

Анализ графиков, приведенных на рисунке, показывает, что в пределах допустимого отклонения напряжения ($\pm 10\%$) сопротивление нагрузки изменяется примерно на 5% от номинального значения, что можно считать допустимым для проведения линеаризации ее вольт-амперной характеристики. Таким образом, при расчетах режима работы электрической сети $0,4$ кВ частного жилого фонда, можно представить электрическую нагрузку бытовых потребителей в виде активного и реактивного сопротивлений и считать вольт-амперной характеристики нагрузки линейной, что позволит использовать прямые методы расчета.

Литература

- Идельчик, В. И. Электрические системы и сети : учеб. для вузов / В. И. Идельчик. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.

УДК 620.9:621.65:681.5:628.1/2:504.06

РОЛЬ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ГОРОДСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

А. А. Капанский

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

Исследование посвящено анализу влияния климатических факторов на загрузку системы городского водоснабжения. Выявлена зависимость между повышением температуры воздуха и увеличением водопотребления, что приводит к росту энергозатрат на работу насосных станций и водоочистных систем. Установлено, что температуры выше $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ обуславливают до $15,8\%$ водопотребления и $15,6\%$ энергопотребления. Осадки, напротив, незначительно, но снижают потребление воды в периоды дождей. При отрицательных температурах значимых корреляций с водопотреблением не выявлено, однако установлена зависимость роста электропотребления в холодное время, обусловленная поддержанием работоспособности инфраструктуры водоснабжения. Результаты могут применяться для планирования режимов водоснабжения в условиях изменения климатических факторов и использоваться в дальнейшем для разработки стратегий энергоэффективного управления насосными станциями.

Ключевые слова: энергопотребление, водопотребление, температура окружающей среды, атмосферные осадки, водоснабжение, энергоэффективность, насосные станции, корреляционный анализ, регрессионный анализ, скользящее среднее.

THE ROLE OF CLIMATIC FACTORS IN THE FORMATION OF ENERGY REGIMES OF URBAN WATER SUPPLY

A. A. Kapanski

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The study analyzes the influence of climatic factors on the load of the urban water supply system. A relationship has been found between an increase in air temperature and an increase in water consumption, which leads to an increase in energy costs for the operation of pumping stations and water treatment systems. It has been found that temperatures above 25 °C cause up to 15.8 % of water consumption and 15.6 % of energy consumption. Precipitation, on the contrary, slightly reduces water consumption during rainy periods. At negative temperatures, no significant correlations with water consumption were found, but a dependence on the growth of electricity consumption in the cold season, caused by maintaining the operability of the water supply infrastructure, was established. The results can be used to plan water supply modes in the context of changing climatic factors and used in the future to develop strategies for energy-efficient management of pumping stations.

Keywords: energy consumption, water consumption, ambient temperature, precipitation, water supply, energy efficiency, pumping stations, correlation analysis, regression analysis, moving average.

Городская система водоснабжения представляет собой сложную и взаимосвязанную структуру, которая включает в себя насосные станции, водозаборные сооружения, распределительные сети и системы очистки воды. Для эффективного управления такой системой и минимизации энергопотребления необходимо иметь представление о роли экзогенных параметров, формирующих режимы водопотребления. Одной из ключевых задач в этой области является выявление факторов, которые на первый взгляд кажутся незначительными, но на практике оказывают значительное влияние на общую нагрузку всей системы. Исследование качественных и количественных связей в этом контексте позволяет разрабатывать более точные модели водопотребления, что, в свою очередь, создает прочную основу для оптимизации работы насосных станций и распределения энергетических ресурсов между водозаборами.

В научной литературе многократно подчеркивается особая роль температуры окружающей среды в планировании ресурсов водоснабжения. Так, исследования Twomey и Webber (2011) указывают на значительное увеличение спроса на воду в периоды повышенных температур [1]. В научной работе автор Zapata (2015) утверждает, что температура воздуха является определяющим фактором для потребления воды в жилых районах мегаполисов [2]. Климатические факторы также оказывает существенное воздействие на сельскохозяйственное водопотребление, что приводится в публикации авторов B. G. Bezerra и T. S. Lee (2012), которые отметили значительный рост потребления воды для орошения в жаркие периоды [3]. Отечественные исследования подтверждают важность температурных колебаний на снижение удельного энергопотребления благодаря уменьшению гидравлического сопротивления в трубопроводах при повышении температуры [4, 6].

Опираясь на мировой опыт и статистические показатели водоснабжения Гомеля, мы провели расширенное исследование, охватывающее режимы работы пяти ключевых водозаборов: Сож, Ипуть, Корневский, Юго-Западный и Центральный.

Информационная база формировалась на основе часовых показателей работы насосных станций и получасовых данных системы учета электроэнергии. Дополнительно интеграция этих данных с климатическими показателями, такими как температура воздуха и осадки, полученными в сотрудничестве с Гомельским гидрометцентром, позволила увязать технологическую статистику с климатическими факторами. Это значительно расширило возможности анализа влияния внешних условий на водо- и электропотребление в системе.

Из проведенного литературного обзора была выдвинута гипотеза, что климатические факторы оказывают значительное влияние на динамику водопотребления и, соответственно, на затраты электроэнергии в системе водоснабжения. Рост температуры, как показывают мировые исследования, способствует увеличению потребления воды для бытовых нужд, полива и орошения. В свою очередь, атмосферные осадки оказывают противоположное влияние на водопотребление, снижая его в периоды обильных дождей. Однако первичный анализ показал, что влияние температуры и осадков (рис. 1) является слабо выраженным, о чем свидетельствуют низкие коэффициенты корреляции.

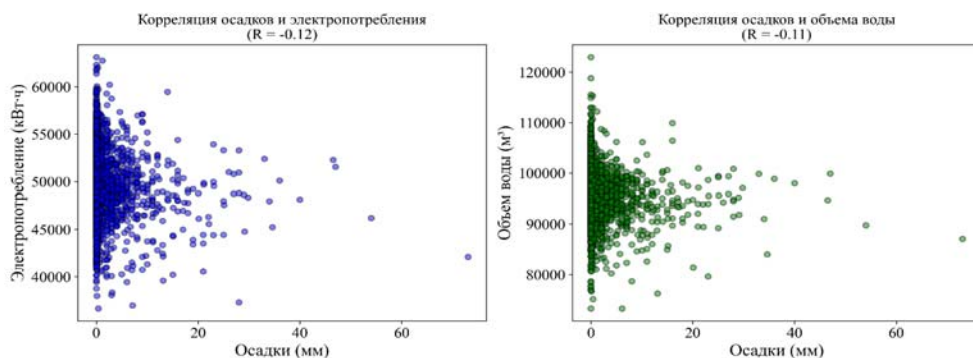


Рис. 1. Корреляция осадков электропотреблением и объемом подачи воды

При исследовании многомерной структуры данных отчетливо наблюдалось, что при достижении определенных значений температуры, связь между параметрами становится значимой. Для лучшего понимания на рис. 2 приводится анализ корреляции данных, разделенных по температурному порогу в 15 °С.

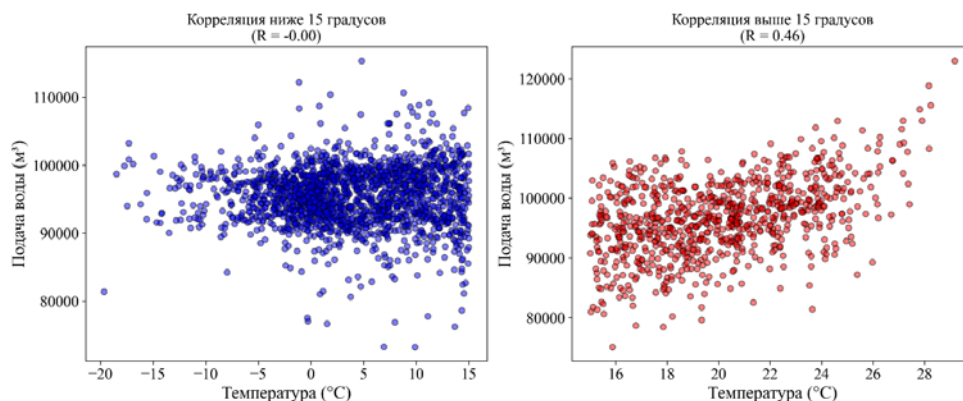


Рис. 2. Корреляция между подачей воды и температурой воздуха ниже и выше порога в 15 °С

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.

Литература

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.