

УДК 33 DOI: 10.14451/1.247.327

Мировая атомная энергетика: особенности развития в период пандемии COVID-19 и тенденции

© 2025 **Кириянов Матвей Евгеньевич**

Ведущий эксперт, департамент цифровой трансформации. Исполнительный аппарат ПАО Федеральная сетевая компания – Россети. Студент магистратуры 2 курс, Факультет международных экономических отношений. Финансовый университет при Правительстве РФ.
E-mail: 235449@edu.fa.ru

Ключевые слова: атомная отрасль, экология, парниковые выбросы, ВВП, экономическое развитие, ядерное топливо, ядерная политика.

Статья посвящена анализу состояния атомной энергетики за рубежом, особый акцент делается на экологических и социально-экономических контекстах. В статье представлены основные тенденции развития технологии ядерной выработки энергии, а также возможные последствия для экономики развитых государств. Объектом исследования является мировая атомная энергетика, тогда как предметом – основные тенденции и особенности ядерной энергетики. Методология исследования включает сравнительный и описательный методы, критический подход к анализу источников информации, связанный с неоднозначными аспектами развития атомных электростанций. При анализе состояния атомной отрасли после пандемии COVID-19 мы пришли к выводу, что не все страны считают перспективным вкладываться в развитие и научно-исследовательские проекты, так как это не единственный способ получения энергии с нулевыми выбросами. При этом можно заключить, что США, Канада, Россия, Китай и Индия являются наиболее перспективными лидерами в атомной отрасли, так как эти страны в большей степени заинтересованы в развитии технологии, что связано как с географическим положением, так и социально-экономическими и политическими факторами.

Введение

Ядерная энергия – это источник энергии, который гарантирует электроснабжение, сокращает выбросы отходов, загрязняющих окружающую природу, снижает зависимость от внешней энергии и постоянно производит электричество. Изменение климата является фактором, который также работает в пользу этой энергии, поскольку она не выделяет парниковые газы и не влияет

так сильно на климат Земли. Также это вредит ландшафту меньше, чем другие инфраструктуры, генерирующие электроэнергию, которые требуют больших площадей и большего вмешательства в окружающую среду. Так называемые реакторы четвертого поколения, которые в настоящее время изучаются консорциумами и международными организациями, вероятно, больше не будут основываться на классической

концепции реакторов с водой и обогащенным ураном, а также будут иметь более высокий уровень безопасности, чем существующие. Следовательно, они будут более безопасными, более эффективными и с меньшим количеством радиоактивных отходов.

Объектом исследования выступает мировая атомная энергетика. Соответственно, предметом исследования представляются основные тенденции и особенности ядерной энергетики. Целью работы является исследование мировой атомной энергетики, в частности, ее особенностей в период пандемии COVID-19 и тенденций развития. Исходя из цели определены основные задачи: оценить современное состояние атомной энергетики; выявить и исследовать долгосрочные подходы атомной энергетики; рассмотреть техническое устройство АЭС; изучить технологии, используемые на АЭС; выявить экономические и социальные аспекты развития атомной энергетики в мире.

В ядерной отрасли научные знания и технологии постоянно развиваются, что приводит к развитию требований и стандартов безопасности на основе новых знаний и опыта. Атомная промышленность является одним из наиболее технологически развитых промышленных секторов, сопоставимых с авиационной и космической отраслями [10].

Ядерные реакторы классифицируются в зависимости от технологического развития, заложенного в их конструкции, в результате чего возникают различные группы или поколения:

- Заводы поколения I: состоят из первых прототипов, построенных в 50-х и 60-х годах прошлого века.
- Станции поколения II: состоят из атомных электростанций, построенных в 70-х, 80-х и 90-х годах прошлого века. Они представляют большинство реакторов, эксплуатируемых в настоящее время в мире.
- Станции поколения III и III+: состоят из станций, конструкция которых является результатом разработки станций поколения II и которые объединяют «эволюционные усовершен-

ствования», основанные на опыте, накопленном на существующих атомных электростанциях. Эти достижения в основном затрагивают системы безопасности, надежность, работоспособность и стандартизацию конструкций. Сегодня строящиеся АЭС относятся к III поколению.

- Станции поколения IV: состоят из серии проектов, программ и инициатив по разработке и испытанию нескольких высокоинновационных ядерных систем. Они предлагают преимущества перед существующими атомными электростанциями в области устойчивости, экономики, безопасности, надежности, нераспространения и физической защиты. Эти заводы по большей части находятся на стадии проектирования, и их разработка создает большие проблемы, особенно в отношении материалов и топлива. Ожидается, что они будут введены в промышленную эксплуатацию в ближайшие 15–25 лет.

Обзор литературы

Прежде стоит заметить, что атомная энергетика и социально-экономические последствия представляют большой интерес как для отечественных, так и для зарубежных авторов. Это связано как с особой актуальностью темы, так и с пониманием ценности и значимости мирного использования ядерной энергии странами.

Соответственно, зарубежные авторы уделяют особое внимание экологическому аспекту развития атомной энергетики, в своих работах концентрируясь на повестке устойчивого развития. Brook B. и Lowe I. публикуют совместную книгу в формате дискуссии, которая предполагает аргументы за и против активного вложения развитых стран в атомную энергетику, где аргументами «за» от Brook являются экологические положительные последствия, тогда как Lowe концентрируются на угрозах аварий и дороговизне обслуживания технологии [25]. Berger A. оценивает потенциал атомной энергетики в снижении выбросов CO₂, анализируя данные по 441 реактору и предлагая решения для развивающихся стран, не имеющих доступ и средства для установления больших реакторов [23].

Исследователи из развивающихся стран особый акцент делают на анализе существующих проектов по строительству атомных электростанций и перспективах положительного вклада в экономику страны. Так, Г. Халова и М. Арсланов рассматривают целесообразность строительства атомных реакторов на территории Казахстана и Узбекистана с учетом в них крупных запасов урана и геоклиматических условий [21]. Аналогично М. V. Ramana в монографии рассматривает индийскую атомную программу на 2020-е годы и экономические последствия от ее реализации [26].

Зарубежные авторы также рассматривают перспективы развития атомной энергетики и основные тенденции в устройстве реакторов, которые влияют на экономическую результативность (например, А. Р. Balcerzak [24]). Экономика ядерной энергетики в целом представляется активно разработанным направлением в исследования. G. Rothwell указывает на ее значимость для понимания перспектив развития отрасли и ее социальной направленности [27].

Отечественные авторы также рассматривают экологические последствия от использования атомной энергии в государстве, что, по их мнению, дает важные конкурентные преимущества, связанные с пролонгированием качества географического ландшафта и природных ископаемых ресурсов. С. С. Хворостяников предлагает уделять большее внимание развитию ториевых циклов в ядерной энергии, чтобы более эффективно получать энергию с меньшими выбросами отходов в окружающую среду [22]. Зубкова Я. Д. с соавторами посвящают научные статьи экологическим аспектам развития атомной сферы в России [8], тогда как Е. О. Адамов предлагает конкретные решения в виде перехода на замкнутый цикл, который сократит потребность в уране на 90% и соответственно экономические издержки на его добычу и экологические последствия от изменения ландшафта [2].

Помимо этого, для российских исследователей атомной отрасли характерно особое внимание к тому, что уровень развития ядер-

ных технологий государства является условием его положения на мировой арене. Геополитика атомной энергии, рассматриваемая в виде кейсов России, США, Китая на рынках Азии и Африки в работе С. З. Жизнина, представляет собой особое сплетение отношений конкуренции-сотрудничества между развитыми государствами-лидерами [7]. А. А. Кайгородцев также обобщает проблемные аспекты и возможные направления сотрудничества в сфере атомной энергетики между развитыми государствами и развивающимися, для которых эта технология – способ стабильной генерации энергии, важной для экономического роста [9].

Интересным представляется еще один аспект исследований в отечественной мысли – это возможная зависимость государства от экспорта ядерных технологий, что характерно для таких стран, как Россия, США. В относительно старой работе И. Н. Рыковой и Ю. Г. Лесных предлагаются пути решения этой проблемы, которые стоит предпринять заранее – диверсифицировать рынки [17].

Основная часть

В настоящее время большинство эксплуатируемых ядерных реакторов относятся к поколению II, однако активно вводятся реакторы типа III/III +, обладающие большей эффективностью и мощностью, которые позволяют получать больше энергии с меньшими затратами.

Атомные электростанции поколения III и III +

Поколения III и III + – это реакторы, эволюционно усовершенствованные по сравнению с поколением II. К ним относятся системы пассивной безопасности, действие которых обусловлено естественными физическими явлениями, такими как естественная конвекция и гравитация, которые действуют сами по себе, когда установка отклоняется от своего нормального режима работы, без необходимости их активации. Им не нужна никакая внешняя электрическая энергия.

В настоящее время строятся реакторы третьего поколения, которые можно разделить на две разные группы [6]:

– Эволюционные реакторы с кипящей водой.

К ним относятся ABWR (усовершенствованный реактор с кипящей водой) от Toshiba и GE, а также BWR 90+ от Westinghouse, пассивный реактор ESBWR от GE и упрощенный реактор SWR-1000 от Areva (ныне Orano).

- Современные реакторы с водой под давлением. В их число входят AP-600 и AP-1000 от Westinghouse, эволюционная система PWR System 80+ от Westinghouse, APWR от Mitsubishi и European EPR от Areva (ныне Orano).

Поколение IV состоит из серии типовых конструкций, которые, как ожидается, будут введены в коммерческую эксплуатацию в следующие 30-40 лет. Это большой прорыв для атомной энергетики, поскольку при разработке были учтены все особенности конструкций реакторов прошлых поколений. Существуют определенные принципы атомных электростанций [15]:

- Устойчивость: они должны способствовать доступности долгосрочных систем и использованию топлива для производства электроэнергии во всем мире, сводя к минимуму объем и период обращения с радиоактивными отходами.
- Экономика: они должны предлагать больше экономических преимуществ, чем другие источники энергии в течение жизненного цикла эксплуатации, и соответствовать уровню своего финансового риска с уровнем других энергетических проектов.
- Безопасность и надежность: конструкции должны сводить к минимуму вероятность и величину повреждения активной зоны реактора и устранять необходимость в аварийных мерах за пределами площадки.
- Сопротивление распространению и физическая защита: они должны представлять собой наименее желательный и привлекательный путь использования материалов для немирного использования ядерной энергии.

Одна из новинок поколения IV состоит в том, что конструкции могут не быть ориентированы исключительно на производство электроэнергии, но некоторые из них могут иметь другие

функции, такие как производство водорода, производство тепла.

Существуют две международные инициативы по разработке этих передовых проектов, которые могут заработать до 2030 года и будут соответствовать установленным принципам:

- GIF (Международный форум «Поколение IV»). В нем участвуют США и Франция, а также другие страны Запада и Дальнего Востока при координации Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР).
- ИНПРО (Международный проект по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам). Продвигается Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ), в котором участвуют Европейский Союз, Россия и другие страны.

По состоянию на 1 января 2024 года в мире насчитывалось 413 действующих ядерных реакторов [13]. Вместе они производят 10,3% мировой электроэнергии. Международные мощности по производству ядерной энергии увеличивались в течение 4 лет и в настоящее время достигают нового рекордного уровня – более 399 000 МВт. В 2018 году это означало увеличение мощности на 3%. Международное энергетическое агентство (МЭА) прогнозирует около 1,1 триллиона долларов инвестиций в атомную энергетику к 2040 году, что означает 46%-ное увеличение производства [12].

Сегодня ископаемое топливо (прежде всего уголь) является наиболее широко используемым источником выработки электроэнергии в мире. Что еще более тревожно, доля ископаемого топлива растет быстрее, чем все другие формы энергии (например, возобновляемые источники энергии). Чтобы обеспечить эффективный ответ на климатические вызовы, мы должны развернуть и развить в максимально возможной степени все формы низкоуглеродной электроэнергии. Сочетание ядерной энергии и возобновляемых источников энергии имеет важное значение для снижения доли ископаемого топлива. Ядерная энергия дает ответ на эти три основные проблемы, которые:

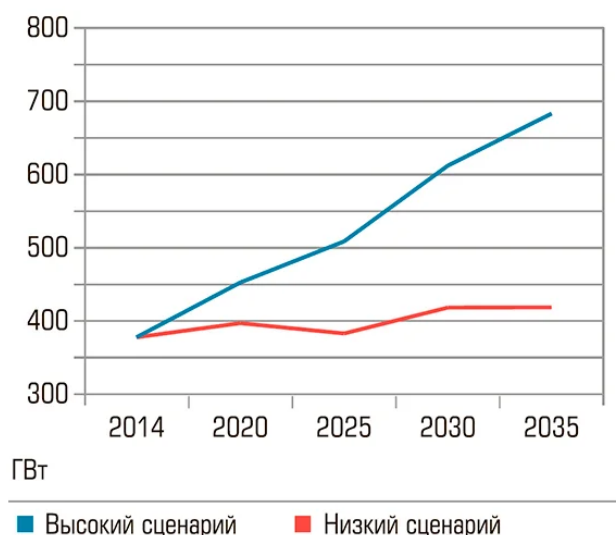


Рис. 1. Прогноз мощности АЭС в мире.

- абсолютная необходимость сокращения выбросов CO_2 в борьбе с изменением климата;
- обязательство удовлетворять постоянно растущий спрос на электроэнергию (рост населения мира и новые технологические приложения, использующие электричество);
- а для некоторых стран – укрепление их энергетической независимости.
- Они могут сжигать уран любого типа. Улучшая весь уран, извлеченный из земли, они практически в 100 раз увеличивают энергию, которую можно извлечь из данной массы природного урана.
- Они предлагают возможность снижения радиотоксичности, срока хранения и объема конечных отходов.

Ядерная энергия дает ответы на эти вызовы. Две крупнейшие развивающиеся державы, Китай и Индия (40% населения мира), осознали это, и запускают крупные программы развития ядерной энергетики. Это не единственные страны, так как несколько других стран Европейского Союза, США и стран, богатых углеводородами, таких как Саудовская Аравия и Объединенные Арабские Эмираты, также развивают ядерную энергетику. Не говоря уже о многих странах, которые перезапускают или развивают свои ядерные программы, таких как Бангладеш, Япония или Россия [18].

Заявленные преимущества реакторов на быстрых нейтронах [5]:

- В реакторах на быстрых нейтронах можно без ограничений использовать весь плутоний, производимый существующим парком реакторов или самим собой.

Реакторы на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем являются эталонным методом, который уже имеет значительный опыт. Торий имеет много преимуществ. Металлический торий 232 более распространен, чем уран, и его можно использовать почти на 100% [14].

Торий может поддержать развитие новой атомной отрасли. И особенно в таких странах, как Индия и Китай, которые обладают значительными запасами тория. Две страны, реализующие крупные долгосрочные программы развития реакторов, работающих на тории: Китай и США финансируют исследовательскую программу по разработке этого метода в промышленных масштабах [4]. Китай даже заявляет, что он хочет построить реактор к 2030 году. Сочетание технологии расплавленных солей и тория предлагает, с одной стороны, безопасность и энергоэффективность, а с другой – обилие и устранение долгоживущих отходов.

Канадская компания Terrestrial Energy разрабатывает реактор на расплавленной соли под названием IMSR (Integral Molten Salt Reactor) с топливом из урана-235, обогащенным примерно до 5% [19]. Он будет иметь развиваемую электрическую мощность 190 МВт·ч, по замыслу проектировщиков, может быть введен в эксплуатацию в конце 2020-х – начале 2030-х годов.

В любом случае, канадский регулирующий орган объявил в конце 2017 года, что Terrestrial Energy завершила первый из трех этапов «предлицензионного обзора». Это одобрение Канадской комиссии по ядерной безопасности представляет собой важный шаг на пути к строительству реактора четвертого поколения. Компания Terrestrial Energy уже решила построить свой первый завод на территории «Канадских национальных лабораторий» в Чок-Ривер, Онтарио.

Помимо производства электроэнергии, этот тип реактора может также обеспечивать тепло для промышленных применений, таких как химия и опреснение морской воды.

Развитие атомной энергетики в мире

Посмотрим, как выглядит ситуация в мире. Сколько реакторов имеется в странах, инвестирующих в атомную энергетику и каковы тенденции?

На основании данных доклада МАГАТЭ можно проследить следующее [13].

Северная Америка. В США работает 98 реакторов. Последний введен в эксплуатацию в 2016 году. Более 70 реакторов разрешены к эксплуатации на 60 лет. В Канаде расположены 19 действующих реакторов. Страна также очень активна в разработке новых типов реакторов, таких как реакторы на расплаве солей и модульные микрореакторы.

Южная Америка. В Бразилии работают два реактора и обеспечивают строительство восьми новых реакторов к 2030 году. В Аргентине есть 3 действующих реактора, и Китайская национальная ядерная корпорация (CNNC) планирует строительство 2 новых реакторов. В стране также

разрабатывается проект строящегося небольшого модульного реактора (ММР). В Мексике есть 2 действующих реактора, и было предложено строительство трех дополнительных реакторов.

Африканский континент. Только Южная Африка имеет два ядерных реактора и хочет в будущем расширять свои производственные мощности. Некоторые страны, такие как Судан, Алжир, Марокко и Нигерия, разрабатывают ядерные программы.

Дальний Восток. У Египта есть программа по строительству четырех ядерных реакторов. Иордания намерена построить два ядерных реактора.

Ближний Восток. Иран имеет ядерный реактор в коммерческом использовании с 2013 года. Ожидается, что в ближайшее время начнется строительство еще 4 реакторов. Объединенные Арабские Эмираты в настоящее время строят четыре ядерных реактора. Саудовская Аравия хочет построить 16 ядерных реакторов в ближайшие 20–25 лет. Эта страна также заинтересована в небольших реакторах для опреснения морской воды.

Азия. Азия, возглавляемая Китаем, отвечает за большую часть развития ядерной энергетики во всем мире. Япония продолжает свою приверженность к ядерной энергии с постепенным возвращением существующих атомных электростанций и строительством новых реакторов. В Южной Корее – 24 реактора, в Индии – 22, в Тайване 6 реакторов и Пакистане – 5 реакторов. В Бангладеш началось строительство двух ядерных реакторов в 2017 году и 2018 году соответственно.

Европейский Союз. В 14 странах (из 28) Европейского Союза эксплуатируется как минимум одна атомная электростанция. В 2018 году почти 26% электроэнергии было произведено на атомной электростанции. Французский парк электроэнергии, в котором преобладают низкоуглеродные технологии, выделяет очень мало CO₂ по сравнению с другими европейскими странами.

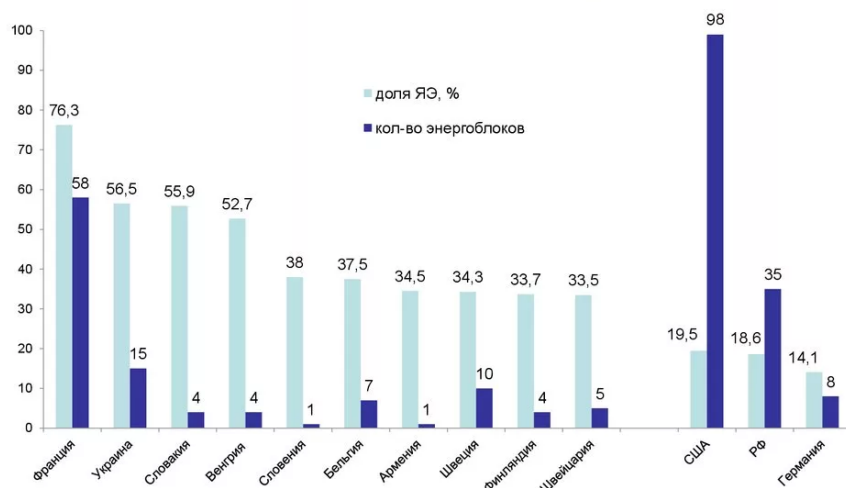


Рис. 2. Тенденции развития ядерной энергии в мире.

Около 90% электроэнергии во Франции производится из источников с низким содержанием углерода, а более 70% электроэнергии вырабатывается на атомных электростанциях. Во Франции 58 ядерных реакторов, расположенных на 19 площадках.

Великобритания является пионером в области ядерной энергетики в Европе. В настоящее время на 15 реакторов приходится около 21% производства электроэнергии в Великобритании. Правительство инвестирует в низкоуглеродные источники энергии, в том числе в ядерную энергетику. Утверждена комплексная программа строительства новых ветряных электростанций, солнечных электростанций и дополнительных атомных электростанций.

Другие страны Европы. В Швейцарии имеется пять ядерных реакторов.

Турция приступила к строительству своего первого реактора в 2018 году также планируется еще три. Россия рассчитывает на 36 работающих ядерных реакторов, плюс еще шесть на стадии строительства. Россия также инвестирует в ядерные технологии, имея подтвержденные или планируемые заказы на более чем 25 ядерных реакторов.

Будущее атомной энергетики после пандемии COVID-19

Энергетический переход является более актуальным, чем когда-либо, и поскольку правительства стремятся к восстановлению экономики после COVID-19, они возвращаются к своим планам перехода на энергоносители и вкладывают средства для ускорения прогресса.

Но разные страны начинают с очень разных исходных позиций. Страны не только начинают с разных исходных уровней; они тоже работают в разных условиях. Многие развивающиеся рынки обладают большими внутренними запасами угля, нефти и газа. Обычно это приводит к смещению генерации, ориентированной на ископаемое топливо, что увеличивает альтернативные издержки перехода к устойчивому энергетическому будущему.

Естественно, темпы энергетического перехода имеют огромное значение для занятости и экономических возможностей. Но по мере того, как страны становятся зрелыми на пути перехода к энергетике и интегрируют больше возобновляемых источников энергии в энергобаланс, они в то же время могут обеспечить экономический рост и переход к более устойчивой, доступной и устойчивой энергетической системе. Это путь к максимальному увеличению ценности системы.

За последние 10 лет появился типичный путь – переход от традиционной энергетической системы к системе с нулевым выбросом углерода. В работе Всемирного экономического форума, посвященной системным ценностям, были определены три ключевых этапа [1]:

1. Переменное расширение возобновляемых источников энергии, повышение эффективности и поддержка инвестиций в энергосистему и межсетевые соединения.
2. Когда переменные возобновляемые источники энергии расширяются до такой степени, что мгновенные переменные возобновляемые источники энергии часто превышают 50% потребления электроэнергии, тогда пора повышать цифровую гибкость, например, хранение, рынки дополнительных услуг, более широкая электрификация транспорта и отопления, а также оптимизация спроса.
3. Наконец, чистый нулевой энергетический баланс. Для достижения чистого нуля требуется интегрированная энергетическая система и решения помимо электрификации других секторов, таких как транспорт и отопление, такие как улавливание, использование и хранение водорода и углерода.

При энергетическом переходе существует риск того, что цены на энергоносители останутся высокими даже за пределами краткосрочных последствий пандемии.

Переход к низкоуглеродной экономике связан с важными структурными тенденциями. Спрос на возобновляемые источники энергии для производства электроэнергии и других промышленных процессов растет. Эти источники постепенно заменяют ископаемое топливо, хотя спрос на нефть все еще растет.

Текущий рост цен на энергоносители может быть связан с краткосрочными факторами, но с концептуальной точки зрения легко понять, почему переход на энергоносители также может привести к росту цен. Если бы возобновляемые источники энергии уже могли поддерживать дополнительный спрос, цены не повысились бы.

Однако, учитывая, что спрос на газ и нефть

продолжает расти, трудности со стороны предложения, как для возобновляемых, так и для традиционных источников энергии, приведут к росту цен. Маржинальные инвестиции в будущем, скорее всего, будут направлены на возобновляемые источники энергии, а не на газ и нефть. Это может привести к снижению эластичности предложения, а цены могут резко отреагировать на колебания спроса. Такая динамика должна ускорить инвестирование и использование возобновляемых источников энергии, которые станут дешевле и менее волатильными. В какой-то момент доминирование возобновляемых источников энергии станет таким, что цены на газ и нефть перестанут иметь значение. Однако, мы еще не достигли этого, поэтому энергетический переход может характеризоваться нестабильностью цен на энергоносители.

За последние 10 лет общая мощность в мире выросла, но с географической точки зрения рост ядерной энергетики, похоже, разделен на две части. С одной стороны, западный блок (с европейскими странами, Канадой, США) переживает фазу стагнации или снижения установленной мощности. С другой стороны, азиатские страны сильно растут. По состоянию на конец 2020 года 35 из 54 строящихся новых реакторов находились в Азии.

Энергетические сценарии, которые позволяют достичь климатических целей, требуют увеличения установленной мощности. МАГАТЭ разработало прогнозы, в которых оцениваются два возможных сценария для установленной ядерной мощности [21]: один определяется как «низкий», более консервативный, другой «высокий», более амбициозный. В первом случае первоначальное сокращение установленной мощности оценивается до 2040 года, после чего последует восстановление. Во втором, однако, сильный рост, на 80% больше в 2050 году, чем в 2018 году.

Чтобы поддерживать этот рост, необходимо будет инвестировать в новые заводы или модернизировать существующие. Однако, более двух третей действующих реакторов старше 30 лет, а технологии часто устарели, а некоторые

станции будут выведены из эксплуатации. Очевидно, что для компенсации этих сокращений потребуются новые инвестиции.

В настоящее время научно-исследовательские центры находятся в процессе разработки реакторов поколения IV, которые, согласно GIF (Международный форум поколения IV), могут выйти на рынок в 2030 году [20]. Они, опять же согласно форуму, являются целями по дальнейшему повышению безопасности станции и минимизации вредных воздействий радиоактивных отходов. Кроме того, некоторые из реакторов этого поколения могут работать при высоких температурах: это делает их потенциально интересными для производства водорода с нулевыми выбросами и для когенерации (выработка полезного тепла в промышленных процессах, а также электроэнергии).

Это явление, которое гораздо более остро стоит в таких странах, как страны ЕС, США и Канада, в основном связано с минимальными стандартами и требованиями безопасности, которые с годами становятся все более жесткими. Последнее, усиленные с 2000-х годов и, прежде всего, после аварии на Фукусиме в 2011 году, привели к замедлению работ на многих строящихся объектах, к увеличению их первоначальных затрат (например, за счет использования улучшенных защитных конструкций) и, следовательно, к значительному увеличению их финансовых затрат. По некоторым оценкам, с 2004 по 2011 годы инвестиционные затраты на европейские реакторы последнего поколения даже увеличились вдвое.

Экономические и социальные аспекты развития атомной энергетики в мире

Эффект «колибри» — это эффект долгосрочной стабильности, если принять во внимание срок полезного использования ядерной установки, который составляет от 40 до 70 лет, плюс предыдущие стадии проектирования и строительства, а также заключительные стадии демонтажа.

На всех этих этапах (проектирование, строительство, эксплуатация, вывод из эксплуатации) создается качественная, квалифицированная

и хорошо оплачиваемая занятость по сравнению с другими секторами. Речь идет не только о квалифицированном трудоустройстве, с 50% выпускников вузов, но и о стабильном — 80% занятости в этом секторе — на неопределенный срок.

Деятельность, необходимая для ядерной генерации (производство топлива, производство оборудования, техническое обслуживание, сборка, инспекции, управление качеством, инжиниринг), является узкоспециализированной и требует высокого уровня знаний и технологических возможностей. Это обстоятельство стимулирует сотрудничество с университетами и научно-исследовательскими центрами, которые находят в атомной сфере большие возможности для развития своей деятельности.

Ядерная промышленность имеет прямое, косвенное и индуцированное воздействие на сумму более 2700 миллионов евро, что составляет около 0,3% ВВП [16]. При этом почти 17% продукции предприятий атомной отрасли идет на экспорт.

Атомная промышленность инвестирует в НИОКР около 2% своего дохода, что вдвое больше, чем в химической промышленности, или в четыре раза больше, чем в металлургическом секторе [11].

Использование топливных ресурсов для выработки электроэнергии негативно сказывается на здоровье и окружающую среду, вызванное загрязнением воздуха в результате сжигания. Это стоимость, которую трудно измерить количественно, но она огромна из-за ее глобального и часто необратимого воздействия.

Большая часть возобновляемых источников энергии имеет переменное производство и требует внешних затрат, связанных с необходимостью избыточных мощностей установленной мощности. Это обстоятельство также требует обеспечения гибкости в поставках других источников энергии, которые должны компенсировать непредвиденные колебания.

Атомная промышленность представляет внешние издержки, связанные с управлением радиоактивными отходами и крайне маловероятными

экологическими рисками. Первые в значительной степени оцениваются и создаются в качестве резервов, поэтому их влияние в качестве внешних затрат ограничено.

Внешние затраты атомной генерации намного ниже, чем у других источников производства электроэнергии. Ядерная энергетика способствует эффективному переходу к современной и надежной энергетической системе с низким уровнем выбросов, которая обеспечивает гораздо большую устойчивость, чем другие технологии, к погодным колебаниям, геополитическому будущему и экономическим кризисам. Все это на конкурентной основе и способствует социально устойчивому и экономически справедливому развитию.

Стоимость атомной электростанции или дополнительные затраты, необходимые для ее долгосрочной эксплуатации, можно рассматривать как разумное вложение со значительными экономическими и социальными эффектами. Он способствует росту национальной, региональной и местной экономики и созданию рабочих мест, а также другой важной инфраструктуре, которая помогает повысить качество жизни общества в целом.

В настоящее время есть только два доступных источника, которые не выделяют парниковые газы при работе — это возобновляемые источники энергии и ядерная энергия [3].

Существует взаимосвязь между использованием энергии: в основном сжиганием ископаемого топлива, выбросами парниковых газов, особенно CO₂, и изменением климата, которое стало одной из основных глобальных угроз человечеству.

Таким образом, необходимость трансформации экономических и энергетических моделей была выявлена в большинстве стран мира с массовой заменой — в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе — парниковым эффектом топлива с выбросами газа из-за экологически чистых видов топлива. К их числу относится ядерная энергия, поскольку это безопасная

технология с большим опытом эксплуатации, которая при своей эксплуатации не производит выбросов CO₂ или других загрязняющих газов. Различные отчеты и исследования указывают на необходимость сохранения непрерывности мирового ядерного парка для решения этой серьезной глобальной проблемы.

Заключение

Ядерная энергия часто практически отсутствует в обсуждениях энергетических стратегий, особенно в Европе и Франции, где она по-прежнему обеспечивает почти 70% производства электроэнергии. В то время как энергетический переход требует от мировой экономики диверсификации энергетических ресурсов, чтобы постепенно отказаться от ископаемых видов топлива, необходимо поставить под сомнение роль, которую ядерная энергия может сыграть в энергетическом переходе.

Фонд стратегических исследований опубликовал интересный отчет о перспективах ядерной энергетики в мире. Он начинается с наблюдения: в ЕС ядерная энергетика отсутствует в размышлениях о европейской энергетической стратегии, а в опубликованных документах о европейском «зеленом курсе» этот вариант не упоминается, даже если Европарламент подчеркнул, что он может «внести свой вклад для достижения целей с точки зрения климата, если это энергия, которая не выделяет парниковые газы.

Парадоксальная ситуация, поскольку несколько европейских стран (включая Францию и Великобританию, а также Россию, Китай и Индию) оставляют вопрос открытым.

В настоящее время глобальный контекст ядерной энергетики неоднозначен. После периода относительной эйфории в ее разворачивании, в 1950-1970, главным образом в Европе, США и Японии, а также после катастрофы на Чернобыльской АЭС в 1986 году и в Японии в 2011 году темпы развития ядерной энергетики испытали сильный сдвиг, что снизило количество инвестиций в этот сектор во многих странах, особенно в Европе, после чего Германия решила выйти из этого сектора.

В далеком будущем «Росатомфлоту» придется отказаться от устаревших атомных ледоколов, но их место займут пять новых кораблей проекта 22220 и три «Лидера». Будет обеспечен как количественный, так и качественный рост ледокольного флота. Это решит все насущные и ожидаемые задачи по обеспечению судоходства по Северному морскому пути и ближайшим регионам в любое время года и практически без ограничений.

Экологические ассоциации осуждают эту гонку за углеводороды, которая является причиной нескольких экологических катастроф и увеличения количества атомных реакторов, плавающих в Арктике.

Атомная промышленность будущего – это сектор, который имеет преимущества: он не выделяет CO₂, он энергоемкий и его можно контролировать. Очевидно, что нельзя недооценивать риски и недостатки, безопасность реакторов, очевидно, является решающим фактором. Необходимо учитывать хранение отходов ANDRA,

эта отрасль очень капиталоемкая, а стоимость произведенных МВтч резко возрастет.

Добавим, что ядерная энергетика внесет свой вклад в энергетический переход не только путем производства электроэнергии, но и тепла путем когенерации, которая используется в химических процессах, например в производстве водорода, а также для опреснения газа, воды.

Есть много аргументов в пользу того, чтобы оставить этот вариант открытым в Европе и во Франции, так как они имеют значительные научные, технологические и промышленные достижения в этой области, которые являются преимуществом. Также стоит отметить, что непостоянные отрасли, такие как солнечная энергия, не могут производить электроэнергию при любых обстоятельствах, в отличие от гидроэнергетики и атомной энергетике, которые являются единственными неуглеродными секторами, которые могут это сделать.

Библиографический список

1. ESG-трансформация как вектор устойчивого развития: В трех томах. Т. 2. – М. : Аспект Пресс, 2022. – 650 с.
2. Адамов Е. О., Е. М. Ядерная энергетика России в концепции энергетического суверенитета // Энергетическая политика. – 2021. – 1 (155). – С. 34–47.
3. Акаев А. А., Давыдова О. И. Парижское климатическое соглашение вступает в силу. Состоится ли Великий энергетический переход? // Вестник Российской академии наук. – 2020. – Т. 90, № 10. – С. 926–938.
4. Алексеев С., Зайцев В. Торий в ядерной энергетике. – 2022.
5. Герасимов А. С., Зарицкая Т. С., Рубик А. П. Справочник по образованию нуклидов в ядерных реакторах. – М. : Энергоатомиздат, 2019. – 575 с.
6. Глебов А. П. Развитие атомной энергетике в России и мире с реакторами поколений 3+ и 4 // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2020. – № 1. – С. 77–93.
7. Жизнин С. З., Тимохов В. М. Экономические аспекты развития ядерно-водородной энергетике в мире и в России // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2020. – № 1–6. – С. 40–59.
8. Зубкова Я. Д., Климович Я. В., Березюк М. В. Экологические аспекты атомной энергетике // Система управления экологической безопасностью. – Екатеринбург, 2021. – С. 117–121.
9. Кайгородцев А. А. Проблемы и перспективы развития атомной энергетике в глобализованном мире // Научное обозрение. Экономические науки. – 2021. – № 1. – С. 20–24.
10. Калиберда И. В., Левин А. Г., Мурлис Д. В. Внешние воздействия природного происхождения на глубинные захоронения долгоживущих радиоактивных отходов // Атомная техника за рубежом. – 2018. – № 2. – С. 3–7.
11. Карпов В. А. Топливные циклы и физические особенности высокотемпературных реакторов. – М. : Энергоатомиздат, 2019. – 128 с.
12. МЭА заявило о росте рынка чистых технологий до нефтяного к 2035 году / РБК. – 2024. – URL: <https://www.rbc.ru/business/31/10/2024/672218a99a79472cc0fe87ae> (дата обр. 20.05.2025).
13. Обзор ядерных технологий – 2024: доклад Генерального директора / IEAA. – 2024. – URL: https://www.iaea.org/sites/default/files/gc/gc68-inf4_rus.pdf (дата обр. 31.05.2025).
14. Орлов М. А. Экономические преимущества пуска внутренне безопасных быстрых реакторов с замкнутым топливным циклом на обогащенном

- урне // Известия вузов. Ядерная энергетика. — 2023. — № 1. — С. 5–18.
15. *Острейковский В., Швыряев Ю.* Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ. — 2022.
16. Россия и мир: 2019. Экономика и внешняя политика. Ежегодный прогноз. — М.: ИМЭМО РАН, 2018. — 170 с.
17. *Рыкова И. Н., Лесных Ю. Г.* Обеспечение безопасности финансовой системы России в условиях трансформации энергетического рынка // Финансовый журнал. — 2013. — № 2. — С. 45–54.
18. *Сизинцева А. С.* Современные тенденции в области декарбонизации мирового хозяйства // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению. — 2023. — С. 402–405.
19. Стартап ядерной энергетики Terrestrial Energy привлёк \$280 млн для развития реакторов на расплавленных солях / IXBT. — 2025. — URL: <https://www.ixbt.com/news/2025/03/28/terrestrial-energy-280.html> (дата обр. 31.05.2025).
20. Усовершенствованные реакторы как путь к достижению целей в области борьбы с изменением климата в ядерной энергетике / Атомная энергия 2.0. — 2021. — URL: <https://www.atomic-energy.ru/articles/2021/04/08/113108> (дата обр. 20.05.2025).
21. *Халова Г., Арсланов М.* Перспективы и вызовы атомной энергетики в Центральной Азии: пер. Energy Policy. — 2025.
22. *Хворостяников С. С.* Ядерная энергетика и устойчивое развитие в условиях неопределённости // Вестник МНЭПУ. — 2019. — С. 166–168.
23. *A. B.* How much can nuclear energy do about global warming? // International Journal of Global Energy Issues. — 2017. — Vol. 40, no. 1/2. — P. 43–78.
24. *Balcerzak A. P.* Towards cleaner energy transition: Small modular reactors as a feasible revolutionary step in the economics of nuclear energy // Equilibrium. Quarterly Journal of Economics and Economic Policy. — 2025. — Vol. 20, no. 1. — P. 35–47.
25. *Lowe I., Brook B.* Why vs Why Nuclear Power. — 2010.
26. *Ramana M. V.* The power of promise: Examining nuclear energy in India. — Penguin UK, 2012.
27. *Rothwell G.* Economics of nuclear power. — Routledge, 2018.