

УДК 621.039

<https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-4-88-98>

АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА СЕГОДНЯ

А. Г. ТРИФОНОВ, А. С. ХОДЬКО*Государственное научное учреждение**«Объединенный институт энергетических**и ядерных исследований – Сосны»**Национальной академии наук Беларуси, г. Минск*

Проанализированы состояние, проблемы и потенциал развития мировой ядерной энергетики. Показаны перспективы развития атомной энергетики России. Сделан акцент на значениях и направлениях развития атомной энергетики для Республики Беларусь. Актуализирована необходимость масштабной энергоинтеграции в рамках ЕАЭС и Союзного государства Беларуси и России с точки зрения энергетической безопасности для каждой страны.

Ключевые слова: перспективы развития, безопасность ядерной энергетики, экологичность, инновационные технологии, энергетическая интеграция, конкурентоспособность.

Для цитирования. Трифонов, А. Г. Атомная энергетика сегодня / А. Г. Трифонов, А. С. Ходько // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2024. – № 4 (99). – С. 88–98. <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-4-88-98>

NUCLEAR ENERGY TODAY

A. G. TRIFONOV, A. S. KHODKO*State Scientific Institution “The Joint Institute for Power and**Nuclear Research – Sosny” of the National Academy**of Sciences of Belarus, Minsk*

The article analyzes conditions, problems and development potential of the global nuclear energy. It also shows the prospects for the development of nuclear energy in Russia. The emphasis is made on the importance and directions of development of nuclear energy for the Republic of Belarus. An up-to-date perspective on the need for large-scale energy integration within the EAEU and the Union State of Belarus and Russia has been given from the point of view of energy security for each country.

Keywords: development potential, nuclear energy safety, environmental friendliness, innovative technologies, energy integration, competitiveness.

For citation. Trifonov A. G., Khodko A. S. Nuclear energy today. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Sukhogo*, 2024, no. 4 (99), pp. 88–98 (in Russian). <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-4-88-98>

Введение

В условиях мирового энергетического кризиса и достижения цели климатической нейтральности к 2060 г. мировым сообществом предпринимаются активные шаги для декарбонизации энергетики. На повестку дня поставлен вопрос о необходимости ускоренного развития компромиссного источника энергии – доступного и надежного, но в то же время универсального и экологичного. Этим критериям полностью соответствует атомная энергетика, безусловным приоритетом и основным условием развития которой является безопасность.

В 2023 г. в Дубае участники 28-й Конференции сторон Парижского климатического соглашения обязались утроить мощности атомной энергетики к 2050 г., для того чтобы обеспечить достижение целей декарбонизации. Так было официально положено начало возрождению данного сектора [1].

Цель данной работы – анализ состояния и потенциала развития атомной энергетики и ее роли в современном мире.

Основная часть

Замедление темпов развития атомной энергетики в 90-е гг. XX в. во многом было связано с общественно-политической реакцией на две крупные аварии в ядерной энергетике: в 1979 г. – на Три-Майл-Айленд (США) и на Чернобыльской АЭС – в 1986 г. (СССР). Тогда ряд стран (США и некоторые европейские страны) приняли решение по отказу от ранее намеченных планов строительства АЭС. Однако быстрые темпы роста экономики крупнейших развивающихся стран (Китая, Индии, Бразилии, стран Азии и Южной Америки), обострение экологических проблем вынуждали вновь вернуться к рассмотрению возможной роли атомной энергетики для мирового энергобаланса и обеспечения растущих потребностей современного общества в доступной и экологически чистой электроэнергии [2].

В 2011 г. на АЭС «Фукусима» (Япония) произошла крупная авария с разрушением трех энергоблоков и хранилищ ОЯТ, выбросом радиации в окружающую среду. В связи с этим были пересмотрены энергетические стратегии большинства государств, опубликованы аналитические прогнозы международных организаций по глобальному энергетическому развитию. На мировом уровне самым серьезным образом изучили и учли японский опыт, сделали соответствующие выводы, приняли необходимые решения для дальнейшего существования и развития атомной отрасли.

В результате произошел значительный прогресс в технологиях, в том числе получили распространение энергоблоки нового поколения III+, которые помимо повышенного уровня безопасности отличаются более высокой топливной эффективностью, улучшенным тепловым КПД [3].

Таким образом, атомная энергетика сегодня обладает рядом ключевых преимуществ в решении проблемы энергообеспечения, повышении энергоэффективности и продвижения более устойчивых и низкоуглеродных вариантов развития мировой и национальных экономик:

- она позволяет сберечь ценные органические ресурсы, прежде всего, нефть и газ, для дальнейшего более рационального использования;

- является фактором повышения экономической эффективности топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Доля топливной составляющей в себестоимости электроэнергии от АЭС гораздо ниже по сравнению с тепловой генерацией;

- высокая энергоемкость топлива: от 1 кг урана получается такое же количество энергии, как от сжигания 60 т нефти или 100 т высококачественного угля;

- низкий риск смерти при работе на АЭС по сравнению с другими теплостанциями (рис. 1);

- атомная энергия конкурентоспособна по стоимости с другими формами производства электроэнергии. Несмотря на значительный объем капиталовложений для строительства АЭС, эксплуатационные расходы на ее обслуживание намного ниже. Затраты на удаление радиоактивных отходов и вывод из эксплуатации АЭС полностью включаются в эксплуатационные расходы. Если также принять во внимание социальные, медицинские и экологические капиталовложения на ископаемые виды топлива, конкурентоспособность атомной энергетики повышается [4];

- появляется общая тенденция продления сроков работы АЭС во всем мире. В настоящее время при проектировании АЭС закладывается срок службы в 60 лет с дальнейшим увеличением его продолжительности до 100 лет и выше (на конец 2010 г. средний срок эксплуатации действующих в мире АЭС составлял 26 лет);

- стабильность и надежность производства электроэнергии независимо от при-

родных и климатических факторов, так как в отличие от возобновляемых источников работа АЭС не зависит от погодных условий;

– снижает энергоемкость и углеродоемкость ВВП, что полностью отвечает текущей климатической повестке. На Всемирном саммите по борьбе с изменением климата, состоявшемся в Дубае (ОАЭ) в декабре 2023 г., одной из центральных тем климатического саммита стало обсуждение роли ископаемого топлива в будущем. В итоговой резолюции принято решение о планомерном уходе от использования ископаемого топлива к 2050 г. При этом отмечалось, что каждая страна имеет возможность идти к данной цели своим путем, включая развитие атомной энергетики и использование природного газа, имеющего статус «переходного топлива», что означает признание преимуществ атомной энергии в плане экологичности. Достижение устойчивого экономического развития и предотвращение разрушительных последствий неконтролируемого изменения климата требуют использования всех низкоуглеродных источников энергии, к которым относят помимо возобновляемых источников энергии также ядерную энергетику. Международное агентство по атомной энергетике (МАГАТЭ) и межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) рассматривают ядерную энергетику как необходимый компонент переходного периода в сторону климатически нейтральной мировой экономики, при этом признается необходимость повышения мощностей атомной энергетики, для того чтобы реализовать сценарий, который не допускает повышения глобальной температуры на 1,5 °C к концу столетия;

– является фактором устойчивого развития экономики и общества любой страны, позволяет развивать возобновляемые источники энергии, требующие резервирования мощностей [1, 5, 6].

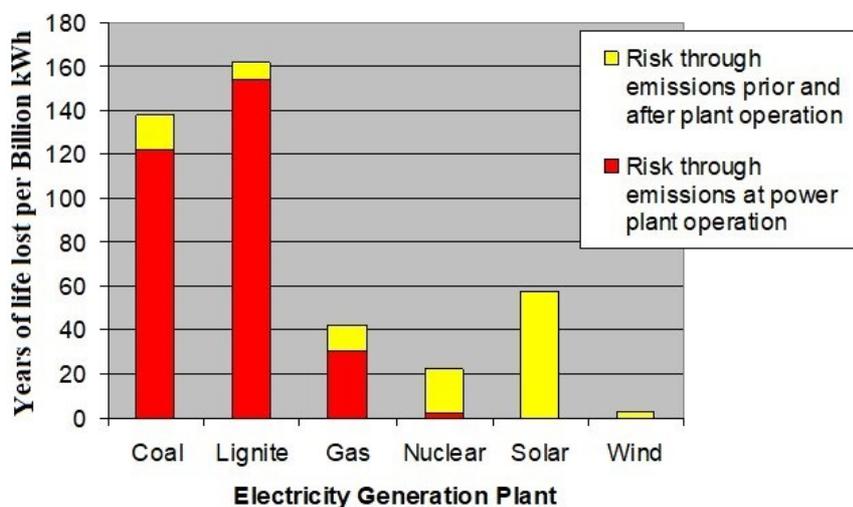


Рис. 1. Количество смертей человека на ГВт · ч для различных источников электроэнергии

Эти преимущества становятся очевидны все большему числу государств. По состоянию на начало 2024 г. в 32 странах мира в эксплуатации находятся 412 реакторов с установленной мощностью 370,17 ГВт (э), а также 25 реакторов с суммарной мощностью около 21,2 ГВт (э), эксплуатация которых временно приостановлена [3, 4]. Лидерами по числу эксплуатируемых энергетических реакторов являются США (92 энергоблока), Франция (56), Китай (54) и Российская Федерация (37).

Франция, Великобритания, Чехия, Словакия, Болгария, Словения и Южная Корея заявили о планах по вводу новых мощностей АЭС и завершению строительства

ранее приостановленных проектов. В стадии сооружения находятся 59 энергоблоков в 18 странах на 61,2 ГВт (э). Ключевыми точками роста атомной генерации в ближайшие десятилетия станут регионы Восточной и Южной Азии (в том числе Китай, Индия), а также страны Ближнего Востока и Африки. В 2020 г. первые атомные мощности были запущены в Беларуси и ОАЭ, строительство АЭС ведется в Бангладеш, Египте и Турции. Интерес к атомной генерации проявляют и небольшие государства, в том числе островные, что связано с большими перспективами развития генераторов малой мощности, которые позволят обеспечить энергонезависимость удаленных территорий или промышленных объектов.

Около 2500 ГВт · ч электроэнергии производят АЭС всего мира, что составляет приблизительно 10 % общемировой электрогенерации и примерно треть мирового производства низкоуглеродной электроэнергии. В 2019 г. на нужды неэлектрических применений атомной энергии 71 ядерным энергетическим реактором по всему миру (14 – в Азии и 57 – в Европе) было произведено 2146,72 ГВт · ч тепловой мощности в электрическом эквиваленте. Из числа этих реакторов 10 – использовались для целей опреснения (48,01 ГВт · ч вырабатываемой мощности); 56 реакторов – для централизованного теплоснабжения (1870,6 ГВт · ч) и 32 реактора – для выработки тепла на технологические нужды (1248,01 ГВт · ч) [4]. Таким образом, сегодня наблюдается стремительное возрождение атомной отрасли по всему миру.

Аналитики из года в год пересматривают спрос на все виды энергоносителей. Прогнозируется, что в ближайшие десятилетия на фоне уменьшения доли ископаемых видов топлива в мировом потреблении первичных энергоресурсов сектор атомной энергетики не только останется одним из основных в мировом энергобалансе, но и будет стремительно расширяться. Так, эксперты МГЭИК предполагают увеличение мировой выработки АЭС в 2–5 раз к 2050 г. В соответствии с последним прогнозом МАГАТЭ к 2050 г. установленная мощность АЭС во всем мире достигнет до 873 ГВт [3].

Сегодня эксперты выделяют две основные тенденции (два подхода) в отношении перспектив развития ядерной энергетики:

- Первый подход – развитие ядерной энергетики на базе существующих и усовершенствованных типов тепловых реакторов с открытым ядерным топливным циклом, в котором сжигается лишь ^{235}U . Здесь возможны варианты с использованием ограниченного количества МОХ-топлива, доля которого в общем производстве ядерного топлива в мире никогда не превышала 5 % [7, 5]. Концепция получила распространение в США, обладающих крупнейшей в мире ядерной энергетикой. С точки зрения специалистов США, наличие разведанных мировых ресурсов урана позволит придерживаться данного курса достаточно долго. МОХ-топливо получают путем однократной переработки отходов ядерного топлива этих реакторов, выделения накопленного в нем плутония и последующего смешения его с отвальным (обедненным) ураном [8].

- Второй подход – формирование замкнутого ядерного топливного цикла (ЯТЦ) с вводом реакторов, имеющих коэффициент воспроизводства ($K_B \geq 1$), обеспечивающий простое либо расширенное воспроизводство ядерного топлива. Более полная реализация потенциальных возможностей ядерной энергетики достижима лишь при втором подходе, обеспечивающем увеличение в несколько сотен раз выхода энергии с каждой тонны урана, что означает расширение ресурсной базы на много порядков, поскольку станет экономически оправданным использование бедных урановых месторождений.

Позиция, сформулированная в Стратегии развития атомной энергетики России в первой половине XXI в. [7], также ориентирована на формирование замкнутого цикла.

Сценарии формирования замкнутого ЯТЦ с быстрыми реакторами должны опираться на реально сложившуюся структуру ядерной энергетики. Здесь важно понимать разницу между временной двухкомпонентной ядерной энергетикой, которая обеспечивает постепенный переход от тепловых реакторов к быстрым реакторам, и двухкомпонентной ядерной энергетикой, когда тепловые реакторы играют доминирующую роль, а быстрые реакторы-размножители только подпитывают их топливом. В такой двухкомпонентной ядерной энергетике необходима масштабная циркуляция отработанного ядерного топлива (ОЯТ) и МОХ-топлива между быстрыми и тепловыми реакторами и централизованными заводами по переработке ОЯТ и изготовлению топлива.

Стратегия развития атомной энергетики России в первой половине XXI в. рассматривает двухкомпонентную ядерную энергетику в качестве постепенного перехода от тепловых реакторов к быстрым реакторам, составляющим основу будущей крупномасштабной энергетики. Принципы Стратегии России, опубликованные в 2000 г., впервые охватывают временной интервал в 50 лет. Учитывая, что реализация новых технических решений в части ЯТЦ, начиная от добычи урана и заканчивая захоронением радиоактивных отходов (РАО), занимает большой период времени, стала ясна необходимость расширения временного масштаба такой стратегии для России, на которую будут опираться краткосрочные стратегические решения и планы как минимум до 2100 г. В Стратегии развития атомной энергетики России в первой половине XXI в. впервые было выработано следующее:

1) определены требования приемлемой безопасности объектов крупномасштабной ядерной энергетики:

- исключение аварий, требующих эвакуации, а тем более – отселения населения;
- эффективное использование энергетического потенциала добываемого сырья;
- обращение ядерных материалов в топливном цикле без значимого нарушения природного радиационного баланса;
- технологическая поддержка режима нераспространения ядерного оружия при отказе от наработки плутония оружейного качества и исключения выделения фракции плутония при переработке ОЯТ;
- обеспечение конкурентоспособности;

2) сформулированы технические решения, связанные с технологиями замкнутого ЯТЦ:

- отказ от прямого захоронения облученного топлива;
- минимизация количества захораниваемых высокоактивных отходов посредством их возврата в быстрые реакторы в составе регенерированного топлива;
- минимизация времени выдержки облученного топлива и количества хранимых облученных ядерных материалов;
- отказ от наработки плутония в бланкете быстрых реакторов, от выделения чистого плутония из облученного топлива.

В России доля атомной генерации в 2023 г. составляла около 20 %, и это самый большой в стране источник чистой энергии [3]. Российская атомная промышленность занимает первое место в мире по величине портфеля зарубежных проектов: на разных стадиях реализации находятся проекты строительства 34 энергоблоков в 11 странах мира – это свыше 70 % мирового экспорта АЭС. В настоящее время российские специалисты ведут строительство АЭС в таких странах, как Китай, Индия, Бангладеш, Турция, Венгрия, Египет и др.

Государственная корпорация «Росатом» – единственная в мире компания, которая обладает компетенциями по всей технологической цепочке ядерного топливного цикла; полностью обеспечивает производство ключевого оборудования для всех

проектов строительства АЭС в России и за рубежом. По разведанным ресурсам природного урана данная корпорация занимает второе место, осуществляя обеспечение примерно 40 % мирового рынка услуг по обогащению урана и 17 % мирового производства ядерного топлива для АЭС [7].

Российская Федерация уже является лидером мировой атомной отрасли, обладая колоссальным техническим, технологическим и научным потенциалом в этой области. Усиливающийся тренд на расширение использования энергии мирного атома дал мощный импульс для дальнейшего совершенствования технологий отрасли в стране.

Корпорация «Росатом» активно работает над перспективными направлениями развития атомной энергетики – реакторами поколения IV – с замкнутым ядерным топливным циклом, а также малой и средней мощности, когенерацией с наработкой тепла, опресненной воды или водорода. Разработка быстрых реакторов новых поколений (поколение IV+ – с натриевым теплоносителем и поколение V – со свинцовым теплоносителем) представляется наиболее рентабельным путем утилизации плутония, накапливающегося в полученном топливе современных энергетических реакторов, с переводом его из бассейнов выдержки в наиболее защищенные условия реакторов и производств топливного цикла. Если эта технология окажется привлекательной для экономики безопасности и обращения с отходами, заинтересованные в этом вопросе страны смогут постепенно замещать ею легководные реакторы с обогащенным ураном, закрывая легальный канал распространения оружейных материалов.

Государственная корпорация «Росатом» в рамках Федеральной целевой программы «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010–2015 годы и на перспективу до 2020 года» на Сибирском химическом комбинате реализует проект «Прорыв». Проект направлен на создание новой технологической платформы атомной отрасли с замкнутым ЯТЦ, решение проблем ОЯТ и РАО. Результатом проекта должно стать создание конкурентоспособного продукта, который сможет обеспечить лидерство российских технологий в мировой атомной энергетике.

Начатое в 2021 г. строительство опытно-демонстрационного энергетического комплекса в составе реакторной установки «БРЕСТ-ОД-300» с пристанционным ядерным топливным циклом и комплекс по производству смешанного уран-плутониевого (нитридного) топлива для реакторов на быстрых нейтронах являются одними из направлений проекта. Это позволит заново использовать отработанное топливо бесконечное количество раз, что станет решением вопроса дорогостоящего хранения ОЯТ.

Разработана конструкция тепловыделяющей сборки пятого поколения (ТВС-5), которую планируется использовать в будущем для замыкания ядерного топливного цикла в реакторах ВВЭР-1000/1200. В 2023 г. их опытно-промышленная эксплуатация начата в одном из реакторов ВВЭР-1200 Нововоронежской АЭС-2. В замкнутом ядерном топливном цикле расширится воспроизводство плутония, что позволит существенно увеличить топливную базу атомной энергетики, так как отпадет необходимость добычи в больших объемах природного урана. Также появится возможность снизить количество и биологическую опасность РАО, остающихся после переработки топлива [8].

Одно из главных событий в мировой энергетике – старт использования промышленного МОКС-топлива – смешанного оксидного топлива для ядерных реакторов на быстрых нейтронах. В России в 2020 г. начал работу реактор на энергоблоке № 4 Белоярской АЭС, работающий целиком на МОКС-топливе, для получения которого используются обедненные уран и плутоний, выделенные из отработавшего топлива реакторов АЭС. Создание «круговорота» ядерного топлива дает возможность много-

кратно нарастить топливную базу атомной энергетики и уменьшить объемы ОЯТ [9].

Впервые в истории атомной энергетики в 2018 г. в рамках капитального ремонта на реакторе большой мощности типа ВВЭР-1000 был успешно завершён отжиг корпуса реактора энергоблока № 1 Балаковской АЭС. Сегодня в мире работает 37 реакторов – «тысячников» российского дизайна. Восстановительный отжиг – новая и пока единственная в мире технология, которая позволяет продлить срок службы водоводяных реакторов как российского, так и зарубежного дизайна [10].

С 2019 г. в России действует единственная в мире плавучая атомная теплоэлектростанция (ПАТЭС) – «Академик Ломоносов» на Чукотке [11]. ПАТЭС разработана с большим запасом прочности, который превышает все возможные угрозы и делает ядерные реакторы неуязвимыми для цунами и других природных катастроф. Он предназначен для эксплуатации в районах Крайнего Севера и Дальнего Востока. Его основная цель – обеспечить энергией удаленные промышленные предприятия, портовые города, а также газовые и нефтяные платформы, расположенные в открытом море. Кроме того, ядерные процессы на плавучем энергоблоке отвечают всем требованиям МАГАТЭ и не несут угрозы окружающей среде.

Успешный опыт эксплуатации ПАТЭС в Арктике заложил основу для освоения труднодоступных и изолированных территорий с использованием этой технологии. В настоящий момент корпорация «Росатом» реализует проект первой российской наземной атомной станции малой мощности (АСММ) с новейшей реакторной установкой РИТМ-200 в Якутии для освоения месторождений золота (поселки Ключус, Депутатское и Тирехтях) [3].

В 2024 г. планируется завершить технические проекты реакторной установки и основного технологического оборудования АСММ на базе реакторной установки «Шельф-М» мощностью 10 МВт на Чукотке для освоения месторождения «Совинное». Физический пуск и ввод в промышленную эксплуатацию головной АСММ на базе «Шельфа-М» планируется на 2030 г.

На сегодняшний день государственная корпорация «Росатом» становится одним из безусловных мировых лидеров в области сооружения и управления АСММ. Ожидается, что к 2030 г. доля России на мировом рынке АЭС малой мощности достигнет 20 %.

Возрождение атомной энергетики России – это не только путь к повышению конкурентоспособности экономики страны в целом, но и необходимость решения новых технических и технологических задач: получение и использование водорода, внедрение на генерирующих объектах промышленных систем накопления энергии, создание новых мобильных источников, улавливание и хранение парниковых газов, увеличение энергоэффективности промышленности.

В последние годы ТЭК Российской Федерации столкнулся с беспрецедентными вызовами и проблемами – внешним давлением, ограничениями на приобретение и продажу энергетических ресурсов, санкциями на поставки технологий и передового оборудования. Отказ западных компаний от участия в российской экономике, включая отрасли ТЭК, сворачивание ряда международных проектов, а также диверсии на объектах энергетической инфраструктуры – все это потребовало быстрых решений по обеспечению стабильной энергетической безопасности страны [12]. Ответом на внешние вызовы стало кардинальное изменение традиционно сложившихся механизмов взаимодействия с европейскими партнерами и логистики поставок энергоресурсов – Россия развернула свой экспорт с Запада на Восток и в третьи страны. Важную роль в решении этих задач призвана сыграть энергетическая интеграция в рамках Евразийского экономического союза (ЕАЭС) и Союзного государства Беларуси и России.

В 2008 г. Беларусь сделала ставку на ядерную энергетику, приняв решение о строительстве первой в стране атомной электростанции. В результате был выбран самый современный проект поколения III+ – с набором активных и пассивных элементов, полностью отвечающий всем требованиям безопасности. Это проверенный, надежный, серийный проект, многократно прошедший все возможные экспертизы. Энергоблоки такого же типа запущены в промышленную эксплуатацию на Нововоронежской АЭС (в 2017 г. и еще один – в 2019 г.) и Ленинградской АЭС (в 2018 и 2021 гг.) [2, 13, 14]. Строительство Белорусской АЭС (БелАЭС) проводилось под совместным научным руководством Курчатовского института и ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» НАН Беларуси [15]. Совместно белорусские и российские исследователи произвели нейтронно-физические и технико-гидравлические расчеты, рассчитали особенности водно-химических режимов, разработали технологии минимизации техногенных рисков, спрогнозировали радиологические последствия работы.

Первый энергоблок Белорусской АЭС был введен в промышленную эксплуатацию 10 июня 2021 г. [16]. Включение в сеть энергоблока № 2 БелАЭС состоялось 13 мая 2023 г. в 13 : 24 – он выдал в объединенную энергосистему страны первые киловатт-часы электроэнергии, затем поэтапно его мощность была повышена до 50 % (19 мая) и 14 июня в 11 : 17 после завершения плановых испытаний – до 100 %.

БелАЭС – важнейший для Беларуси проект десятилетия. Согласно прогнозу по базовому сценарию Республики Беларусь до 2030 г., в стране увеличится электропотребление и составит в 2025 г. 43,7 млрд кВт · ч, в 2030 г. – 47,2 млрд кВт · ч, из которых генерация электроэнергии на БелАЭС будет равна 19,2 млрд кВт · ч [17, 18]. Это обеспечит более 40 % внутренних потребностей страны и позволит замещать около 5 млрд м³ природного газа в год, а также сократить выбросы парниковых газов на 7–10 млн т.

Таким образом, интеграция БелАЭС в энергосистему Беларуси гарантирует устойчивый и последовательный рост энергетической самостоятельности страны, дает возможность обеспечить выполнение взятых на себя международных обязательств по сокращению выбросов парниковых газов не менее чем на 35 % до 2030 г. от уровня 1990 г. с учетом сектора «Земледелие, изменение землепользования и лесное хозяйство» [19]. И в целом атомная отрасль Беларуси создает благоприятные условия для инновационного развития и повышения конкурентоспособности национальной экономики.

В настоящее время ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» НАН Беларуси, учитывая прогнозируемые энергетические потребности Беларуси, активно развивает исследования в области ядерной энергетики. В данном учреждении ведутся как фундаментальные, так и прикладные исследования в таких разделах физики, как атомные ядра, элементарные частицы низких и высоких энергий; разрабатываются радиационные и ядерно-физические технологии с использованием пучков электронов, нейтронов и ионов, а также технологии минимизации техногенных рисков и др. Все эти исследования имеют исключительную важность не только для белорусской науки, но и для науки и экономики Союзного государства. Сегодня специалисты атомной отрасли Беларуси прорабатывают варианты дальнейшего развития атомной энергетики и сооружения второй АЭС на территории страны. В качестве одного из перспективных рассматривается сооружение малого модульного реактора (ММР), успешно используемого в отдаленных местах, при освоении труднодоступных и изолированных территорий и в странах с небольшими электросетями [4].

С целью надежного и безопасного функционирования Объединенной электрической системы в условиях функционирования АЭС 27 ноября 2023 г. Президентом Республики Беларусь был подписан Указ № 376 «О проекте международного договора» по формированию объединенного рынка электрической энергии Союзного государства [20]. Общий рынок электроэнергии Союзного государства предусматривает глубокую интеграцию в электроэнергетике с расширением субъектного состава участников рынка и организацией единого технологического процесса оперативно-диспетчерского управления. В дальнейшем, с 2025 г., работа объединенного рынка электрической энергии Беларуси и России должна быть синхронизирована с работой общего электроэнергетического рынка ЕАЭС.

Заключение

Нарастающий дефицит энергии в мире и перегрев атмосферы изменили отношение к атомной энергетике – едва не уничтоженной в недавнем прошлом самой высокотехнологичной отрасли.

Признанный экологически чистым мирный атом открывает новые возможности для решения многих региональных и глобальных проблем, стоящих перед мировым сообществом. И человечеству сейчас необходимо решать главную задачу – принять все меры для того, чтобы обеспечить безопасность его использования.

Как было отмечено, Россия уже является мировым лидером атомной отрасли, обладая колоссальным техническим, технологическим и научным потенциалом в этой области. Стратегия развития атомной энергетики России в первой половине XXI в. ориентирована на формирование замкнутого ЯТЦ на быстрых нейтронах как наиболее прогрессивного варианта развития ядерной энергетики, удовлетворяющего требованиям приемлемой безопасности.

Перспективные направления – инновационное ядерное топливо и производство небольших реакторов малой мощности могут послужить возрождению ядерной энергетики.

Атомная отрасль Республики Беларусь способствует реализации Национальной стратегии по декарбонизации энергетического сектора, а также позволит обеспечить дополнительные гарантии укрепления энергетической безопасности и государственной независимости страны.

В условиях нарастающего санкционного давления для Беларуси и России безусловным приоритетом является совместная стратегия по укреплению взаимодействия, прежде всего, в развитии атомной энергетики, формировании объединенного энергетического рынка Союзного государства и в рамках ЕАЭС, что открывает перед странами-участницами широкие перспективы сотрудничества, основанного на экономических преимуществах и выгодах.

Таким образом, в мировой энергетике на первый план выходит безуглеродная энергетика, наиболее развитой частью которой на данный момент является ядерная энергетика. Имеющийся сегодня потенциал атомной отрасли и дальнейшее совершенствование – доказательство конкурентоспособности с другими видами энергопотребления.

Литература

1. На пути к экологически чистому будущему // Энергетическая стратегия. – 2024. – № 1. – С. 9–12.
2. Сапега, А. Атомная энергетика и ее роль в мировом энергобалансе / А. Сапега // Энергетика и ТЭК. – 2018. – № 10. – С. 11.
3. Новак, А. Атомная энергия XXI века: доступность, экологичность, надежность / А. Новак // Энергетическая стратегия. – 2023. – № 1. – С. 43–45.

4. Кузьмин, А. Значение атомной энергетики в мире / А. Кузьмин // Наука и инновации. – 2024. – № 2. – С. 12–14.
5. Европа догонит США в поддержке возрождения атомной энергетики // Энергоэффективность. – 2024. – № 1. – С. 8.
6. На климатическом саммите в Дубае обсудили вопросы экологической безопасности // Энергоэффективность. – 2024. – № 1. – С. 2.
7. Говердовский, А. А. Альтернативные стратегии развития ядерной энергетики в XXI в. / А. А. Говердовский, А. А. Калякин, В. И. Рачков // Теплоэнергетика. – 2014. – № 5. – С. 3–10.
8. Разработано ядерное «топливо будущего» // Энергетическая стратегия. – 2022. – № 6. – С. 13.
9. Старт использованию МОКС-топлива – главное событие в мировой энергетике // Энергетическая стратегия. – 2021. – № 1. – С. 7.
10. Уникальная операция на Балаковской АЭС // Энергетика и ТЭК. – 2018. – № 11/12. – С. 6.
11. Плавающий энергоблок уходит в плавание // Энергетика и ТЭК. – 2018. – 5. – С. 49.
12. Энергетическая безопасность в условиях внешнего давления // Энергетическая стратегия. – 2022. – № 6. – С. 25.
13. Турченко, А. Атомный фундамент энергетики / А. Турченко // Энергетика и ТЭК. – 2017. – № 7/8. – С. 8–11.
14. Об утверждении проектной документации на строительство атомной электростанции : постановление Министров Респ. Беларусь от 29 дек. 2016 г. № 1101 // ЭТАЛОН : информ.-поисковая система (дата обращения: 23.10.2023).
15. Курчатовский институт: здесь создается история атома // Энергетика и ТЭК. – 2016. – № 9. – С. 8.
16. Второй энергоблок БелАЭС: от первых киловатт-часов до опытно-промышленной эксплуатации // Энергетическая стратегия. – 2023. – № 3. – С. 6–7.
17. Муха, Д. Роль атомной энергетики в экономике на современном этапе / Д. Муха, В. Цибина // Наука и инновации. – 2024. – № 2. – С. 15–20.
18. Об одобрении Концепции развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года : постановление М-ва энергетики Респ. Беларусь от 25 февр. 2020 г. № 7 // ЭТАЛОН : информ.-поисковая система (дата обращения: 23.10.2023).
19. Об установлении определяемого на национальном уровне вклада Республики Беларусь в сокращение выбросов парниковых газов до 2030 года : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 29 сент. 2021 г. № 553 // ЭТАЛОН : информ.-поисковая система (дата обращения: 23.10.2023).
20. О проекте международного договора : Указ Президента Респ. Беларусь от 27 нояб. 2023 г. № 376 // ЭТАЛОН : информ.-поисковая система (дата обращения: 23.01.2024).

References

1. Towards an environmentally friendly future. *Energeticheskaya strategiya*, 2024, no. 1, pp. 9–12 (in Russian).
2. Sapega A. Nuclear Power Engineering and Its Role in the Global Energy Balance. *Energetika i TEK*, 2018, no. 10, p. 11 (in Russian).
3. Novak A. Nuclear energy of the 21st century: availability, environmental friendliness, reliability. *Energeticheskaya strategiya*, 2023, no. 1, pp. 43–45 (in Russian).
4. Kuz'min A. The importance of nuclear energy in the world. *Nauka i innovatsii*, 2024, no. 2, pp. 12–14 (in Russian).

5. Europe will catch up with the United States in supporting the revival of nuclear energy. *Energoeffektivnost'*, 2024, no. 2, p. 8 (in Russian).
6. Environmental safety issues were discussed at the climate summit in Dubai. *Energoeffektivnost'*, 2024, no. 1, p. 2 (in Russian).
7. Goverdovskii A. A., Kalyakin A. A., Rachkov V. I. Alternative strategies for the development of nuclear energy in the 21st century. *Teploenergetika*, 2014, no. 5, pp. 3–10 (in Russian).
8. Nuclear “fuel of the future” has been developed. *Energeticheskaya strategiya*, 2022, no. 6, p. 13 (in Russian).
9. Start of use of MOX fuel is the main event in the world energy sector. *Energeticheskaya strategiya*, 2021, no. 1, p. 7 (in Russian).
10. Unique operation at the Balakovo NPP. *Energetika i TEK*, 2018, no. 11/12, p. 6 (in Russian).
11. Floating power unit sets sail. *Energetika i TEK*, 2018, no. 5, p. 49 (in Russian).
12. Energy security in the context of external pressure. *Energeticheskaya strategiya*, 2022, no. 6, p. 25 (in Russian).
13. Turchenko A. Nuclear Foundation of Power Engineering. *Energetika i TEK*, 2017, no. 7/8, pp. 8–11 (in Russian).
14. On approval of design documentation for the construction of a nuclear power plant: Resolution of the Ministers of the Republic of Belarus, December 29, 2016, no. 1101. *Natsional'nyi tsentr pravovoi informatsii Respubliki Belarus'*, 2024 (access 23 October 2023) (in Russian).
15. Kurchatov Institute: the history of the atom is being created here. *Energetika i TEK*, 2016, no. 9, p. 8 (in Russian).
16. The second power unit of the Belarusian NPP: from the first kilowatt-hours to pilot industrial operation. *Energeticheskaya strategiya*, 2023, no. 3, pp. 6–7 (in Russian).
17. Mukha D., Tsibina V. The role of nuclear energy in the economy at the present stage. *Nauka i innovatsii*, 2024, no. 2, pp. 15–20 (in Russian).
18. On approval of the Concept for the development of electricity generating capacities and electrical networks for the period up to 2030: Resolution of the Ministry of Energy of the Republic of Belarus, February 25, 2020, no. 7. *Natsional'nyi tsentr pravovoi informatsii Respubliki Belarus'*, 2024 (access 23 October 2023) (in Russian).
19. On the establishment of a nationally determined contribution of the Republic of Belarus to the reduction of greenhouse gas emissions until 2030: Resolution of the Ministers of the Republic of Belarus, September 29, 2021, no. 553. *Natsional'nyi tsentr pravovoi informatsii Respubliki Belarus'*, 2024 (access 23 October 2023) (in Russian).
20. On the draft international treaty: Decree of the President of the Republic of Belarus of November 27, 2023, no. 376. *Natsional'nyi tsentr pravovoi informatsii Respubliki Belarus'*, 2024 (access 23 January 2024) (in Russian).

Поступила 09.10.2024