

*Александр Васильевич Выговский ктн, снс¹,
Татьяна Викторовна Краснянская инженер²*

1 Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины

2 ДП НАЭК «Энергоатом» отдел опыта эксплуатации дирекции по производству

1 07270; Киевская обл., Иванковский р-н., г. Чернобыль ул. Кирова 36 а

Тел.\ факс +380(44)525-0586

2 01032; г. Киев, ул. Назаровская, 3

Тел. 380(44)277-7883

РОЛЬ И МЕСТО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В БЕДУЮЩЕМ МИРОВОМ ЭНЕРГОБАЛАНСЕ

Alexander Vasilievich Vygovskiy¹

Cand. of sciences(engineering), Senior Researcher,

Tatyana Viktorovna Krasnyanskay²

engineer

1 Institute for safety problems of nuclear power p

lants national academy of sciences of Ukraine.

Kirova str. 36a, Chornobyl, 07270, Ukraine

2 National Nuclear Energy Generating Company "Energoatom"

Operating Experience Section Directorate on Production.

Nazarovskay str., 3, Kyiv, 01032, Ukraine

THE ROLE AND PLACE OF NUCLEAR POWER IN THE POOR GLOBAL ENERGY BALANCE

Аннотация. Приведены два основных отличительных преимущества ядерной энергетики перед ископаемым топливом. Указано, что в настоящее время мы на пороге так называемого «Великого перехода». Коротко описана программа «Гармония», действующая до 2050 года, и приведены три её основные цели. Описаны три альтернативные глобальные сценарии развития мировой энергетики до 2060 и указана доля ядерной энергетики в мировом энергобалансе при каждом из этих сценариев. Показано, что ядерная энергия займёт своё место в мировом энергетическом балансе и будет способствовать устойчивому развитию.

Abstract. Two main distinctive advantages of nuclear power over fossil fuels are given. It is indicated that we are currently on the threshold of the so-called "Great Transition". The program "Harmony", operating until 2050, is briefly described, and its three main goals are given. Three alternative global scenarios for the development of world energy up to 2060 are described and the share of nuclear energy in the world energy balance is indicated for each of these scenarios. It is shown that nuclear energy will take its place in the global energy balance and will contribute to sustainable development.

Ключевые слова: атомная энергетика, атомная электростанция, ядерный реактор, мировой энергобаланс

Key words: nuclear energy, nuclear power plant, nuclear reactor, world energy balance

В настоящее время все больше признается тот факт, что ядерная энергия займет свое место в будущем глобальном энергетическом балансе и будет вносить вклад в устойчивое развитие. Однако на развитие ядерной энергетики и возрастание её роли в рамках общемирового перехода к безуглеродистой энергетике будет влиять ряд факторов. Ядерная энергетика, безусловно, имеет ряд преимуществ перед тепловыми электростанциями. По сравнению с ископаемым топливом, ядерная энергия обладает двумя отличительными преимуществами. Во-первых, она является низкоуглеродистой источником энергии. Во-вторых, она является предсказуемым и относительно недорогим источником электроэнергии: стоимость топлива на единицу мощности является предельной и не колеблется по цене так сильно, как ископаемое топливо. Однако, общеизвестны случаи аварий на атомных электростанциях [1, 2]. Также существует проблема

обращения с ОЯТ [3]. Поэтому ведущие компании, профильные научные учреждения и международные организации по всему миру работают над повышением безопасности, надежности и экологической эффективности ядерной энергетики.

Повсеместно наблюдаются быстрые, фундаментальные трансформации энергетических систем за счет новых технологий, которые развиваются ускоренными темпами, на фоне все больших изменений в социальной сфере, геополитике и окружающей среде.

Ядерная энергетика является одним из наиболее рентабельных способов производства электроэнергии во многих странах, и управление проектами в данной отрасли активно совершенствуется, как это происходит в рамках поточных программ в Азии, России и других регионах [4, 5]. Успехи этих проектов наглядно демонстрируют возможности ускоренных темпов

внедрение инноваций и использование преимуществ цифровизации и стандартизации для обеспечения конкурентоспособности ядерной энергетики в целом. Высокая удельная мощность и надежность ядерных энергетических установок делают их пригодными для обеспечения базовых нагрузок энергетических систем.

В настоящее время наблюдается процесс так называемого «Великого перехода» (Grand Transition), который предусматривает фундаментальные социально-экономические сдвиги в свете грядущей эры цифровой и экологической эффективности. В более широком контексте перспективы атомной и других форм производства энергии определяются сложной и непредсказуемым взаимодействием глобальных факторов, таких как децентрализация, декарбонизация, цифровизация и геополитика. Появляются многочисленные развилки на пути к успешному общемирового перехода к низкоуглеродистой энергетике [4]. Все больше признается тот факт, что ядерная энергия займет свое место в будущем глобальном энергетическом балансе и будет вносить весомый вклад в устойчивое развитие.

Всемирной ядерной ассоциацией (World Nuclear Association, WNA) разработана и координируется программа «Гармония» [6]. В указанной программе изложено видение будущего электроэнергии с учетом цели обеспечения к 2050 году доли ядерной генерации не менее 25 % от ее общемирового объема. Это обусловлено стремлением к созданию чистого и надежного низкоуглеродистого мирового энергобаланса. Программа «Гармония» работает со всем энергетическим сообществом, чтобы заручиться поддержкой ключевых стейкхолдеров для обеспечения низкоуглеродистого будущего, при максимальном вкладе ядерной энергетики.

Программа «Гармония» преследует три цели [6]:

Создание равных конкурентных условий на энергетических рынках, которые будут стимулировать инвестиции в будущую экологически чистую энергетику, где атомная энергия будет рассматриваться наравне с другими способами генерации с низким уровнем выбросов углерода, и где будет признаваться ее ценность для надежного и устойчивого мирового энергобаланса.

Обеспечение унифицированных процессов регулирования для обеспечения более согласованного, эффективного и предсказуемого режима лицензирования деятельности в области использования атомной энергии. Это должно также способствовать значительному росту атомных энерго мощностей и своевременному лицензированию новых проектов реакторов.

Создание эффективной парадигмы безопасности, ориентированной на благосостояние населения, где преимущества атомной энергии по безопасности для здоровья и окружающей среды оцениваются наравне с другими типами генерации.

В настоящее время будущее ядерной энергетики рассматривается сквозь призму сценариев развития мировой энергетики до 2060, вероятные три альтернативных пути развития мировой энергетики [4]: «Джаз модерн» (Jazz modern), «Неоконченная симфония» (Unfinished symphony), «Хард рок» (Hard rock).

Согласно трем сценариям ядерная энергетика будет частью мирового энергобаланса, однако каждый сценарий предполагает достаточно отличные друг от друга пути развития [4]:

Сценарий «Джаз модерн» представляет инновационный, ориентированный на глобальный рынок мир, коренным образом преобразованный за счет цифровых технологий. Согласно этому сценарию, ядерная энергетика имеет потенциал к модернизации, начиная с сооружения новых реакторов и заканчивая предоставлением различных услуг. В крупнейших ядерных государствах и странах, с развивающейся экономикой, которые увеличивают свои мощности ядерной генерации, ядерная энергетика характеризуется потенциалом к сохранению статуса лучшего энергоресурса. При таком сценарии к 2060 году на долю ядерной энергетики будет приходиться 8,5 % от общего объема производимой электроэнергии. Установленная мощность АЭС увеличится на 52 % с 407 ГВт в 2015 году до 620 ГВт в 2060 году.

Это ориентированный на потребителя, транспарентный, динамичный цифровой мир, характеризующийся энергоэффективностью и быстрой монетизацией инвестиций. Высокий темп инноваций способствует неравномерному, но ускоренному росту производительности и создает потенциал для кардинальных изменений. В этом мире процветает чистая энергия, а электрификация конечных потребителей происходит быстрее, чем ожидалось. Это история экспоненциальных возможностей роста, созданных информированными потребителями, а также снижением цен на энергоносители.

В мире «Джаз-модерна» инновации происходят быстрее как в части предложения, так и спроса на энергию. В 2020-х годах стоимость производства электроэнергии ВИЭ значительно уменьшается, что приводит к переводу энергоснабжения «с молекул на электроны». Данное обстоятельство, в сочетании с разработкой решений для хранения энергии и ростом спроса на энергетические услуги, привлекает инвестиции как в централизованную, так и в децентрализованную гибридную инфраструктуру. Автоматизация, цифровизация и искусственный интеллект обеспечивают «просьюмеризм» на развитых рынках, когда многие потребители энергии также становятся производителями, поставляют обратно в сеть электроэнергию, полученную, например, от солнечных батарей или находящуюся в резерве.

В этих условиях новой, основанной на потреблении и услугах экономики, атомная отрасль растёт медленнее, чем в двух других сценариях.

Темпы строительства новых АЭС в странах Европы и Северной Америки замедляются. На многих рынках не оценён по достоинству вклад ядерной энергетики в качестве контролируемого источника электроэнергии за счёт крупных «умных» сетей, децентрализованной генерации, вариативности мощности и эффективного хранения энергии.

Несмотря на то, что продление срока службы существующих реакторов является одной из лучших инвестиций на рынке производства электроэнергии с точки зрения снижения её стоимости, США и ряд стран ЕС оказывают лишь ограниченную поддержку ядерной энергии. В передовых странах стабильность поставок настолько зависит от гибкости со стороны спроса и оптимизации со стороны предложения, что «мощности старого мира» больше не кажутся необходимыми.

Большинство реакторов старшего поколения в США и ЕС запланировано для окончательного останова и вывода из эксплуатации, что к 2040 году снизит объем мощностей для удовлетворения базовой нагрузки для всей энергосистемы. Среди многих стран, которые решили не продлевать срок службы своего парка АЭС, некоторые с трудом пытаются достичь поставленных целей в декарбонизации.

Растущий спрос на услуги по выводу из эксплуатации и, в гораздо меньшей степени, продление срока службы преобразуют ландшафт атомной отрасли в развивающихся странах, где небольшие и инновационные инженерные фирмы широко применяют цифровые технологии для разработки и запуска проектов в области вывода из эксплуатации. Крупные игроки атомной отрасли будут конкурировать с этими динамичными новичками на сервис-ориентированном рынке.

В мире «Джаз-модерна» строительство новых АЭС в 2020-2030 годах в значительной степени обеспечивается Китаем, Индией и Россией, развивающимися экономиками на Ближнем Востоке, такими как Иран, Турция, Египет, а также Бангладеш и Индонезией в 2030-2040 годах. Подобное строительство чётко определит будущее атома в качестве источника энергии для стран с развивающейся экономикой.

Основной технологией для централизованных энергосистем будут являться реакторы большой мощности поколений III и III+, предлагаемые, прежде всего, Россией и Китаем. Обе страны постепенно совершенствуют реакторы поколения III+, активно используя цифровые технологии на всех этапах жизненного цикла АЭС. Существует также целый ряд финансовых инструментов, межгосударственных кредитов и финансовой поддержки со стороны стран-вендоров. Данные меры сочетаются с соглашениями о покупке электроэнергии и моделями «строй, владей, эксплуатируй».

Фактором, способствующим развитию волатильного, инновационного мира «Джаз-модерна», являются цифровые технологии,

которые коренным образом преобразуют весь энергетический сектор. Также будет наблюдаться рост производительности за счёт цифровизации: цифровые технологии помогут поставщикам и операторам значительно усовершенствовать управление жизненным циклом АЭС, включая их сооружение и эксплуатацию, а также извлечь полезные уроки для проектов по продлению сроков эксплуатации. Все это окажет существенное влияние на общий уровень производительности мировой атомной энергетической промышленности, снижение себестоимости её продукции, что к 2035 году приведёт к безоговорочному доверию клиентов в странах с развивающейся экономикой. В это время ядерная энергия становится основным средством декарбонизации для развивающихся рынков, постепенно вытесняя уголь.

В этом мире электроэнергетическая промышленность претерпевает глубокую трансформацию в сторону низкоуглеродистых энергоресурсов. Коэффициент электрификации (количество электроэнергии в конечном потреблении энергии) увеличивается вдвое с 18% в 2015 году до 37% к 2060 году. Из-за конкуренции со стороны других низкоуглеродистых источников доля атомной энергетики в мировом энергобалансе к 2060 году составляет всего 8,5% по сравнению с 11% в 2015 году. Установленная мощность АЭС увеличивается примерно на 52% с 407 ГВт в 2015 году до 620 ГВт в 2060 году.

Сценарий «Неоконченная симфония» представляет собой мир, в котором скоординированные и устойчивые модели экономического роста сочетаются с ориентацией на применение низкоуглеродистых источников энергии. Данный сценарий предполагает повсеместное использование ядерной энергии в качестве одного из надёжных и доступных мер реагирования на изменение климата. При таком сценарии доля ядерной энергетики достигнет 13,5 % от общего объёма производства электроэнергии к 2060 году, а установленная мощность увеличится почти в три раза - до 1003 ГВт. В дополнение к проектам по строительству новых АЭС и продлению срока эксплуатации существующих, значительный вклад в мировой парк ядерных реакторов вносят новые ядерные технологии (малые модульные реакторы, плавучие установки и реакторы IV поколения).

Данный сценарий развития представляет собой мир, повестка дня которого выходит за рамки изменения климата и обращает более пристальное внимание к целям ООН по устойчивому развитию, водопользованию, состоянию окружающей среды и экономическому развитию. Целостность подходов стимулирует развитие международного сотрудничества, создание глобальной институциональной структуры и наднациональных политик. Отраслевое регулирование и политика, в конечном итоге, синхронизируются на глобальном уровне для продуманного управления

энергетическим переходом с минимальными затратами, учётом внешних факторов и пользы для общества. Несмотря на то, что присутствует общее согласие относительно того, какие действия необходимы для достижения нулевого уровня выбросов, различные регионы следуют своим собственным путём и разрабатывают собственный комплекс энергетических мероприятий для достижения этих целей. При этом признается, что достижение благополучия и устойчивое развитие требуют использования принципа субсидиарности и межотраслевого взаимодействия.

«Незаконченная симфония» является миром с интегрированной стратегией развития, на повестке которой находятся климатические цели, экология и благополучие. Благодаря государственной и общественной поддержке в поиске доступных путей глубокой декарбонизации, государственно-частные инвестиции в широкий спектр технологий чистой энергии позволяют отделить рост выбросы CO₂ от экономического развития.

После того, как в 2010-х годах первые несколько западных проектов по строительству новых АЭС превысили график и бюджет, атомная отрасль изучила и позаимствовала передовой опыт новых проектов строительства в Азии, чтобы существенно переосмыслить свой подход к проектированию станций и управлению проектами по их сооружению. Это стало возможным благодаря передаче ведущей роли цифровым технологиям, которые помогли отрасли последовательно реализовывать проекты по всему миру с целью вернуть утраченное доверие рынка.

Более скоординированная климатическая политика, поддерживаемая новыми энергетическими правилами и финансовыми институтами, побудит Европейский Союз пересмотреть свою позицию в отношении роли ядерной энергетики в решении проблемы изменения климата начиная с 2020-х годов. Волна строительства новых ядерных объектов с помощью цифровых технологий прокатилась по ЕС, особенно на рынках Болгарии, Чехии, Финляндии, Венгрии, Словакии и Великобритании, привыкшим к ядерным технологиям и идеально вписывающимся в развивающийся рынок электросетей и электроэнергии ЕС. В 2030 году Южная Корея пересматривает своё решение об отказе от атомной энергии и возобновляет программу строительства новых АЭС.

В 2020–2030 гг. основная доля новых атомных мощностей сооружается с использованием идеологии создания «парка АЭС» в Китае, Индии, России и на Ближнем Востоке. В Африке основные программы строительства атомных объектов запускаются Южной Африкой, Нигерией, Танзанией и другими странами, чтобы удовлетворить растущий спрос на электроэнергию в результате быстрой урбанизации. Станции строятся вовремя и в рамках бюджета благодаря усилению мировой атомной отрасли, а также широкому использованию цифровых технологий

на этапах проектирования, планирования и строительства. Цифровые двойники обеспечивают безопасную, надёжную и эффективную работу АЭС.

Продление срока эксплуатации остаётся одним из главных вопросов атомной энергетической повестки в 2020–2030 гг. как в ЕС, так и в США. Цифровые инструменты приобретают важное значение для анализа и принятия решений. Большинство реакторов «прошлой эпохи» включены в программы продления срока эксплуатации, что позволяет продлить их в работу ещё на 20 или более лет.

В Японии все реакторы подвергаются модернизации и повторному запуску. К 2035 г. Япония также возвращается на мировой рынок атомных технологий в качестве крупного экспортёра атомных энергетических технологий, сооружая атомные электростанции в ЕС, США и на Ближнем Востоке.

С 2040 г. экспансия атомной промышленности Южной Кореи распространяется на территорию от Ближнего Востока до ЕС и Африки. Растёт глобальный спрос на атомную энергетику и конкурентоспособные глобальные цепочки поставок со стороны основных вендоров в России, Франции, Японии, Кореи и Китае.

В «Незаконченной симфонии» электрификация и эффективность находятся в авангарде на пути к глубокой и доступной декарбонизации. Им сопутствуют более развитая межсистемная интеграция, интеллектуальные энергосистемы и эффективное управление сетевой нагрузкой. К 2060 г. уровень потребления электроэнергии в конечном потреблении достигнет 41%. На атомную энергию будет приходиться 13,5% от общего производства электроэнергии, а установленная мощность увеличится практически в три раза с 407 ГВт в 2015 г. до 1003 ГВт в 2060 г.

По сценарию «Хард рок» рассматриваются последствия для слабого и неустойчивого мирового экономического роста в условиях ориентации стран на развитие национальных экономик. При таком сценарии доля ядерной энергетики в общемировом производстве электроэнергии достигнет 12,5 % к 2060 году, при этом установленная мощность в 2060 году вырастет на 70 % - до 696 ГВт. Мировая атомная отрасль будет фокусироваться на строительстве новых реакторов в развивающихся странах и продлении срока эксплуатации АЭС в странах с развитой экономикой.

Данный сценарий представляет собой разобщенный мир с низкими темпами экономического роста, растущей геополитической напряженностью и неразвитым уровнем межгосударственного сотрудничества. Главными задачами стран является укрепление национальной безопасности, создание новых рабочих мест, развитие кадров и решение локальных экологических проблем. Доступная декарбонизация является нормой во всем мире, т. к. страны не готовы жертвовать экономическим

ростом ради климатических соображений. Энергетический ландшафт является отражением регионализма, движимого геополитическими факторами и факторами безопасности. Отраслевое регулирование остается слабым, глобальная синхронизация практически отсутствует.

С ростом геополитической напряженности и ограниченностью международного сотрудничества, обмен информацией, технологиями и мировым капиталом усложняется. Для обеспечения энергетической безопасности правительства вынуждены опираться на собственные силы, включая природные ресурсы, существующие активы и системы, а также применять меры по стимуляции спроса. Государства уделяют большее внимание созданию рабочих мест, вопросам здравоохранения и локальным экологическим вопросам, в меньшей степени, чем мировым проблемам.

В 2020-2030 гг. новые атомные мощности будут введены в строй главным образом с использованием комплексного подхода к развитию парка АЭС в Китае, Индии, России - странах, которые сделали стратегическую ставку на атомную энергетику как основной источник энергии.

Затем в 2030-2040 гг. национальные программы по сооружению АЭС будут реализовываться на Ближнем Востоке, в том числе в Саудовской Аравии, Объединенных Арабских Эмиратах, Иране, Турции, Египте и других странах. В этих странах основными атомными технологиями остаются реакторы большой мощности поколений III и III+ для централизованных энергосистем. Усовершенствования в конструкции и использование цифровых технологий делают реакторы поколения III+ естественным выбором для всех стран-новичков, поскольку они являются надежным, хорошо изученным, серийным и экономически эффективным решением в области атомной энергетики.

По сценарию «Хард-рок» энергетическая безопасность способствует эффективности, однако разобщенность мира и торговые барьеры препятствуют интенсивному техническому прогрессу. В то время как реакторы поколений III и III+ составляют основу атомных энергетических программ на развивающихся рынках, а также в некоторых развитых странах, инновации внедряются относительно медленно и слабо интегрируются.

Россия и Китай остаются доминирующими игроками на рынке атомных технологий, а большая часть средств на новое строительство поступает от государственных институтов. Строительству новых АЭС способствуют финансовые инструменты, такие как межгосударственные целевые кредиты, а также модели «строй, владей, эксплуатируй», соглашения о закупке электроэнергии и гарантии со стороны

национальных правительств или аффилированных с ними организаций.

В 2030 г. Россия и Китай успешно введут в строй промышленные атомные реакторы IV поколения и ММР. К 2045 г. российские и китайские реакторы IV поколения и ММР также будут размещены на других площадках по всему миру. При этом, к 2060 г. ни реакторы IV поколения, ни ММР не окажут существенного влияния на общемировую энергетическую систему.

Замыкание ядерного топливного цикла и развитие модульного принципа строительства остаются главными инновационными приоритетами, главным образом, благодаря государственным программам НИОКР в России и Китае, которые будут реализовываться на протяжении десятилетий.

Несмотря на то, что двустороннее сотрудничество в решении проблем ядерного наследия будет сохраняться, многие страны будут придерживаться позиции, согласно которой обращение с ядерными отходами должно осуществляться в стране их происхождения.

В 2020 гг. ЕС и США в целом поддержали политику, которая позволила продлить срок службы существующих реакторов, что с точки зрения нормативной стоимости электроэнергии является одной из лучших доступных на рынке инвестиций в производство чистой электроэнергии. В 2020–2030 гг. у большинства устаревших реакторов в США и ЕС срок службы будет увеличен на 20 лет, что позволит им функционировать в период после 2040–2050 гг.

Тем не менее, между 2035 и 2040 гг., когда продление срока службы больше не подходит для большей части существующего парка АЭС в ЕС и США, будут идти жаркие споры о том, как заменить этот значительный объем низкоуглеродистых мощностей. Некоторые, ранее занимающие пассивную позицию страны постепенно приступают к сооружению новых атомных станций, чему способствует очевидный успех атомной энергетики в развитых странах, не остановивших свои программы. Тем не менее, останется ряд стран, которые решают отказаться от использования атомной энергии.

При таком сценарии США и большинство стран ЕС неохотно приступают к строительству новых атомных электростанций в 2020–2030 гг., в некоторых случаях вследствие низкого уровня общественной приемлемости, а в других - вследствие неясной экономической эффективности. Тем не менее, некоторые страны идут в противоположном направлении. Чешская Республика, Венгрия, Словакия и Болгария принимают решение продлить свои программы развития атомной энергетики на 2030-2040 гг. Это обеспечивает их не только энергетическим решением, но и возможностью продвигать экологическую повестку, поддерживать экономический рост и развития кадровых ресурсов. Некоторые из этих проектов позволили всем

извлечь тяжелые уроки: перерасход средств и нарушение графика заставили участников отрасли и лиц, принимающих решения, пересмотреть свои подходы к проектированию АЭС и управлению проектами по их сооружению.

Во всем мире к 2060 г. некоторые страны будут значительно менее углеродостоемкими, чем другие. Воздействие погодных катаклизмов, нехватки воды и изменения климата все чаще ощущаются в различных обстоятельствах. Это вынуждает страны сотрудничать на субрегиональном уровне для создания технологических и экономических решений для ускорения адаптации к изменению климата.

По сценарию «Хард-рок» в 2060 г. на сектор производства электроэнергии будет приходиться 23 % от конечного потребления энергии, тогда как в структуре энергопотребления будут преобладать ископаемые виды топлива, хотя и в меньшей степени, чем сегодня. К 2060 г. доля атомной энергетики в производстве электроэнергии достигнет 12,5% по сравнению с 11% в 2015 г. Установленная мощность АЭС увеличится на три четверти с 407 ГВт в 2015 г. до 696 ГВт в 2060 г.

Исторически сложилось так, что масштабные изменения в ядерной энергетике занимали срок от десятилетия и более; это отражает реальный факт, что на проектирование, финансирование и сооружение атомных станций требуются годы. Однако при использовании методики сценариев внимание лиц, принимающих решения, переориентируется на изменения за пределами сферы энергетике, а также на новые технологии, находящиеся на начальных стадиях своего развития. Данный процесс отслеживания информации из различных источников призван предложить альтернативные точки зрения на ключевые драйверы изменений, которые будут формировать будущее ядерной энергетике.

Электроэнергия, вырабатываемая АЭС, может обладать конкурентоспособной ценой, со значимой частью прибыли за счёт строительства стандартизированных проектов, максимальным внедрением модульных компонентов при строительстве и реализации программ комплексного сооружения парка АЭС. Такой комплексный подход или серийное строительство – Наиболее эффективный метод развития национальной атомной энергетике, поскольку он снижает стоимость технологии по ходу её освоения и обеспечивает экономию за счёт эффекта масштаба на всей производственно-сбытовой цепи. Обычно он ведет к сокращению сроков строительства и значительному снижению стоимости энергоблоков. Недавние программы по сооружению АЭС в таких странах, как Россия, Китай, Южная Корея, Япония и Индия, показали преимущества программ комплексного строительства. К другим странам, пошедшим по пути комплексного подхода или выразившим желание встать на него, относятся государства Ближнего Востока (например, Объединенные

Арабские Эмираты, Саудовская Аравия, Иран, Турция и Египет), а Южная Африка, Нигерия и Бразилия также включили такую возможность в свои будущие планы. [4, 5].

В результате роста населения, экономического развития и спроса на электроэнергию ряд развивающихся стран рассматривает использование ядерных энергетических технологий. По данным Международного агентства по атомной энергии, 28 стран, иногда называемых «новичками», впервые рассматривают, планируют или реализуют национальные атомные энергетические программы, в то время как еще 20 стран выразили интерес к атомной энергетике и в той или иной мере развивают ядерную инфраструктуру. Эти процессы указывают на продолжающееся распространения мирного использования атомной энергии в восточном и южном направлениях.

Выводы

1. В мировом сообществе последние десятилетия ведутся дискуссии о будущем ядерной энергетике. Безусловно, ядерная энергетика имеет ряд преимуществ, в то же время общеизвестны последствия аварий на Чернобыльской атомной электростанции и Фукусиме. Также существует проблема обращения с ОЯТ. Поэтому ведущие компании, профильные научные учреждения и международные организации по всему миру работают над повышением безопасности, надёжности и экологической эффективности ядерной энергетике.

2. Приведенный анализ современных мировых тенденций развития ядерной энергетике. Показано, что в настоящее время наблюдаются быстрые, фундаментальные трансформации энергетических систем за счёт новых технологий, развивающихся ускоренными темпами, на фоне все более крупных изменений в социальной сфере, геополитике и окружающей среде. Общество стоит на пороге так называемого «Большого перехода», который предусматривает фундаментальные социально-экономические сдвиги в свете грядущей эры цифровой и экологической эффективности.

3. Показано, что ядерная энергетика является одним из наиболее рентабельных способов производства электроэнергии во многих странах. Высокая удельная мощность и надёжность ядерных энергетических установок делают их пригодными для обеспечения базовых нагрузок энергосистемы. По сравнению с ископаемым топливом, ядерная энергия имеет определённые преимущества. Во-первых, она является низкоуглеродистой источником энергии. Во-вторых, она является предсказуемым и относительно недорогим источником электроэнергии.

4. Приведён вариант развития ядерной энергетике, который разработан и курируется Всемирной ядерной ассоциацией и отражён в программе «Гармония». В программе изложено видение будущего электроэнергетике с учётом цели обеспечения к 2050 году доли ядерной генерации не

менее 25 % от общемирового объёма производства электроэнергии в рамках стремлений к созданию чистого и надёжного низкоуглеродистого мирового энергобаланса.

5. Рассмотрены три глобальных альтернативных сценарии развития мировой энергетики до 2060, разработанных Всемирным энергетическим Советом: «Джаз модерн» (Jazz modern), «Неоконченная симфония» (Unfinished symphony), «Хард рок» (Hard rock). По этим сценариям ядерная энергетика будет частью мирового энергобаланса, однако каждый сценарий предполагает различную долю ядерной энергетике в мировом энергобалансе и довольно отличные друг от друга пути развития.

6. Темпы и направления глобального перехода к безуглеродистой энергетике являются частью гораздо более широкого комплекса общемировых изменений. В настоящее время идёт процесс так называемого «Большого перехода» (Grand Transition), который предполагает фундаментальный социально-экономический сдвиг в свете грядущей эры цифровой и экологической эффективности. В более широком контексте перспективы атомной и других форм производства энергии определяются сложным и непредсказуемым взаимодействием глобальных факторов, таких как децентрализация, декарбонизация, цифровизация и геополитика. Появляются многочисленные развилки на пути к успешному общемировому переходу к низкоуглеродистой энергетике.

7. Всё больше признаётся тот факт, что ядерная энергия займёт своё место в будущем мировом энергобалансе и будет способствовать устойчивому развитию.

Литература

1. Біль і тривоги Чорнобиля / Упоряд. Ю.В. Сафонов. – К.: ВАТ «Вид – во «Київ. Правда», 2006. – 288 с. [Chernobyl pain and anxiety / In order. Yu.V. Safonov. - Kyiv: OJSC "Publishing House" Kyiv. Pravda », 2006. - 288 p.]

2. Опыт АЭС Фукусима-1 для повышения Экологической безопасности энергетики Украины: монография / Д.В. Билей, В.Н. Вашенко, В.В. Злочевский, А.Ю. Погосов, В.И. Скалозубов, А.В. Шавлаков. – К.: Государственная экологическая академия последипломного образования, 2012. – 194 с. [Experience of Fukushima-1 NPP to increase the environmental safety of energy in Ukraine: monograph / D.V. Biley, W.N. Vashenko, V.V. Zlochevskiy, A.Yu. Pogosov, V.I. Skalozubov, A.V. Shavlakov. - K.: State Ecological Academy of Postgraduate Education, 2012. - 194 p.]

3. Виговський О. В. Основні проблеми розвитку атомної енергетики України та шляхи їхнього вирішення / О. В. Виговський // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2016. – Вип. 27. – С. 5 – 12. [Vygovskiy A. V. (2016). [The basic problems of development of nuclear energy in Ukraine and ways of their decision]. Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya [Problems of Nuclear Power Plants Safety and of Chernobyl], vol. 27, pp. 5–12.]

4. The Future of Nuclear: Diverse Harmonies in the Energy Transition. - London: The World Energy Council (with assistance the World Nuclear Association), 2019. - 64 p.

5. К. Маркевич. Ядерна енергетика у світі та Україні: поточний стан та перспективи розвитку / К. Маркевич, В. Омельченко. - К.: Центр Разумкова, 2015. - 26 с. [K. Markevich. Nuclear energy in the world and in Ukraine: current state and prospects of development / K. Markevich, V. Omelcheko. - K.: Razumkov Center, 2015. - 26 p.]

6. World Nuclear Association. The Harmony programme. - Режим доступу: <https://www.world-nuclear.org/temp/new-papers/harmony-2019.aspx> .

7. Енергоатом України. Офіційний сайт. — Режим доступу:

<http://www.energoatom.kiev.ua>. [Energoatom Ukraine. Official web-site. Available at: <http://www.energoatom.kiev.ua>.]

Qurbonalizoda S.SH.

Dr., Deputy Director of cascade

Varzob's HPPs OSHC «Barqi Tojik», Tajikistan

Candidate of Technical Sciences, Deputy Director

cascade of Varzob HPPs, OJSCHK "Barki Tojik", Tajikistan

Kurbonalizoda Saidabdullo Shamsullo

THE QUALITY OF ELECTRIC ENERGY IN POWER SUPPLY SYSTEMS AND GENERAL STANDARDS

Курбонализода Саидабдулло Шамсулло

кандидат технических наук, Заместитель Директора каскада Варзобских ГЭС ОАХК «Барки Точик», Таджикистан

КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И НОРМЫ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ