

Анри Пайлер, Департамент ядерной энергии МАГАТЭ
Джеффри Донован, Департамент ядерной энергии МАГАТЭ



С 2011 года на долю Китая приходится более половины новых глобальных ядерных мощностей. Fuqing 5, изображенный здесь, был подключен к электросети 27 ноября 2020 года, став 50-м действующим реактором в стране. (Фото: CNNP)

В начале нового тысячелетия, на фоне растущего осознания связи между выбросами парниковых газов, связанных с энергетикой, и изменением климата, стало популярным понятие «ядерного возрождения». Ученые и политики определили низкоуглеродную ядерную энергетику как потенциального участника перехода к чистой энергии.

Однако авария на АЭС Фукусима-дайти, управляемая Токийской электроэнергетической компанией (TEPCO) 11 марта 2011 года, [нанесла удар](#) по планам быстрого увеличения масштабов ядерной энергетики для решения не только проблемы изменения климата, но и энергетической бедности и экономического развития. Поскольку мировое сообщество обратило внимание на укрепление ядерной безопасности, несколько стран решили отказаться от ядерной энергетики.

После усилий по укреплению ядерной безопасности и в условиях, когда глобальное потепление становится все более очевидным, ядерная энергетика снова занимает место в глобальных дебатах как экологически безопасный вариант энергетики. Это связано с его жизненно важными характеристиками: нулевые выбросы во время работы, доступность 24/7, небольшая занимаемая

площадь и универсальность для декарбонизации [«труднодоступных» секторов](#) в промышленности и на транспорте. Но даже несмотря на то, что технологически нейтральные организации, такие как Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) и Международное энергетическое агентство (МЭА), признают способность ядерной энергетики решать основные глобальные проблемы, степень, в которой этот чистый, надежный и устойчивый источник энергии будет полностью реализовать свой потенциал остается неопределенным.

Авария на АЭС «Фукусима-дайти» и общественное признание в некоторых странах продолжают бросать тень на перспективы ядерной энергетики. Кроме того, на некоторых крупных рынках ядерной энергетике не хватает благоприятной политики и [финансовых](#) рамок, которые признают ее вклад в смягчение последствий изменения климата и устойчивое развитие. Без такой структуры ядерной энергетике будет сложно реализовать свой полный потенциал, даже несмотря на то, что мир по-прежнему зависит от ископаемого топлива, как и три десятилетия назад.

Влияние на производство электроэнергии

Самый большой удар по производству электроэнергии на АЭС нанесла Япония. Поскольку общественное доверие к ядерной энергетике на рекордно низком уровне после аварии, власти приостановили работу 46 из 50 действующих энергетических реакторов страны. Ядерная энергия, стратегический приоритет с 1960-х годов, обеспечивающая почти треть электроэнергии Японии, была внезапно отложена. В 2019 году ядерная энергетика обеспечивала лишь 7,5% электроэнергии Японии. Возобновили работу всего девять ядерных энергетических реакторов.

Между тем общественное и государственное мнение настроилось против ядерной энергетике и в некоторых других странах. Германия, менее чем через три месяца после аварии, решила полностью отказаться от атомной энергетики к 2022 году. С тех пор все, кроме шести из 17 энергетических реакторов страны, были окончательно остановлены. По данным МЭА, атомная энергия произвела около 12% электроэнергии страны в 2019 году по сравнению с примерно 25% до аварии на Фукусима-дайти, в то время как угольные электростанции оставались крупнейшим источником электроэнергии. В другом месте Бельгия подтвердила планы выхода из атомной энергетики к 2025 году. В Италии провалился поддерживаемый правительством план по возвращению ядерной энергетике, закрытый с 1990 года. И такие страны, как Испания и Швейцария, решили не строить новые атомные станции. В период с 2011 по 2020 гг.

Непосредственным следствием этого явилось сокращение глобального производства электроэнергии на АЭС до 2012 года. В то же время усилия по использованию других низкоуглеродных источников, таких как переменная энергия ветра и солнца, активизировались, поскольку страны искали новые

способы преодоления климатического кризиса. Тем не менее, ядерная энергия оставалась вторым по величине источником низкоуглеродной электроэнергии в мире после гидроэнергетики, обеспечивая в то время около 40% всей низкоуглеродной энергии.

Восстановление уверенности

Обратный путь в ядерную энергетику был основан на действиях, предпринятых на национальном и международном уровнях для обмена [фактической информацией](#) о реальных последствиях аварии на АЭС «Фукусима-дайти» и дальнейшего повышения [ядерной безопасности](#), в сочетании с постоянными инновациями в конструкции и характеристиках реакторов, а также долгосрочными перспективами. эксплуатация (LTO) существующих заводов.

В то время как проекты нового строительства на некоторых либерализованных рынках сталкивались с превышением затрат и сроков, несколько стран добились значительного прогресса в развертывании крупномасштабных усовершенствованных реакторов, в том числе в Беларуси, Китае, Республике Корея, России и Объединенных Арабских Эмиратах. Внедрение в России в 2016 году [быстрого реактора](#) БН-800 - технологии, минимизирующей количество отходов, - подчеркнуло потенциал долгосрочной устойчивости ядерной энергетики.

Тем временем активизировались усилия по разработке малых модульных реакторов (ММР), включая развертывание первых ММР. Сегодня ММР являются одними из самых многообещающих новых технологий ядерной энергетики. По сравнению с существующими реакторами предлагаемые конструкции SMR, как правило, проще и в большей степени полагаются на внутренние, а также на пассивные средства безопасности. Они, вероятно, потребуют более низких первоначальных затрат и предлагают большую гибкость для небольших сетей, а также интеграцию с возобновляемыми источниками энергии и неэлектрическими приложениями, такими как производство водорода и опреснение воды. Инновационные конструкции также будут производить меньше отходов или даже работать на переработанном отработанном топливе.

Спустя пять лет после аварии на АЭС «Фукусима-дайти», когда вступило в силу [Парижское соглашение](#), все большее число стран рассматривали ядерную энергетику как средство не только для решения проблемы изменения климата, но и для повышения энергетической безопасности, уменьшения воздействия неустойчивых цен на топливо и сделать их экономику более конкурентоспособной. Около 30 стран работают с МАГАТЭ, впервые исследуя возможность использования ядерной энергетики. Бангладеш и Турция строят свои первые реакторы, а Беларусь и ОАЭ начали вырабатывать ядерную

электроэнергию в прошлом году, демонстрируя [важную роль](#), которую страны-новички будут играть в будущем ядерной энергетике.

В 2013 году атомная генерация снова начала расширяться, начав семь лет подряд, пока в 2019 году она не достигла своего второго самого высокого уровня в 2657 ТВтч. В этом году, доказав свою надежность, ядерная энергия произвела примерно на 30% больше чистой электроэнергии, чем солнечная и ветровая. вместе взятых, даже несмотря на то, что его установленная мощность составляла менее трети совокупной установленной мощности этих двух переменных возобновляемых источников. Доля ядерной энергии в мировом производстве электроэнергии также немного выросла в 2019 году до 10,4%, при этом вырабатывается почти треть мировой низкоуглеродной энергии. А в 2020 году, во время изоляции от пандемии, ядерная энергия сыграла [важную роль](#). в обеспечении безопасной, гибкой и стабильной генерации на рынках, характеризующихся значительным падением спроса на электроэнергию и значительной долей переменной генерации

За последнее десятилетие центр расширения ядерной энергетике переместился в Азию, на долю которой приходится более двух третей всех строящихся реакторов. В общей сложности с 2011 по 2020 годы было добавлено 59 ГВт мощности, включая 37 ГВт в одном только Китае, что более чем компенсирует потерю мощности за этот период, [согласно Информационной системе МАГАТЭ по энергетическим реакторам \(PRIS\)](#) .

Импульс также начал формироваться в поддержку идеи о том, что ядерная энергия играет ключевую роль в смягчении последствий изменения климата, а также в обеспечении устойчивого развития. Когда в 2015 году были обнародованы Цели устойчивого развития (ЦУР) ООН, стало ясно, что ядерная энергетика может способствовать достижению многих из них, включая экономическое развитие, доступ к энергии и изменение климата. В своем [Специальном докладе о глобальном потеплении на 1,5 ° C](#) за 2018 год модельные пути МГЭИК показали, что ядерная энергетика должна будет внести значительный вклад в удержание среднего повышения глобальной температуры (по сравнению с доиндустриальным периодом) ниже этого ключевого порога. В 2019 году [в отчете МЭА](#) объяснялось, что переход к нулевым выбросам к 2050 году будет более трудным и дорогостоящим без ядерной энергии.

Дорога впереди

Ядерная энергия может помочь сократить выбросы за пределы сектора электроэнергетики, а также решить проблемы роста потребления электроэнергии, проблемы качества воздуха, безопасности энергоснабжения и нестабильности цен на другие виды топлива. Тем не менее его перспективы в некоторых странах остаются туманными из-за политической неопределенности,

которая увеличивает стоимость финансирования этой капиталоемкой технологии.

В своих последних годовых [прогнозах](#), опубликованных в сентябре 2020 года, МАГАТЭ заявило, что ядерные генерирующие мощности могут почти удвоиться к 2050 году или снизиться до уровня чуть ниже нынешнего. Согласно отчету, требуются немедленные и согласованные действия для достижения сценария высокого риска. Обязательства, взятые в соответствии с Парижским соглашением и другими инициативами, могут поддержать развитие ядерной энергетики, но это потребует разработки энергетической политики и рыночных структур для облегчения инвестиций в управляемые низкоуглеродные технологии.

Одной из непосредственных проблем является возраст парка реакторов. Возраст более двух третей действующих реакторов превышает 30 лет, и они либо будут выведены из эксплуатации в ближайшие десятилетия, либо будут продлены срок их службы. Ожидаемые остановки 13 реакторов в Германии и Бельгии к 2022 и 2025 годам, соответственно, представляют собой потерянную мощность около 14 ГВт (эл.). Судьба существующих реакторов в Европе, Японии и США также остается неясной.

Около 100 энергетических реакторов уже получили лицензии на продление срока эксплуатации на различные периоды после ремонта. Нормированная стоимость электроэнергии (LCOE), используемая для измерения затрат на производство электроэнергии, связанных с ЛТО атомной станции, обычно находится в диапазоне 30-40 долларов США за МВтч, что сравнимо с LCOE новых ветряных и солнечных фотоэлектрических станций в оптимальных условиях. Согласно последним прогнозам затрат МЭА и ОЭСР / АЯЭ, ЛТО является самым [дешевым источником](#) низкоуглеродной электроэнергии.

В настоящее время в 19 странах строятся 50 энергетических реакторов, общая установленная мощность которых составляет около 53 ГВт (эл.). Тем не менее, текущие темпы строительства реакторов остаются намного медленнее, чем это необходимо для достижения высокого прогноза МАГАТЭ, который приведет к увеличению ядерной мощности почти вдвое к 2050 году до 715 ГВт (эл.). Это потребует более чем удвоения текущего годового количества подключений реакторов и приведения в соответствие с темпами установленной мощности, наблюдавшимися в 70-х и 80-х годах.

Перед нами стоит задача построить безопасный мост между стареющими реакторами и внедрением передовых технологий. Существующие реакторы должны поддерживать безопасность и надежность, оставаясь при этом экономически конкурентоспособными. Усовершенствованные реакторы, находящиеся в стадии разработки, должны быть подкреплены подтверждением концепции для успешного преодоления нормативных препятствий.

Помимо электричества

Глобальные потребности в электроэнергии, тем временем, готовы встать на десятилетия вперед и в ключевых энергетических сценариев, обеспечивающих достижение целей смягчения жестких, существенную роль для ядерной энергетики [предусматривается](#) . Это потому, что декарбонизация производства электроэнергии за счет более широкого использования ядерной энергии, гидро-, ветровой и солнечной энергии - это только первый шаг. Чистая энергия также необходима таким секторам, как промышленность, транспорт и строительство, если мир хочет достичь чистого нуля к 2050 году.

Ядерная энергия может использоваться для производства водорода с низким содержанием углерода по конкурентоспособной цене. Низкоуглеродистый водород - это ключевой вариант будущего для транспортного сектора, где с 1970 года выбросы утроились. Кроме того, атомный водород можно использовать для хранения энергии и для замены ископаемого топлива в промышленных процессах, таких как производство стали и аммиака. Кроме того, атомная энергия может поставлять тепло для централизованного теплоснабжения, а усовершенствованные реакторы смогут вырабатывать высокотемпературный пар, необходимый для многих отраслей промышленности.

В то время как атомная промышленность работает над контролем затрат на строительство новых зданий с помощью стандартизированных конструкций и модульной конструкции, потребуются также значительные рыночные и политические меры, чтобы ядерная энергетика могла полностью реализовать свой потенциал смягчения последствий. В частности, ядерной энергетике необходимы равные условия для доступа к низкоуглеродному финансированию. Также важно признание вклада ядерной энергетики в стабильность и отказоустойчивость электрических сетей с высокой долей переменных возобновляемых источников. Кроме того, такая политика, как установление цен на углерод, будет иметь большое значение для направления инвестиций в экологически чистые диспетчерские источники энергии, такие как ядерная энергетика.

Будущим энергетическим системам потребуется разнообразие чистых источников. Хотя роль ядерной энергетики в изменении климата и устойчивом развитии стала более известной после аварии на Фукусима-дайти, общественное признание и политическая неопределенность по-прежнему представляют собой препятствия на пути к ядерному возрождению, о котором когда-то предполагалось, - но их можно преодолеть, лучше сообщая научные факты. «Ядерная энергия не является перспективной с точки зрения низкоуглеродной энергии, она уже сегодня вносит огромный вклад в низкоуглеродную экономику», поскольку за последние 50 лет удалось избежать выбросов углекислого газа, эквивалентных 74 гигатоннам, - [заявил](#) г-н Гросси в МЭА. панельная дискуссия в июле 2020 года. «Ядерная энергетика может

внести большой вклад в создание чистых, устойчивых и инклюзивных энергетических систем».