

На пути к устойчивому низкоуглеродному развитию



Александр Михалевич,
главный научный
сотрудник лаборатории
«Устойчивое
энергетическое
развитие» Института
энергетики НАН
Беларуси, академик,
профессор



Татьяна Зорина,
заведующий
лабораторией
«Устойчивое
энергетическое
развитие» Института
энергетики НАН
Беларуси, доктор
экономических наук,
профессор



Александр Гребеньков,
ведущий научный
сотрудник лаборатории
«Устойчивое
энергетическое
развитие» Института
энергетики НАН
Беларуси, кандидат
технических наук



Сергей Александрович,
старший научный
сотрудник лаборатории
«Устойчивое
энергетическое
развитие» Института
энергетики НАН
Беларуси

Выполнение мер по снижению темпов роста углеродоемкости ВВП становится заметной тенденцией мировой климатической политики. При этом важнейшим показателем является сокращение объема выбросов парниковых газов в производственных процессах, использующих углеводородное сырье, доля которых в суммарных данных составляет около 73% , где почти половина приходится на выбросы при производстве энергии [5]. Анализ динамики изменения данного показателя за последнее десятилетие указывает на его продолжающийся общемировой рост (в среднем на 0,7% в год). При этом в странах Приложения I к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИК ООН), к которым относится Республика Беларусь, наблюдается снижение выбросов парниковых газов при производстве энергии (в среднем на 2,8% в год). Данный факт обусловлен не только ростом энергоэффективности экономики этих государств, но и постепенным переходом на низкоуглеродные топливно-энергетические ресурсы (ТЭР) при производстве и потреблении энергии, к которым относят, помимо возобновляемых источников энергии (ВИЭ), также ядерную энергию. Доля последней в конечном энергопотреблении на протяжении 10 лет сохраняется на уровне около 4,4% за счет ввода новых атомных станций [6].

Современная энергетическая политика рассматривает атомную энергетику как необходимый компонент переходного периода в сторону климатически нейтральной экономики. На 28-й сессии Конференции сторон РКИК ООН в результате обсуждений основных направлений развития энергетического сектора множество стран приняли декларацию [7], в которой признается необходимость утроения мощностей атомной

энергетики к 2050 г. и предлагается акционерам международных финансовых институтов поощрять включение ядерной энергии в политику кредитования с тем, чтобы реализовать сценарий, который не допускает повышения глобальной температуры на 1,5 °C к концу столетия.

Поскольку проблемы сохранения климата усиливают импульс для поиска и продвижения более устойчивых и низкоуглерод-

ных вариантов экономического развития, в мире наблюдается существенный рост долгосрочных вложений в новую энергетику. Согласно оценкам [8], ежегодные инвестиции за последние 15 лет в повышение энергоэффективности, ускоренное развитие АЭС и ВИЭ, электрификацию с системами сетевых накопителей энергии возросли примерно в 30 раз, превысив в 2023 г. 1,74 трлн долл. Их рост за 2021–2023 гг. составил 24%, что почти в 1,7 раза превышает расходы на поддержку инфраструктуры энергетики, основанной на ископаемых ТЭР. Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в данной сфере также заметно переориентированы на разработки низкоуглеродных энергоисточников [9], бюджеты которых увеличились за последние 15 лет почти в 2,3 раза, превысив в 12,5 раза финансирование проектов по ископаемым видам топлива.

За счет этих ресурсов крупные энергетические компании реализуют глобальный энергопереход, включающий вывод из эксплуатации энергоисточников на ископаемых видах топлива с заменой их атомными и другими низкоуглеродными мощностями и расширение масштабов электрификации потребителей. Отмеченные тенденции иллюстрирует динамика ключевых индексов в электроэнергетике [5] за последние 12 лет (рис. 1).

Отмеченный рост доли электроэнергии и диверсификации ее источников, а также прогнозы по сокращению ископаемых видов топлива в структуре первичных ТЭР в энергоснабжении требуют дополнительных инструментов для покрытия колебаний графиков электрических и тепловых нагрузок на стороне спроса. Это

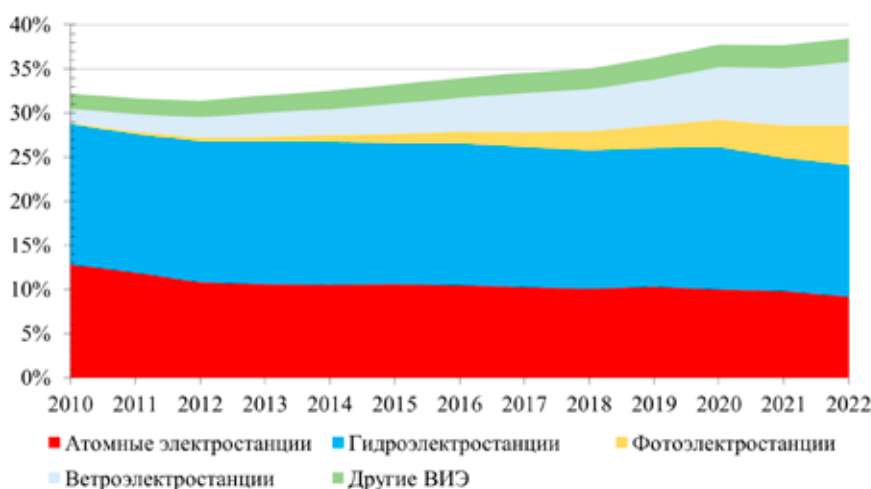


Рис. 1. Структура и динамика потребления низкоуглеродных ТЭР при производстве электроэнергии в мире

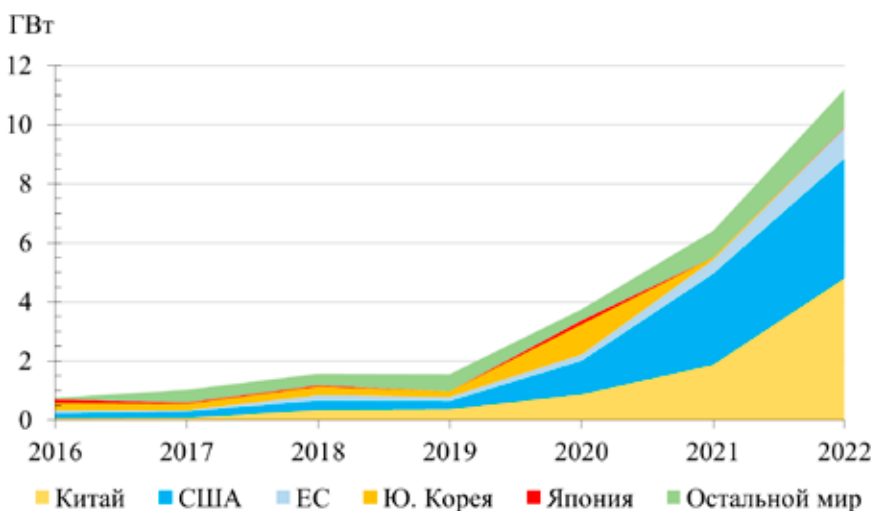


Рис. 2. Нарастание мощностей в области накопления и хранения энергии

является причиной ускоренного и существенного расширения мощностей сетевых аккумуляторных накопителей и других систем хранения энергии [10] (рис. 2).

Таким образом, современное развитие энергетики характеризуется сокращением энергоемкости глобальной экономики. За последние 20 лет валовое потребление первичных ТЭР на единицу мирового ВВП уменьшилось в среднем на 1,5% в год при росте ВВП на 3,1% [11]. При этом уровни, динамика и тенденции сокращения энергоемкости заметно отличаются по странам и регионам, что отражает особенности соответствующих климатических зон и различия в экономическом и технологическом развитии, структуре экономики и национальной энергетической политике. Высокая энергоемкость и ее рост в некоторых государствах объясняется преобладанием низкоэффективных производств, сырьевой экспортной экономикой и низкими ценами на природные ТЭР, не стимулирующими сокращение удельного энергопотребления.

В ближайшие 5 лет в энергетике ведущих стран продолжится переход от мер прямой бюджетной поддержки и неявных субсидий для ископаемых видов топлива к конкурентным схемам в пользу низкоуглеродных ТЭР (аукционам, системам «зеленых» сертификатов, прямым договорам поставки). Цель этих решений – уменьшить зависимость от производства и потребления углеводородов, разнообразить баланс ТЭР, что вместе с растущей ролью выбора потребителя и расширением конкуренции между различными видами энергии и топлива приведет к большей устойчивости, предсказуемости и безопасности развития энергетики. При этом сокра-

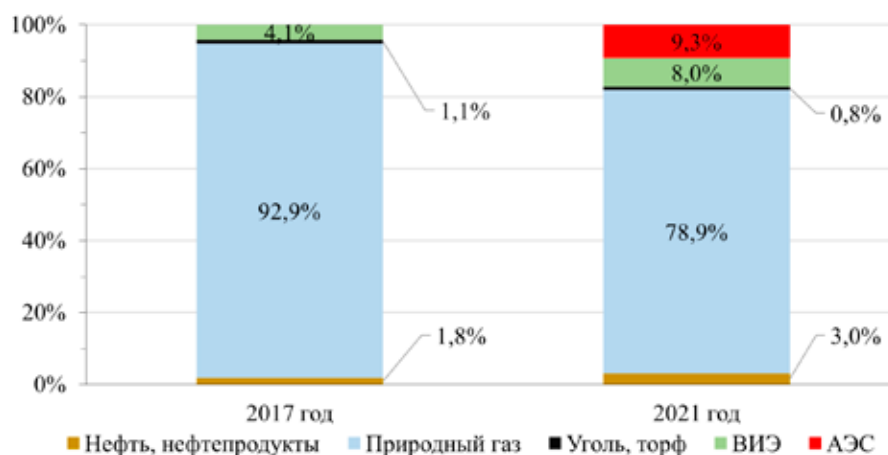


Рис. 3. Структура и баланс валового потребления первичных ТЭР в ТЭК Беларуси

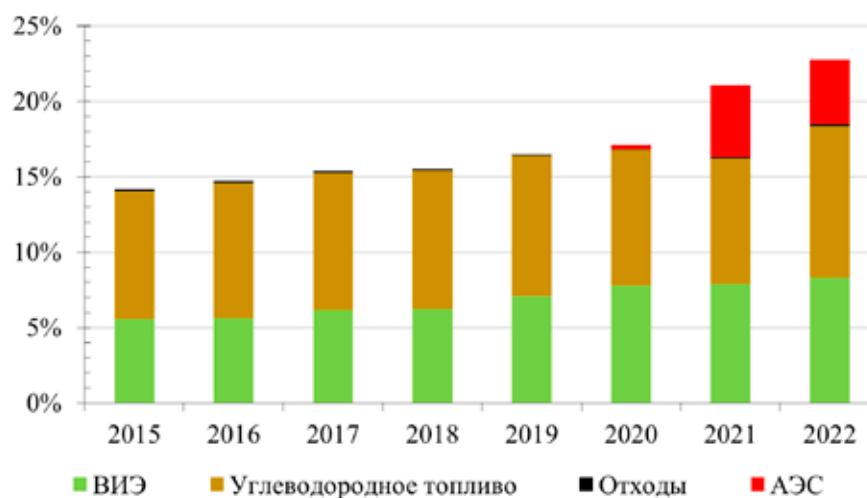


Рис. 4. Доля производства (добычи) первичной энергии (с учетом электроэнергии, выработанной на БелАЭС) в объеме валового потребления ТЭР

щение удельного расхода ископаемого топлива на выпуск продукции станет прямым конкурентным преимуществом участников таких схем. Важным инструментом, стимулирующим развитие низкоуглеродной экономики, становится механизм трансграничного углеродного регулирования, который в настоящее время рассматривается многими странами в качестве налога на импорт углеродоемкой продукции.

Направления развития энергетической отрасли Беларуси

Среди важных приоритетов экономики нашей страны, отвечающих мировым тенденциям, следует назвать безопасность, надежность, финансовую устойчивость и эффективность работы ТЭК. Учитывая структуру валового потребления первичных

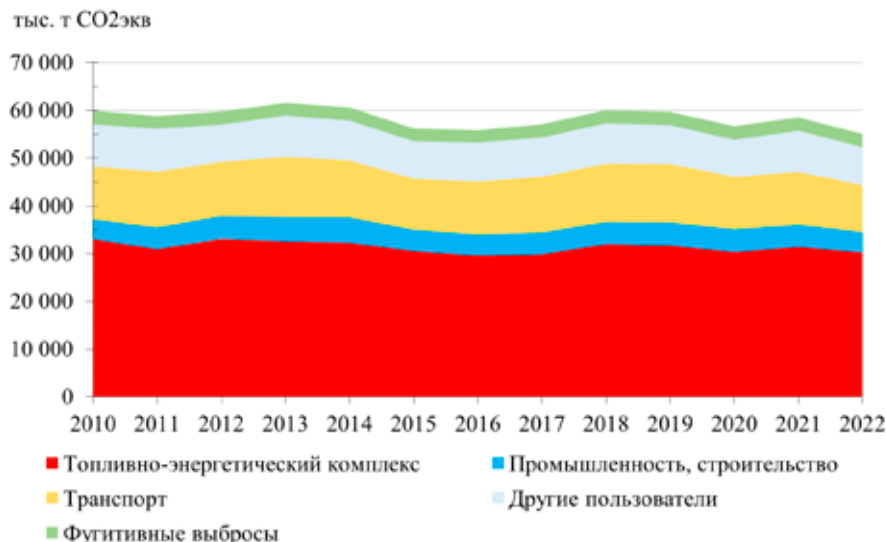


Рис. 5. Выбросы парниковых газов в процессах, где при производстве энергии используются ТЭР на основе ископаемого углеводородного сырья

ТЭР в национальном ТЭК, которая, согласно статистическим данным, является несбалансированной (рис. 3), к стратегическим задачам развития отрасли отнесены: снижение зависимости от импорта углеводородов, сближение энергоемкости ВВП со среднемировым значением этого показателя, сокращение валового потребления ископаемых ТЭР и наращивание мощностей низкоуглеродных энергоисточников, включая АЭС.

За последние 20 лет валовое потребление первичных ТЭР остается практически неизменным, однако анализ структуры их нынешнего баланса в сравнении с данными предыдущего периода указывает на хорошую динамику сокращения импорта: по электроэнергии – почти в 15 раз, нефти – на 39%, природному газу – на 5,3%, углю – на 54%.

Рассматривая возможность дальнейшей диверсификации первичных ТЭР, правительство страны до 2025 г. планирует повысить энергетическую самостоятельность за счет расширения атомных энергоисточников,

местных ТЭР и ВИЭ, доля которых в объеме валового потребления значительно выросла после ввода в промышленную эксплуатацию БелАЭС (рис. 4).

Республика Беларусь, выполняя положения Парижского соглашения и соответствующих международных обязательств, при разработке и реализации национальной природоохранной политики прилагает необходимые усилия и меры для сокращения выбросов парниковых газов в сфере энергетики [12]. Производственные процессы, основанные на технологиях сжигания углеродосодержащего топлива с целью получения тепловой энергии и ее дальнейшего преобразования и использования, являются основным источником выбросов парниковых газов в стране, на долю которого приходится 63,2% от общенациональных выбросов [13]. При этом более половины этих выбросов занимают процессы, применяемые в ТЭК (рис. 5), которые включают стационарное сжигание топлива при производстве элект-

рической и тепловой энергии как тепловыми конденсационными электростанциями общего пользования, станциями комбинированной выработки тепловой и электрической энергии, котельными, так и тепловыми энергоисточниками предприятий.

Сокращение углеродоемкости ТЭК, таким образом, становится в ряд важнейших задач развития энергетической отрасли и хорошо согласуется с отмеченными выше другими приоритетными направлениями, в которых одну из ключевых ролей начинает играть атомная энергетика.

Условия развития и перспективы атомной энергетики

Монтаж реактора первого энергоблока БелАЭС мощностью 1,17 ГВт был начат 27 января 2016 г., 3 ноября 2020 г. он был включен в объединенную энергосистему страны, а с 10 июня 2021 г. он введен в промышленную эксплуатацию. До 31 декабря 2021 г. станция выработала 6120 млн кВт·ч электроэнергии, в 2022 г. – 4685,4 млн кВт·ч. Второй энергоблок БелАЭС мощностью 1,17 ГВт к 27 декабря 2021 г. был заправлен ядерным топливом, и 26 апреля 2022 г. осуществили физический пуск его реактора. Ввод в промышленную эксплуатацию состоялся в ноябре 2023 г. По данным Минэнерго, начиная с этой даты совокупная выработка электроэнергии к середине января 2024 г. составила около 23 млн кВт·ч, или 14,5% от общей по стране за 2020–2023 г.

В то же время для интеграции БелАЭС в энергосистему Беларуси и поддержания работы ядерных блоков в базовом режиме необходимо обеспечить

соответствующее значение и режимы электропотребления. За последние 3 года этому содействовали правительственные решения, направленные на повышение потребления электроэнергии в различных областях народного хозяйства, а также на строительство и реконструкцию электросетей и подстанций различных классов напряжения.

С 1 января 2021 г. введена категория «энергоемкие потребители», предусматривающая применение стимулирующего тарифного плана. Учитывая тот факт, что домохозяйства являются одним из основных энергопотребителей, на долю которых приходится примерно 45% и 21% от поставляемой на рынок тепловой и электрической энергии соответственно, для их стимулирования установлена система скидок к тарифам.

Необходимым элементом в создающейся инфраструктуре электроснабжения является строительство пиково-резервных источников и электрокотлов. Их суммарная установленная мощность, достичь которой планируется к 2025 г., составляет 1,12 ГВт, из них 0,76 ГВт – на электростанциях и 0,16 ГВт – на котельных. В настоящее время введено в эксплуатацию 170 МВт и 26 МВт

соответственно. Предусмотрено также запустить в работу дополнительное сетевое оборудование и новые подстанции.

Ускоренный переход к замещению основных объемов вторичных ТЭР электроэнергией для достижения необходимой величины расхода этого ресурса стал важным приоритетом энергетической политики государства. Однако, как следует из анализа данных, положительный рост электропотребления, наметившийся в течение последних 5 лет, в 2022 г. показал отрицательную динамику – сокращение на 6%. Одновременно появилась тенденция к увеличению потребления электричества населением – на 2,1%. Таким образом, электрификация жилищного сектора и сферы услуг может стать важным направлением повышения спроса на электроэнергию. Планируется, что электродома и электротранспорт составят более 30% от введенных в эксплуатацию объектов.

С учетом обозначенных мер, согласно проведенным исследованиям [20], суммарный технически возможный потенциал ежегодного электропотребления по исследуемым отраслям экономики Республики Беларусь к 2050 г. может увеличиться на 10–20 млрд кВт·ч (рис. 6).

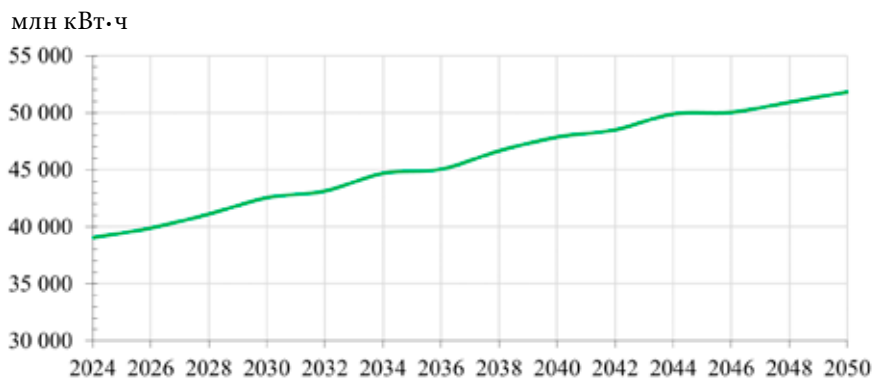


Рис. 6. Показатели ежегодного электропотребления согласно одному из прогнозных сценариев

Этого можно достичь в рамках следующих направлений:

- **в промышленности:** создание производств на базе древесного сырья с обеспечением полной загрузки имеющихся производственных мощностей; выпуск изделий с использованием местных минерально-сырьевых ресурсов, в первую очередь калийных руд и кварцевых песков; развитие наукоемкого фармацевтического и биотехнологического кластера на основе сельскохозяйственной продукции и недревесных ресурсов леса; увеличение глубины переработки импортного углеводородного сырья; совершенствование на новой технологической базе традиционного для Беларуси машиностроения (роботизированные технологические комплексы, элементы концепции «Индустрия 4.0»); замена газовых печей на предприятиях республики на электрические печи по мере их вывода из эксплуатации; увеличение доли электроэнергии в процессах термообработки продуктов в пищевой промышленности;
- **в сельском хозяйстве:** использование систем инфракрасных электрических излучателей для создания благоприятного микроклимата для животных; увеличение доли электроэнергии в процессах подогрева воды и корма животных, сушки сельскохозяйственной продукции; строительство энергосберегающих теплиц с современными методами выращивания растений; замена существующего устаревшего оборудования;

- **в сфере услуг:** комплексное развитие электроиндустрии; создание центров обработки данных; расширение на территории Республики Беларусь деятельности по майнингу криптовалюты; увеличение доли электроэнергии в структуре потребления энергоресурсов для нужд отопления и горячего водоснабжения на объектах недвижимости в сфере услуг;
- **в бытовом секторе:** дальнейшее увеличение потребления электроэнергии населением на отопление и горячее водоснабжение для многоквартирных и индивидуальных жилых домов;
- **на транспорте:** электрификация Белорусской железной дороги; расширение зарядной сети электромобилей, находящихся в собственности у населения; увеличение доли электрического транспорта в структуре городского транспорта.

Важно также отметить, что запуск обеих энергоблоков БелАЭС на полную мощность, а также расширение области использования ВИЭ позволит улучшить ряд индикаторов энергетической безопасности к 2035 г. следующим образом:

- **энергетическая самостоятельность:** объем собственного производства (добычи) первичной энергии в объеме валового потребления ТЭР будет повышен с нынешних 22,5% до 70%;
- **диверсификация энергоресурсов:** доля природного газа (доминирующего вида топлива) снизится с нынешних 59,5% до 40%;
- **резервирование мощности:** отношение суммарной установленной мощности электростанций к максимальной фактической нагрузке в энергосистеме вырастет с нынешних 180,4% до 200%.

В отличие от ВИЭ, которые обеспечивают сложно прогнозируемую и часто прерывистую подачу электроэнергии, БелАЭС позволяет в базовом режиме круглосуточно работать ТЭК надежно и устойчиво, при этом производственная площадь систем станции на единицу выработанной электроэнергии гораздо меньше, чем у многих ВИЭ. С другой стороны, оба данных направления развития электроэнергетики требуют наличия систем по накоплению и хранению электроэнергии для создания регулируемого баланса энергопотребления.

В первую очередь для этого предлагается использовать зарядную инфраструктуру электромобилей. В настоящее время в стране эксплуатируются 768 зарядных станций суммарной мощностью 42,85 МВт. Согласно соответствующей программе [21], до 2030 г. планируется возвести сеть зарядных станций суммарной мощностью 637,4 МВт. Создаваемая сеть сверхбыстрых станций позволит одновременно обслуживать не менее 109,4 тыс. транспортных средств в сутки. Ежегодное аккумулирование электроэнергии в базовом сценарии развития данной технологии составит до 120 млн кВт·ч. С учетом необходимости сглаживания характерных суточных графиков нагрузок зарядных систем, данная технология будет мотивировать разработки зарядных устройств, сопряженных с системами хранения электроэнергии, локальными фотоэлектрическими станциями, а также с технологической схемой Vehicle-to-Grid.

Следующим этапом должны стать системы накопления электроэнергии, основанные на электрохимических процессах [22]. Данные системы обеспечат необходимую долю аварийно-нагрузочного резервирования БелАЭС, балансировку нагрузки в ночных провалах и сглаживание графика нагрузки всей энергосистемы с переносом суточной выработки с пиковых часов на ночные. Системы аккумулирования электроэнергии позволят также выровнять перетоки электрической энергии в распределительных сетях, снизить перерасход углеродосодержащего топлива в традиционных электростанциях, связанный с периодами их недостаточной нагрузки или работой на техническом минимуме.

В конечном итоге предлагаемые выше меры гарантируют полноценную реализацию проекта БелАЭС, обеспечат до 40% внутренних потребностей страны в электроэнергии, приведут к ежегодному замещению около 5 млрд м³ импортируемого природного газа и уменьшат выбросы парниковых газов более чем на 7 млн т в год.

Анализ результатов почти двухлетней эксплуатации первой в Республике Беларусь атомной электростанции позволяет сделать вывод, что включение данного низкоуглеродного источника энергии в Объединенную энергосистему национального ТЭК существенно улучшило показатели энергетической безопасности страны и заметно сократило углеродоемкость ее экономики.

Прежде всего БелАЭС гарантирует устойчивый и последовательный рост энергетической самостоятельности государства.

Во-вторых, эксплуатация БелАЭС содействует диверсификации структуры баланса

первичных ТЭР и их конечного потребления с сокращением доли ископаемых видов топлива, что способствует выполнению принятых страной международных обязательств в рамках Парижского соглашения по климату, а также соответствует современным трендам и программам развития мировых экономик.

В-третьих, атомная энергетика способствует росту спроса на электроэнергию, что, в свою очередь, будет инициировать повышение доли ВИЭ и других низкоуглеродных источников в конечном энергопотреблении, уско-

рять процесс децентрализованной генерации электроэнергии, включая поиск решений в области ее накопления и хранения.

В-четвертых, БелАЭС не только минимизирует или устраняет угрозу недостатка энергоресурсов, другие риски и неопределенности, с которыми сталкивается энергетическая система Беларуси, создавая при этом условия устойчивого энергообеспечения экономики и социальной сферы для эффективного развития страны, но и способствует участию национального ТЭК в международных и региональных

энергетических рынках и объединенных энергосистемах.

Кроме того, эксплуатация БелАЭС в составе ТЭК способствует росту доступности первичных ТЭР в виде электроэнергии для конечного потребителя, делает более надежной, устойчивой и эффективной инфраструктуру производства, преобразования, передачи, потребления и аккумулирования ТЭР, снижает энергоемкость и углеродоемкость национального ВВП, привлекает инвестиции в дальнейшее развитие инфраструктуры отрасли. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. План мероприятий по реализации положений Парижского соглашения к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. Указ Президента Республики Беларусь №345 от 20.09.2016 (в редакции Указа №491 от 22.12.2018) // <https://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/PLAN-PS-2019.pdf>.
2. Комплексный план развития электроэнергетической сферы до 2025 г. с учетом ввода БелАЭС и межотраслевого комплекса мер по увеличению потребления электроэнергии до 2025 г. Постановление Совета Министров Республики Беларусь, 01.03.2016, №169 (изменения, дополнения в редакции №205 от 07.04.2021) // <https://energodoc.by/js/pdfs/web/viewer.html?file=/file/fulltext-view/8142.pdf>.
3. Национальный план действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь на 2021–2025 гг. Постановление Совета Министров Республики Беларусь, 10.12.2021, №710 // <https://minpriroda.gov.by/uploads/files/2021/nats.plan-po-razvitiyu-zelenoj-ekonomiki.pdf>.
4. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 года. Протокол заседания Президиума Совета Министров Республики Беларусь, 04.02.2020, №3 // <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR/NSUR-2035.pdf>.
5. Energy Institute: Statistical Review of World Energy, 2023, 72nd edition // https://www.energyinst.org/__data/assets/pdf_file/0004/1055542/EI_Stat_Review_PDF_single_3.pdf.
6. International Atomic Energy Agency: Nuclear Power Reactor in the World, IAEA-RDS-2/43, 2023 Edition // https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/RDS-2-43_web.pdf.
7. Declaration to Triple Nuclear Energy, 02 December 2023 // <https://netzeronuclear.org/news/landmark-ministerial-declaration-puts-nuclear-energy-at-the-heart-of-action-on-climate-change>.
8. International Energy Agency: World Energy Investment 2023, May 2023 // <https://iea.blob.core.windows.net/assets/8834d3af-af60-4df0-9643-72e2684f7221/WorldEnergyInvestment2023.pdf>.
9. International Energy Agency: Energy Technology RD&D Budgets Data Explorer, October 2023 // <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-technology-rdd-budgets-data-explorer>.
10. International Energy Agency: 2017–2022 Annual grid-scale battery storage additions, Paris, 10 July 2023 // <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/annual-grid-scale-battery-storage-additions-2017-2022>.
11. Enerdata e.o.: World Energy & Climate Statistics – Yearbook 2023, Energy intensity // <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-energy-intensity-gdp-data.html>.
12. Определяемый на национальном уровне вклад Республики Беларусь в сокращение выбросов парниковых газов до 2030 г. // https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Belarus_NDC_Russian.pdf.
13. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990–2022 гг. – Минск, 2023.
14. Об одобрении Концепции развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года. Постановление Министерства энергетики Республики Беларусь №7 от 25.02.2020 // <https://minenergo.gov.by/wp-content/uploads/Koncepcija-razvitija-elektrigen.moshhnostej-i-jel.setej-do-2030-g.-2020.docx>.
15. О Государственной программе «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 гг. Постановление Совета Министров Республики Беларусь №50 от 28.01.2021 // <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100050>.
16. Об утверждении Государственной программы «Энергосбережение» на 2021–2025 гг. Постановление Совета Министров Республики Беларусь №103 от 24.02.2021 // <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100103>.
17. Об утверждении Программы комплексной модернизации производств энергетической сферы на 2021–2025 гг. Постановление Министерства энергетики Республики Беларусь №19 от 05.04.2021 // <https://energodoc.by/js/pdfs/web/viewer.html?file=/file/fulltext-view/8720.pdf>.
18. Об утверждении комплексного плана развития электроэнергетической сферы до 2025 г. с учетом ввода БелАЭС и межотраслевого комплекса мер по увеличению потребления электроэнергии до 2025 г. Постановление Совета Министров Республики Беларусь №169 от 01.03.2016 (в редакции Постановления №714 от 20.10.2022) // <https://energodoc.by/js/pdfs/web/viewer.html?file=/file/fulltext-view/8951.pdf>.
19. Энергетический баланс Республики Беларусь, 2021. Национальный статистический комитет Республики Беларусь // https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sektor-ekonomiki/energeticheskaya-statistika/statisticheskie-izdaniya/index_39985.
20. Т.Г. Зорина. Развитие атомной энергетики в Республике Беларусь: сценарное моделирование // Вестник Белорусского государственного экономического университета. 2021. №6 (149). С. 21–30.
21. Об утверждении Программы создания государственной зарядной сети для зарядки электромобилей. Постановление Совета Министров Республики Беларусь №731 от 10.10.2018 // <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21800731&p1=1>.
22. К.В. Доброго. Об обосновании экономической целесообразности использования электрохимических накопителей электроэнергии в энергетической системе // Энергетическая стратегия. 2022. №5 (89). С. 28–32.