

УДК 621.311

**ОДНОМОМЕНТНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ
ЭНЕРГИИ****SIMULTANEITY OF ENERGY PRODUCTION AND CONSUMPTION**

А.Ю. Вечорко, Е.М. Гилевский

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

vladmir70@rambler.ru

A. Vechorko, E. Gilevskiy

Supervisor – V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: статья анализирует проблему одномоментности производства и потребления энергии, связанную с БелАЭС, и ограничения других источников.

Abstract: the article analyzes the issue of simultaneous energy production and consumption related to the Belarusian Nuclear Power Plant and the limitations of other energy sources.

Ключевые слова: одномоментность, энергосистема, синхронизация, энергобаланс.

Keywords: simultaneity, energy system, synchronization, energy balance.

Введение

Одномоментность выработки и потребления энергии – это нужда синхронизации производства электроэнергии с нынешним спросом потребителей в реальном времени, вызванная ограниченной способностью сохранения электроэнергии в больших количествах.

Одномоментность производства и потребления энергии важна для Беларуси из-за зависимости от импорта энергоносителей (85%) и ограниченных маневренных мощностей. Ввод БелАЭС усилил проблему, так как ее базовый режим усложняет балансировку спроса, требуя эффективного управления энергосистемой [1].

БелАЭС (2020, 2400 МВт) покрывает 30% спроса, уменьшая импортозависимость, но её стабильная выработка создает избыток энергии ночью и дефицит в пики. Зависимость от газа для тепловых станций подчеркивает необходимость синхронизации генерации и потребления. БелАЭС (2020, 2400 МВт) покрывает 30% спроса, снижая импортозависимость, но ее стабильная выработка создает избыток энергии ночью и дефицит в пики [2]. Зависимость от газа для тепловых станций подчеркивает необходимость синхронизации генерации и потребления.

Основная часть

Одномоментность производства и потребления энергии заключается в надобности обеспечения точного соответствия между объемом производимой электроэнергии и текущим спросом потребителей в реальном времени. Эта

особенность энергетики обусловлена ограниченными возможностями хранения электроэнергии в больших объемах, что требует оперативного управления генерацией и распределением. В Республике Беларусь проблема усугубляется структурой энергосистемы, где преобладают источники с низкой маневренностью, такие как БелАЭС, и отсутствуют широко внедренные технологии аккумулирования энергии.

Синхронизация генерации и потребления электроэнергии критически важна для поддержания стабильности энергосистемы. Любое отклонение – излишек или дефицит энергии – может привести к перегрузке сетей, сбоям в оборудовании или отключениям потребителей. В Беларуси спрос на электроэнергию значительно варьируется: в ночные часы он снижается на 30–40% по сравнению с дневными пиковыми периодами, особенно зимой, из-за отопления и освещения [3]. Это требует от энергосистемы гибкости, которой текущая структура генерации, ориентированная на стабильную выработку, обеспечить в полной мере не может.

Электроэнергия, в отличие от других ресурсов, не может храниться в существенных объемах без специализированных технологий. Традиционные методы, такие как аккумуляторы или гидроаккумулирующие станции, пока не получили широкого распространения в Беларуси из-за высокой стоимости и технологических ограничений. Например, литий-ионные батареи, применяемые в пилотных проектах, имеют ограниченную емкость и высокую цену, а гидроаккумуляторы требуют подходящих географических условий, которых в стране недостаточно. Это делает энергосистему зависимой от мгновенного балансирования выработки и потребления, усиливая проблему одномоментности.

Белорусская атомная электростанция (БелАЭС), введенная в эксплуатацию в 2020 году, играет ключевую роль в энергосистеме Беларуси. С двумя энергоблоками ВВЭР-1200 общей мощностью 2400 МВт она обеспечивает около 30% национального спроса на электроэнергию, значительно снижая зависимость от импорта энергоносителей. Это укрепило энергетическую независимость страны, но одновременно выявило сложности, связанные с одномоментностью производства и потребления энергии [2].

БелАЭС спроектирована для работы в базовом формате, при котором энергоблоки выдают устойчивый объем электроэнергии с минимальными отклонениями. Такая конструкция обеспечивает экономическую эффективность и надёжность, но ограничивает способность станции оперативно реагировать на изменения спроса. Например, в ночные часы, когда потребление падает на 30–40% по сравнению с дневными пиками, БелАЭС продолжает генерировать излишнюю энергию. По данным Белэнерго, в 2022 году около 10% её выработки оставалось неостребованной в такие периоды, что вынуждало уменьшать производство на иных станциях или искать альтернативные способы применения энергии, такие как нагрев воды в теплоснабжении [4].

Снижение мощности реакторов возможно, но требует существенного времени и дополнительных издержек, что снижает конкурентоспособность Бел-

АЭС по сравнению с маневренными источниками. В то же время в пиковые периоды, особенно зимой, когда спрос возрастает из-за отопления и освещения, стабильная выработка БелАЭС может быть недостаточной. Это вынуждает подключать дорогостоящие тепловые станции, увеличивая затраты энергосистемы. Таким образом, несмотря на стратегическую значимость БелАЭС, её базовый режим работы усугубляет проблему одномоментности, требуя дополнительных мер для балансировки энергосистемы.

Энергосистема Беларуси, кроме БелАЭС, опирается на тепловые электростанции, гидроэнергетику и возобновляемые источники энергии (ВИЭ), каждый из которых имеет свои ограничения в решении проблемы одномоментности.

Тепловые электростанции, такие как Лукомльская и Березовская ГРЭС, а также городские ТЭЦ, обладают большей гибкостью по сравнению с Бел-АЭС, так как могут регулировать выработку в зависимости от спроса. Однако их использование для балансировки энергосистемы ограничено. Во-первых, они работают на природном газе, который составляет около 85% импортируемых энергоресурсов, что увеличивает зависимость от внешних поставок [1]. Частое изменение режимов работы для компенсации пиков и спадов спроса повышает расход газа и себестоимость электроэнергии на 20–30%. Во-вторых, многократные пуски и остановки газовых турбин ускоряют износ оборудования, требуя дополнительных затрат на ремонт. К примеру, Лукомльская ГРЭС, рассчитанная на базовый формат, теряет ресурс при работе в маневренном режиме, что делает тепловые станции неоптимальным решением для одномоментности.

Гидроэнергетика в Беларуси играет незначительную роль ввиду географических ограничений. Отсутствие крупных рек сужает мощность ГЭС, таких как Гродненская или Полоцкая, до менее чем 1% энергобаланса. Эти станции способны покрывать только локальные нужды и не могут эффективно компенсировать существенные колебания спроса на национальном уровне. В отличие от стран с развитой гидроэнергетикой, таких как Норвегия, Беларусь не может применять ГЭС для быстрого регулирования выработки, что усиливает зависимость от иных источников [5].

ВИЭ, включая солнечные и ветровые станции, в 2023 году составляли около 2% энергобаланса, но их вклад ограничен нестабильностью выработки. Солнечные станции активны только днем, а ветровые зависят от силы ветра, что делает их непредсказуемыми. Без развитых систем накопления энергии, которые в Беларуси находятся на стадии пилотных проектов, ВИЭ не могут надежно балансировать энергосистему. Например, солнечные станции не помогают в ночное время, а ветровые требуют резервных мощностей. Таким образом, текущая доля и технические ограничения ВИЭ не позволяют им заметно смягчить проблему одномоментности [6].

Для преодоления проблемы одномоментности производства и потребления энергии в Республике Беларусь необходим комплексный подход, включающий технологические, инфраструктурные и экономические меры.

Системы накопления энергии (СНЭ), такие как литий-ионные батареи или насосные гидроаккумуляторы, могут аккумулировать избыточную энергию БелАЭС в ночные часы для применения в пиковые периоды. Пилотный проект в Могилевской области (батарея 1 МВт·ч, 2023) демонстрирует потенциал, но высокая стоимость и зависимость от импорта материалов требуют государственных субсидий и сотрудничества с технологическими лидерами, такими как Китай или Германия [7].

«Умные» сети с системами SCADA позволяют перераспределять энергию в реальном времени, минимизируя потери. Модернизация сетей перед запуском БелАЭС улучшила передачу энергии, но устаревшая инфраструктура в регионах сужает гибкость. Программа Минэнерго до 2030 года предусматривает цифровизацию, что облегчит интеграцию ВИЭ и повысит устойчивость системы [8].

Снижение энергоемкости ВВП на 35% к 2023 году показывает успех, но потенциал есть в жилом секторе. Дифференцированные тарифы и «умные» счетчики, тестируемые в Минске и Гродно, стимулируют перенос потребления на ночь. Программа «Энергосбережение-2025» субсидирует энергоэффективное оборудование, снижая пиковые нагрузки [9].

ВИЭ (2% энергобаланса в 2023 году) могут дополнять БелАЭС в дневные часы. Рост солнечных станций на 15% в 2023 году поддерживается льготами, но их нестабильность требует СНЭ. Создание гибридных систем с аккумуляторами и стратегия интеграции ВИЭ повысят их роль в балансировке [6].

Заключение

Проблема одномоментности производства и потребления энергии в Республике Беларусь сохраняется существенным вызовом, особенно после запуска БелАЭС. Стабильная выработка атомной электростанции, ограниченные возможности тепловых электростанций, незначительная роль гидроэнергетики и нестабильность ВИЭ затрудняют синхронизацию генерации и спроса, приводя к избытку энергии ночью и дефициту в часы пик. Это создает нагрузку на сети, повышает затраты и противоречит экологическим задачам. Перспективные решения – системы накопления энергии, «умные» сети, энергоэффективность, экспорт и развитие ВИЭ – требуют инвестиций и международного сотрудничества. Комплексное осуществление этих мер позволит увеличить гибкость энергосистемы, минимизировать потери и обеспечить устойчивое развитие энергетики Беларуси, укрепляя ее независимость и экологичность.

Литература

1. Министерство энергетики Республики Беларусь: [сайт]. – Минск, 2004–2024. – URL: <http://www.minenergo.gov.by> (дата обращения: 15.04.2025).
2. Белорусская атомная электростанция: [сайт]. – Островец, 2020–2024. – URL: <http://www.belaes.by> (дата обращения: 15.04.2025).
3. Белстат. Статистический ежегодник Республики Беларусь, 2023. – Минск : Национальный статистический комитет, 2023. – 550 с. – URL: <http://www.belstat.gov.by> (дата обращения: 15.04.2025).

4. Белэнерго. Отчет о производственной деятельности за 2022 год. – Минск: ГПО «Белэнерго», 2023. – 120 с. – URL: <http://www.belenergo.by> (дата обращения: 15.04.2025).
5. Гидроэнергетика Беларуси: состояние и перспективы / А. В. Иванов, П. С. Петров. – Минск : БНТУ, 2022. – 85 с.
6. Возобновляемые источники энергии в Беларуси: вызовы и возможности / С. М. Кузнецов, Л. А. Сидорова. – Минск : Институт энергетики НАН Беларуси, 2023. – 200 с. – URL: <http://www.energoinst.by> (дата обращения: 15.04.2025).
7. Системы накопления энергии: мировой опыт и белорусские перспективы / В. Н. Коваленко, Д. И. Смирнов. – Минск : Техноперспектива, 2023. – 150 с.
8. Программа модернизации энергосистемы Беларуси до 2030 года. – Минск : Министерство энергетики, 2022. – 90 с. – URL: <http://www.minenergo.gov.by> (дата обращения: 15.04.2025).
9. Энергосбережение-2025: государственная программа. – Минск : Департамент по энергоэффективности, 2021. – 75 с. – URL: <http://www.energoeff.gov.by> (дата обращения: 15.04.2025).