

Арктика и Север. 2022. № 49. С. 23–37.
Научная статья
УДК [338.22+620.9](985)(045)
doi: 10.37482/issn2221-2698.2022.49.23

Стратегические тренды энергетического развития северных территорий России

Вопиловский Сергей Симонович ^{1✉}, кандидат экономических наук, доцент, старший научный сотрудник

¹ Институт экономических проблем им. Г.П. Лузина — обособленное подразделение ФГБУН Федерального исследовательского центра КНЦ РАН, ул. Ферсмана, 24а, Апатиты, 184209, Россия

¹ simonovich.63@yandex.ru ✉, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2873-1425>

Аннотация. Динамичное развитие энергетического рынка является источником процессов диверсификации энергетики России. В исследовании представлены ключевые направления в развитии российской энергетики с учётом новых тенденций и вызовов. Арктическая зона Российской Федерации потенциально становится драйвером роста энергетического рынка и открывает «новые окна» экономического развития страны. Определено, что меняется структура потребления, использования ресурсов, генерация и передача электроэнергии. Долгосрочные тренды энергетического перехода демонстрируют изменение энергетического баланса в пользу чистых источников энергии: энергия ветра, солнечная энергия, ядерная, геотермальная, гидроэнергетика, водород и биоэнергетика. Развитие водородной энергетики, в том числе в северных территориях России, создаёт надёжный задел интеграции в мировую водородную инфраструктуру. Представлено изменение энергетического баланса в пользу возобновляемых источников энергии. По данным Международного энергетического агентства (МЭА), к 2026 г. на ВИЭ будет приходиться до 95% прироста новых энергетических мощностей. Глобальная климатическая повестка — отказ от ископаемого топлива — создаёт новые вызовы для экономики России и развития её арктических инвестиционных проектов. Установлено, что текущая ситуация в условиях глобальных технологических прорывов и климатических преобразований формирует переход от вертикальной интеграции к распределённой генерации и децентрализации. Целью исследования является анализ современных направлений развития энергетического рынка, по результатам которого надлежит скорректировать подходы российской энергетики к будущему развитию, максимально используя возможности северных территорий России.

Ключевые слова: экономика, энергетика, Арктическая зона России, возобновляемые источники энергии, атомная энергетика, водородная энергетика, научно-технический прогресс, генерация

Strategic Trends in Energy Development of the Northern Territories of Russia

Sergey S. Vopilovskiy ^{1✉}, Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Senior Researcher

¹ Luzin Institute for Economic Studies — Subdivision of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences”, ul. Fersmana, 24a, Apatity, 184209, Russia

¹ simonovich.63@yandex.ru ✉, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2873-1425>

Abstract. The dynamic development of the energy market is the source of Russia’s energy diversification processes. The study presents key areas in the development of the Russian energy sector, taking into account new trends and challenges. The Arctic zone of the Russian Federation is potentially becoming a growth driver for the energy market and opens up “new windows” for the country’s economic develop-

* © Вопиловский С.С. 2022

Для цитирования: Вопиловский С.С. Стратегические тренды энергетического развития северных территорий России // Арктика и Север. 2022. № 49. С. 23–37. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2022.49.23

For citation: Vopilovskiy S.S. Strategic Trends in Energy Development of the Northern Territories of Russia. *Arktika i Sever* [Arctic and North], 2022, no. 49, pp. 23–37. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2022.49.23

ment. It is determined that the structure of consumption, use of resources, generation and transmission of electricity is changing. Long-term trends in the energy transition demonstrate a change in the energy balance in favor of clean energy sources: wind, solar, nuclear, geothermal, hydropower, hydrogen, and bioenergy. The development of hydrogen energy, including in the northern territories of Russia, creates a reliable basis for integration into the global hydrogen infrastructure. The change in the energy balance in favor of renewable energy sources (RES) is presented. According to the International Energy Agency (IEA), RES will account for up to 95% of new energy capacity additions by 2026. The global climate agenda — the rejection of fossil fuels — creates new challenges for the Russian economy and the development of its Arctic investment projects. It has been established that the current situation in the context of global technological breakthroughs and climate change is shaping the transition from vertical integration to distributed generation and decentralization. The purpose of the study is to analyze current trends in the development of the energy market, based on the results of which it is necessary to adjust the approaches of the Russian energy sector to future development, making maximum use of the opportunities of the northern territories of Russia.

Keywords: *economics, energy, Russian Arctic zone, renewable energy source, nuclear energy, hydrogen energy, scientific and technological progress, generation*

Введение

Современные тенденции формирования энергетического рынка, научно-технический прогресс и политико-экономические отношения определяют многовекторные тренды прогрессивного, устойчивого развития энергетики Севера и российской энергетики в целом. Действующая широкомасштабная энергетическая система, обеспечивающая надёжность и качество электроснабжения экономики страны и бытовых потребителей, является экономически обоснованной и технически эффективной. Тем не менее, современные экономические стимулы предписывают профессиональному сообществу энергетиков, при консолидации научных кадров отрасли, необходимость максимального сокращения сроков окупаемости инвестиций. Экономические интересы, появление новых технологий, новых способов генерации — солнечная, ветровая, модульная газовая с высоким коэффициентом использования установленной мощности (КИУМ), способных по этим параметрам конкурировать с мощными электростанциями — определяют вектор развития распределённой генерации.

Принятие управленческих решений по дальнейшему развитию энергетики во многом опирается на один из фундаментальных факторов — повышение энергоэффективности. В свою очередь, повышение энергоэффективности вызывает дополнительные противоречия: с одной стороны, внедряются новые энергоэффективные технологии и экономятся затраты на энергоресурсы; с другой, с повышением социально-экономического уровня общества растёт энергопотребление, что является нивелирующим фактором. Следовательно, возникает множество вопросов, направлений — как должна развиваться энергетика страны и какова роль государства в её обновлении?

Энергетическое сообщество России выбирает эволюционный путь развития, присущий институциональному, стабильному государству, опирающемуся на фундамент построенной и надёжно работающей энергетической системы (ЭС). Действующее законодательство в области энергетики является необходимым и достаточным для её дальнейшего развития, своевременно обновляется с появлением новых трендов, в том числе, навязанных извне. Россия планомерно и взвешенно осуществляет выполнение регламентирующих документов,

в основе которых: «Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года»¹, «Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации»², комплексная программа «Развитие техники, технологий и научных исследований в области использования атомной энергии в РФ на период до 2024 года» в рамках 14-го национального проекта по развитию атомной науки и технологий³, №296-ФЗ от 02.07.2021 г. «Об ограничении выбросов парниковых газов»⁴, распоряжение №2634-р об утверждении плана мероприятий под названием «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года»⁵, «Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года»⁶ и др.

Приоритетные направления модификации энергетики

Географическое положение России указывает на сложные климатические условия, когда чрезвычайно важна надёжность энергетики. Министерство энергетики РФ⁷, взаимодействуя с отраслевыми компаниями, имеет соответствующие компетенции для обеспечения надёжности. В частности, инновационное развитие, моделирование энергосистем в реальном масштабе времени, система новой диагностики, формирование алгоритмов действий и профилактики воздействия погодных и других условий позволяют обеспечить заданную надёжность. Цифровизация процессов в отрасли позволяет эффективно вести мониторинг состояния сетей, оборудования и своевременно реагировать на возникающие технологические нарушения.

Особенно остро вопрос качественного и надёжного энергоснабжения звучит в изолированных и труднодоступных районах Крайнего Севера (рис. 1). На текущем этапе ситуация решается на государственном уровне, от «северного завоза» по Северному Морскому пути (СМП) [1] до установки малых модульных реакторов (Small Modular Reactors — SMRs) мощностью до 300 МВт на блок. SMRs — одна из самых перспективных новейших ядерных энергетических технологий. Первая в мире российская плавучая атомная теплоэлектростанция (ПАТЭС) «Академик Ломоносов» введена в эксплуатацию в мае 2020 года в северном морском порту Певек, вырабатывает энергию от двух реакторов ММР мощностью 35 МВт каждый.

¹ Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. URL: <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4lgsApssm6mZRb7wx.pdf> (дата обращения: 11.04.2022).

² Указ Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642 «О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71451998/> (дата обращения: 11.04.2022).

³ Правительство утвердило 14-й национальный проект по развитию атомной науки и технологий. URL: <https://strana-rosatom.ru/2021/02/08/31102/> (дата обращения: 11.04.2022).

⁴ Федеральный закон от 02.07.2021 г. № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/47013> (дата обращения: 11.04.2022).

⁵ План мероприятий «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года». URL: <http://static.government.ru/media/files/7b9bstNfV640nCkkAzCRJ9N8k7uhW8mY.pdf> (дата обращения: 11.04.2022).

⁶ Указ Президента РФ от 26 октября 2020 г. № 645 "О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года". URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74710556/> (дата обращения: 11.04.2022).

⁷ Министерство энергетики Российской Федерации. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/234> (дата обращения: 11.04.2022).

С применением новейших технологий обозначился устойчивый тренд постепенного перехода от централизованной энергетики к расширению использования распределённой генерации, которая создана и находится непосредственно у потребителя. Сложилась устойчивая ситуация, когда домохозяйства, малый, средний и крупный бизнес могут иметь собственные источники генерации и не подключаются к централизованной электрической сети или же подключаются к ней с целью выдачи избытков энергии в общую сеть, а также для обеспечения гарантированного и качественного основного / резервного источника питания.

На текущем этапе в малых и средних городах России существующие системы центрального теплоснабжения, построенные на основе котельных и тепловых сетей, теряют свою значимость. Отмеченное явление имеет множество факторов, один из них — тарифное регулирование цен на тепловую энергию со стороны муниципальных образований. Средние и малые теплоэлектростанции, индивидуальные котельные получили экономическое преимущество, т. к. эти энергообъекты проще вывести из-под контроля регулятора. Следовательно, перспективы развития когенерации в большей степени связаны со строительством средних и малых тепловых электростанций: в районах Крайнего Севера это специфически принципиально.

Для Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) перспективным решением может считаться применение автономных гибридных энергоисточников (АГЭ) — сочетание современного дизеля, возобновляемого источника энергии — ветроэлектростанции (ВЭС) или солнечной электростанции (СЭС) и накопителя электроэнергии, управляемых единой автоматизированной системой управления (ЕАСУ). ЕАСУ максимально снижает расход органического топлива и максимально формирует выработку электроэнергии от возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [2].

В Арктическом порту Тикси (Республика Саха, Якутия) в декабре 2020 г. введён в эксплуатацию объект новой гибридной генерации: ветродизельный комплекс (ВДК) мощностью 900 кВт; дизельная электростанция мощностью 3000 кВт; система аккумулирования энергии мощностью 1000 кВт. Элементы ВДК объединены автоматизированной системой управления (АСУ) производством и распределения электроэнергии. Данный объект гибридной генерации способен вырабатывать более 12 млн кВт/ч электроэнергии, тем самым обеспечивая надёжное и качественное электроснабжение потребителей. Применение наилучших современных технологий в создании новой генерации позволяет снизить расход топлива до 500 т в год и создаёт возможность получить положительный экономический и экологический эффект. В планах ПАО «РусГидро» построить такие энергокомплексы в населённых пунктах Якутии (Верхоянск, Мома, Сасыр, Тебюлях, Табалах, Кулун-Елбют), входящих в АЗРФ. Применение автономных гибридных источников, новых технологий, используемых в энергетике, в перспективе приведёт к снижению роста тарифов и создаст условия более эффективного и надёжного электроснабжения.

Японская компания Mitsubishi Power работает над созданием гибридной системы твёрдооксидных топливных элементов (ТОТЭ) с микрогазовой турбиной в составе. Название новой технологии — Hybrid Sistem jf Solid Oxide Fuel Cells (SOFC) and Micro Gas Turbines (MGT). ТОТЭ — многотопливный реактор, работающий с различными видами топлива (биогаз, водород, природный газ), вырабатывает энергию и тепло с высоким КПД и используется децентрализованно и независимо от действующей местной энергосети. Внедрение данной технологии планируется в Германии в 2022 г. ТОТЭ — один из элементов образования децентрализованной и диверсифицируемой энергетики. *Методы применения технологии использования многотопливного реактора (природный газ, водород) в перспективе могут найти применение в районах Крайнего Севера, где ведётся добыча и производство традиционных источников энергии.*

Особое внимание в данном контексте уделяется мировым процессам по разработке малых модульных реакторов (Small Modular Reactors — SMRs) мощностью до 300 МВт на блок. SMRs — одна из самых перспективных новейших ядерных энергетических технологий. Конструктивное преимущество SMRs в том, что она модульная и малая, как следствие, её конструкция проще и в большей степени полагается на встроенные и пассивные элементы безопасности, что потребует более низких затрат и обеспечит гибкость для местных сетей и интеграцию с ВИЭ и неэлектрическими приложениями, такими как производство водорода и опреснение воды.

Мировое профессиональное сообщество энергетиков и ведущие физики-ядерщики считают, что без ядерной энергии современная цивилизация жить и развиваться не может. Это обусловлено тем, что население планеты растёт, повышаются запросы потребителей и увеличиваются запросы на энергетические мощности. *Прогноз мирового потребления энергии до 2100 г. показывает средний рост в 1,5 раза [3] (табл. 1). В связи с тем, что Арктическая зона Российской Федерации имеет возможность стать драйвером развития энергетического рынка, потенциально, рост потребления электроэнергии только в АЗРФ может составить до 50%. Средний рост ожидается в 1,5–2 раза [3] (табл. 1).*

Таблица 1

Прогноз потребления энергии на 2020–2100 гг.⁸

Годы	ТВтч
2020	166926
2050	226792
2100	228501

Для расширения научно-технического прогресса, получения значительных благ для общества требуется внушительное потребление энергии. Экономический коэффициент EROI — соотношение полученной энергии к затраченной — определяет её энергетическую рентабельность. Данный коэффициент должен быть больше 1 (единицы), что определяет значи-

⁸ Источник: [3].

тельную доступность благ обществу. Ассоциация учёных определила надлежащий EROI для различных видов деятельности современного общества [4]. В развитых странах для поддержания качества жизни EROI должен быть не менее 20 единиц, а для прорывного научно-технического прогресса требуется источник энергии с EROI более 25 единиц. Минимальное значение EROI составляет 8 единиц — элементарное существование, без попыток НТП, совершенствования и др. В исследованиях европейских учёных выражены значения EROI, которыми обладают современные и перспективные источники энергии. В табл. 2 представлены значения EROI источника энергии с учётом его генерации.

Таблица 2

*EROI современных источников энергии*⁹

№	Вид деятельности	EROI (единиц)
1	Атомные электростанции (АЭС)	75
2	Гидроэлектростанции (ГЭС)	35
3	Угольные теплоэлектроцентрали (УТЭЦ)	30
4	Газовые теплоэлектроцентрали (ГТЭЦ)	28
5	Ветровые энергоустановки (ВЭУ)	3,9
6	Солнечные энергетические системы (СЭС)	1,6

Анализируя события предыдущих нескольких лет и сложившиеся новейшие тенденции в электроэнергетике, можно с уверенностью заявить, что развитие «мирного атома», придание атомной энергетике статуса источника чистой энергии — это правомерный, безошибочный вектор развития энергетики России и мира в целом. По результатам исследования научного центра Joint Research Centre (JRC) по вопросам использования атомной энергии и полного цикла её экологичности был представлен Отчёт JRC «Наука для политики»¹⁰ с доказательствами экологичности АЭС. Экологичность видов энергии в нём ранжируется следующим образом: 1 — ветер; 2 — гидро; 3 — ядерная; 4 — солнечная; 5 — газ; 6 — нефть; 7 — уголь; 8 — бурый уголь. Данный Отчёт стал веским основанием в решении Еврокомиссии классифицировать газ и атомную энергетику как чистые источники энергии. Газовые электростанции, в соответствии с Таксономией (документ устойчивого развития экономики Евросоюза до 2050 года), должны заменить объекты использующие уголь, нефть и другое тяжёлое ископаемое топливо, и обеспечить содержание выбросов не более 270 г CO₂ на кВт/ч. Атомные станции получили разрешение на строительство до 2024 г., с учётом того, что будут использовать «наилучшие существующие технологии» и соответствовать высоким стандартам безопасности, которые сведут к минимуму количество радиоактивных отходов.

Заккрытие угольных ТЭЦ, истощение газовых месторождений в Европе отрицательно влияют на ускорение процесса по дальнейшему активному продвижению возобновляемой

⁹ Источник: [5].

¹⁰ JRC science for policy report. Technical assessment of nuclear energy with respect to the 'do no significant harm' criteria of Regulation (EU) 2020/852 ('Taxonomy Regulation'). Petten: European Commission, 2021. P. 387. URL: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/business_economy_euro/banking_and_finance/documents/210329-jrc-report-nuclear-energy-assessment_en.pdf (дата обращения: 11.04.2022).

энергетики ввиду низкого коэффициента использования установленной мощности (КИУМ). К примеру, установленная мощность электростанций ЕЭС России на 01.01.2022 г. составила 246 590,9 МВт, что на 1 277,65 МВт (+0,52%) больше, чем в 2021 г. В табл. 3 приведены данные, характеризующие использование установленной мощности электростанций ЕЭС России в разрезе ОЭС без учёта электростанций промышленных предприятий ¹¹.

Таблица 3

*Коэффициент использования установленной мощности электростанций
ЕЭС России в ОЭС в 2020, 2021 гг. (%) ¹²*

Электростанции	2020 г.	2021 г.	Отклонение
ТЭЦ	41,34	46,05	+ 10,23
ГЭС	47,33	47,89	+ 1,17
АЭС	81,47	83,98	+ 2,99
ВЭС	27,47	28,31	+ 2,97
СЭС	15,08	14,4	- 4,72

По результатам анализа данных Отчёта установлено, что число часов использования установленной мощности электростанций по ЕЭС России в 2021 г. составило 4 514 часов (51,53%) календарного времени (коэффициент использования установленной мощности), в том числе: атомные электростанции — 7 349 час. (83,89% календарного времени); гидроэлектростанции — 4 195 час. (47,89% к.в.); тепловые электростанции — 4 034 час. (46,05% к.в.); ветровые электростанции — 2 480 час. (28,31% к.в.); солнечные электростанции — 1 261 час. (14,4% к.в.). В 2020 г. данный коэффициент составлял 4 238 часов (48,25%), рост КИУМ в 2021 г. составил 276 часов (+3,28%).

Очередным вектором развития энергетики является использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ)[6]. Для достижения углеродной нейтральности многие страны заявили о широкомасштабном переходе к «зелёной энергетике» с выходом на более высокую ступень в производстве декарбонизированной энергии [7, 8, 9]. Целью перехода на альтернативные источники энергии являются декарбонизация экономики и предельно возможное снижение выбросов CO₂ в ходе генерации энергии и во всех сферах экономической деятельности [10, 11, 12]. В этой связи возобновляемая энергетика широко и стремительно масштабируется, объёмная часть приращения новых мощностей солнечной и ветровой генерации приходится на Китай, Европейский Союз, США и Индию. Наряду с этим они же самые крупные экономики мира, производители товаров, работ и услуг, следовательно, потребители энергии. По данным Международного энергетического агентства (МЭА), к 2026 г. на ВИЭ будет приходиться до 95% прироста новых энергетических мощностей. По итогам 2021 г., солнечная энергетика является локомотивом сектора возобновляемой энергетики: прирост мощностей увеличился на 17% (до 160 ГВт), за ней следуют ветровая и гидроэнергетика. По прогнозам МЭА, к 2026 г. глобальные мощности ВИЭ вырастут на 60%, по сравнению с 2020

¹¹ Отчёт о функционировании ЕЭС России в 2021 году. URL: https://www.sups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2022/ups_rep2021.pdf (дата обращения: 11.04.2022).

¹² Там же.

г., и составят более 4800 ГВт. Ожидается, что Китай на следующие пять лет (2021–2026 гг.) останется лидером по объёму прироста ВИЭ и к 2026 г. достигнет мощностей 1200 ГВт солнечной и ветровой энергии. Индия планирует к 2030 г. достичь 500 ГВт установленных мощностей возобновляемой энергии (МВЭ). По планам ЕС и США так же ускорить развитие ВМЭ. На текущем этапе на эти четыре рынка приходится 80% мирового роста возобновляемых мощностей энергии¹³.

В России темпы роста возобновляемой энергии выглядят намного скромнее, по итогам 2021 г. доля возобновляемых источников энергии составила 0,5% в производстве энергии [13]. Распределение годового объёма производства электроэнергии по типам электростанций в ЕЭС России в 2021 г. составило: ВЭС — 3 621,7 млн кВт*ч (+161,7% от 2020 г.), СЭС — 2 253,8 млн кВт*ч (+13,7% от 2020 г.)¹⁴. По Северо-Западу выработка электроэнергии в ОЭС по типам электростанций составила: ТЭС — 53,4%; ВЭС, ГЭС, СЭС — 11,8; АЭС — 34,9. Тем не менее, в Мурманской области не введена в работу Кольская ВЭС мощностью 200,97 МВт, строительство осуществляет «Энел Россия» — подконтрольная итальянской Enel. Мурманский ветропарк «Октагон. Северо-Запад» Кольской ВЭС должен был осуществить поставку мощности на рынок в декабре 2021 г., но из-за «наступления обстоятельств непреодолимой силы» (форс-мажор) сроки были сдвинуты на 2022 г., а при сложившихся новых обстоятельствах перенесены на более поздний срок¹⁵.

Потребление энергии в мире неуклонно растёт, как было сказано выше, в частности, в России электропотребление выросло на 6% в 2021 г. относительно 2020 г., и на 2,6% в 2020 г. от 2019 г.; выработка электроэнергии выросла на 6,6% в 2021 г. Потенциально конечным продуктом энергетического рынка в будущем может стать электричество с долей потребления более 50%. В табл. 4 представлены перспективы мировых энергетических переходов, траектория 1,5° С¹⁶.

Таблица 4

Прогноз конечного потребления электричества до 2050 г.¹⁷

Источники энергии	Баланс конечного потребления в мире, 2018 г. (%)	Прогноз конечного потребления к 2050 г. (%) (по сценарию сдерживания потепления 1,5° С)
Нефть	37	4
Электричество	21	51

¹³ Отчёт Международного Энергетического Агентства за 2021 год и планы ВИЭ на 5 лет. URL: <https://zen.yandex.ru/media/solarnews/otchet-mejdunarojnogo-energeticheskogo-agenstva-za-2021-god-i-plany-vie-na-5-let-61b21e4ddc065960a505f342> (дата обращения: 11.04.2022).

¹⁴ Отчёт о функционировании ЕЭС России в 2021 году. URL: https://www.sups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2022/ups_rep2021.pdf (дата обращения: 11.04.2022).

¹⁵ Enel готовится к выходу. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5270154> (дата обращения: 11.04.2022).

¹⁶ World Energy transitions outlook, 1,5° С pathway. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/March/IRENA_World_Energy_Transitions_Outlook_2021.pdf (дата обращения: 11.04.2022).

¹⁷ Там же.

Газ	16	4
Уголь	11	2
Традиционная биомасса (биогаз, жмых и др.)	8	-
Новая биомасса (дерево, торф и др.)	3	18
Теплогенерация	3	5
Другие ВИЭ	0,5	4
Водород	-	12

Параллельно с изменениями в производстве электроэнергии трансформируется промышленность, для которой основой станет водород [14]. Как следствие, использование ВИЭ для производства «зелёного» водорода растёт. Согласно оценкам МЭА, мощность электролизеров вырастет с 0,3 ГВт в 2020 г. до 17ГВт к 2026 г. Для климатически нейтрального Евросоюза Еврокомиссия в июле 2020 года приняла водородную стратегию до 2050 г., которая предусматривает строительство электролизных мощностей на базе ВИЭ с инвестициями в €470 млрд, а также строительство новых ВЭС и СЭС с инвестициями в €340 млрд. В планах ведущих транспортных операторов модернизировать существующую инфраструктуру транспорта газа и сформировать к 2030 г. систему из 6 800 км газопроводов, которая соединит «водородные долины» — кластеры потребления H₂, а к 2040 г. увеличить систему транспортировки до 23 000 км.

В соответствии с планами энергетической стратегии развития России проводится масштабная работа по модификации энергетического комплекса страны и внедрению новых технологий в энергетике, транспорте и промышленности, которые связаны с производством декарбонизированной энергии, основой которых являются № 296-ФЗ от 02.07.2021 г. «Об ограничении выбросов парниковых газов», распоряжение № 2634-р об утверждении плана мероприятий «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года» и др. Наша страна имеет все возможности стать надёжным поставщиком водорода для внутреннего рынка, а также экспортёром водорода с интеграцией в водородную инфраструктуру Европы. ПАО «Газпром» на текущем этапе, используя свою газопроводную сеть, способно перемещать в европейском направлении от 20 до 70% водорода, с запуском «Северного потока-2» увеличить поставки. На Кольской АЭС в Мурманской области создаётся стендовый испытательный комплекс (СИК) по производству водорода.

В Российской Федерации избран верный курс государственного и корпоративного управления, а инвестиции в развитие ядерной энергетики, ядро которых составили углеводородные ресурсы страны, позволили отработать новые технологии, создать новый дизайн реакторов поколения 3 и 3+, довести ядерные технологии до предела технического развития человечества. Реакторы поколения 3+ значатся наиболее высокосоввершенными с точки зрения безопасности в эксплуатации.

Госкорпорация «Росатом»¹⁸ обладает уникальными компетенциями и является единственной Компанией в мире, способной обеспечить полный цикл строительства, снабжения

¹⁸ Госкорпорация «Росатом». URL: <https://www.rosatom.ru> (дата обращения: 11.04.2022).

и утилизации облучённого ядерного топлива (ОЯТ) и АЭС. Активные и успешные исследования российских учёных говорят о наличии технологий и компетенций для начала уникального эксперимента — замыкания ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ), это грядущая ступень развития ядерной энергетики, реализация которой позволит решить проблему отработанных ядерных отходов: «отходы» будут преобразованы в новое топливо и вновь использованы на АЭС. В итоге при многократном использовании радиоактивные актиноиды выжигаются.

Приоритетное значение в расширении отечественной безуглеродной энергетики сконцентрировано на развитии ядерных технологий. Реализуемый ГК «Росатом» проект «Прорыв» направлен на создание ядерно-энергетических комплексов, совершенствующих крупномасштабную ядерную энергетику, отвечающих базовым требованиям [15]. Запущенный модернизированный термоядерный реактор ТОКАМАК Т-15МД — уникальная по ряду физических характеристик установка для проведения термоядерных процессов, она представляет большой интерес в научном и энергетическом плане.

Обладая «наилучшими существующими технологиями», соответствующими высоким стандартам безопасности, ГК «Росатом» предполагает в ближайшее время инициировать строительство более 50 ядерных реакторов в 19 странах мира. В перспективе (до 2030 г.) создать более 80 объектов.

В настоящее время в России работают 11 АЭС, в эксплуатации находятся 37 энергоблоков. Суммарная установленная мощность всех энергоблоков превышает 29,5 ГВт, доля атомной энергии составляет около 20% от всего объёма выработки электроэнергии. В перспективе увеличение доли атомной генерации в стране до 25%, при этом реакторы (в том числе со спектральным регулированием) будут более безопасными, совершенными и эффективными.

Для устойчивого развития Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) реализуются проекты по применению автономной энергетики, изолированной от единой энергосистемы России [16].

В морской арктический порт Певек в 2020 г. для обеспечения удалённых территорий электроэнергией и теплом доставлен плавучий энергоблок (ПЭБ) «Академик Ломоносов». Плавучая атомная теплоэлектростанция (ПАТЭС) — это новый класс мобильных источников энергии на базе современных российских атомных технологий, её запуск стал реальным прорывом в генерации электроэнергии и тепла. ПЭБ оснащён двумя реакторными установками КЛТ-40 (водо-водяной ядерный реактор). Важно, что главным конструктором, изготовителем и поставщиком современного технологического оборудования является АО «Опытное Конструкторское Бюро Машиностроения имени И.И. Африкантова», г. Нижний Новгород, предприятие Госкорпорации «Росатом».

Правительство Республики Саха (Якутия) и ГК «Росатом» в декабре 2020 г. заключили соглашение, закрепляющее тарифообразование на электрическую энергию по реализации проекта создания атомной станции малой мощности (АСММ). АСММ станет первым проек-

том в мире по использованию атомной энергетики и сохранению экологии Арктики. Данный проект может стать «пилотным» для нашей страны и позволит ей отработать новые технологии обеспечения энергией при создании изолированных энергосистем, активно развивать не только отдалённые районы, но и в целом позволит создавать новые градообразующие предприятия народного хозяйства в труднодоступных районах нашей страны.

Применение малых модульных реакторов (ММР) для поселений в условиях Крайнего Севера может иметь ряд преимуществ:

- a) компактность: данные ядерные установки состоят из отдельных модулей, занимают меньшую площадь — размеры перспективного отечественного реактора РИТМ-400 составляют 8,2*9*17 м, конструктивные особенности позволяют устанавливать их на суше и морских судах;
- b) транспортабельность: реакторы могут быть собраны на заводе-изготовителе и затем перевезены и установлены на месте;
- c) производительность: способность наращивать мощность в зависимости от потребления энергии, в конкретном регионе можно установить 1, 2 и более блоков ММР;
- d) серийность: снижает стоимость ММР и делает их доступными для потребителей [17].

Обеспечение населения и производственных мощностей Крайнего Севера гарантированным энергоснабжением создаёт благоприятный климат социально-экономического развития, экологической безопасности.

Очередным перспективным направлением научно-технического развития атомной отрасли является водородная энергетика на базе атомных станций страны. Используемые ГК «Росатом» технологии в среднесрочной перспективе могут обеспечить производство водорода в промышленных объёмах при соблюдении экологических норм, а также с высококонкурентными параметрами стоимости.

Пилотной площадкой для создания стендового испытательного комплекса (СИК) по производству водорода и обращения с ним выбрана Кольская АЭС (рис. 2). Экспертами в области атомной энергии прорабатываются варианты использования избытков электроэнергии с АЭС с целью производства водорода и использования его для заправки поездов, легковых автомобилей и других транспортных средств на водородных топливных элементах¹⁹. Кольская энергосистема является энергоизбыточной, что и определило выбор Кольской АЭС в качестве СИК, а наличие всей необходимой инфраструктуры, опыта по производству водорода для собственных нужд и низкую стоимость энергии создало благоприятные экономические предпосылки. Планируется создать систему обращения с водородом в промышленных масштабах — получение, сжатие / сжижение и транспортировка, и ввести в работу в 2023 г. ком-

¹⁹ На Кольской АЭС начнут производить водород в 2023 году. URL: https://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/sayt-kolskoy-aes/press-tsentr/novosti/38627/ (дата обращения: 11.04.2022).

плекс с электролизными установками мощностью 1 МВт, а в дальнейшем увеличить мощность и производительность СИК до 10 МВт. По результатам эффективности работы комплекса данная технология может получить масштабное расширение по всей России. В планах ГК «Росатом» в 2028 г. начать строительство второй Кольской АЭС — «Кола-2», два новых реактора будут типа ВВЭР мощностью 600 МВт. Сейчас проект находится на этапе подготовки и разработки, выбрана площадка для строительства и проведены изыскания, площадка расположена в нескольких километрах от действующей Кольской АЭС.

По прогнозам экспертов Минэнерго, в случае благоприятного сценария, Россия через три года может экспортировать до 1 млн тонн водорода, а к 2050 г. объёмы могут вырасти в тридцать раз и приносить значительный доход [18]. Наиболее перспективными считаются рынки Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) и Евросоюза. Для обеспечения зарубежных потребителей разрабатывается эффективная модель транспортировки водорода на средние и дальние расстояния с помощью морских судов и эффективной модульной установки сжижения водорода. Особо разрабатывается проект по созданию основанной на жидком органическом носителе системы аккумулирования водорода, его хранения и транспортировки морскими транспортом ледового класса по Северному морскому пути (СМП) в АТР. В итоге водородная энергетика страны как отдельный сегмент топливно-энергетического комплекса (ТЭК) может сформироваться к 2025 г. и потребует инвестиций в размере от 2,2 до 4,0 млрд долларов США в год.

Заключение

Сценарий развития энергетики XXI в., когда прогнозировалось освоение человечеством управляемого термоядерного синтеза и начало перехода на термоядерную энергетику — мощный и чистый источник энергии, на практике оказался не по силам. Масштабное расширение ветро- и солнечной энергетики, вхождение в эту область водородной энергетики, как в виде генерации с помощью топливных элементов, так и непосредственное использование водорода в виде сгораемого топлива, а в будущем применение термоядерной энергетики (ТЯЭС) приводит к процессам диверсификации мировой энергетики.

Применение новейших прорывных технологий и климатические изменения обуславливают структурное преобразование рынка. Энергия превращается из товара в услугу, а современные направления создают переход от вертикальной интеграции к распределённой генерации и децентрализации. В настоящее время потребители готовы стать участниками рынка по всей цепочке: способны управлять своим спросом в зависимости от сигналов рынка; могут превратиться в просьюмеров, т. е. потребителей энергии в одни часы и её производителей в другие, обладая собственной генерацией и инструментами для выдачи избытков энергии в общую сеть. Новый, активный потребитель, возможно, косвенно и в небольшой степени, но участвует в управлении энергосистемой и поддержании в ней баланса мощности, он готовится обходиться без централизованного энергоснабжения.

Большое значение имеет увеличение электропотребления, которое, в свою очередь, влечёт за собой рост выработки электроэнергии. Генерирующие компании обеспечивают надёжное, качественное и бесперебойное снабжение потребителей. Одноставочная цена электроэнергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности (ОРЭМ) изменялась в 2021 г. темпами ниже инфляции: рост оптовой цены составил 5,3% при прогнозной инфляции в 8%. К примеру, в России одноставочная оптовая цена электроэнергии в 2021 г. составила около 30 евро/МВтч.; во Франции — 443 евро/МВтч, в Германии — 432 евро/МВтч, в Австрии и Бельгии — выше 430 евро/МВтч., стоимость оптовых поставок электроэнергии в Прибалтике и Финляндии в разные периоды достигала 1 000 евро за МВт. При сложившихся новых вызовах российский оптовый рынок остаётся одним из самых низковолатильных, а конкурентные сегменты энергетического рынка определённо страхуют потребителей от резких скачков цен на электроэнергию.

Мировая климатическая повестка создаёт острые вопросы для экономики России. Отказ от ископаемого топлива, развитие ВИЭ и другие вызовы уже в среднесрочной перспективе создадут дополнительные риски сокращения спроса на углеводороды. Для справки, в рамках пятого пакета санкций против России ввели эмбарго на импорт угля из РФ, запретили судам под российским флагом заходить в порты европейских стран. В Отчёте Всемирного ветроэнергетического совета (GWEC) представлен прогноз, что в период 2020–2026 гг. в мире построят ещё 557 ГВт ветровых электростанций, т. е. в год будет производиться в среднем более 110 ГВт.

Ключевым трендом энергетического перехода становится развитие водородной энергетики, и в среднесрочной перспективе водородные технологии будут развиваться ускоренными темпами. Россия имеет значительный потенциал стать, чтобы экспортёром водорода и интегрироваться в мировую водородную инфраструктуру. Внедрение водорода совместно с ядерной, солнечной, ветровой и гидроэнергетикой создаст предпосылки к переходу на новый энергетический уклад.

В Арктической зоне РФ успешно и планомерно осуществляются инновационные энергетические проекты в рамках повышения экономики страны. Применение новейших ядерных энергетических технологий, установка малых модульных реакторов (Small Modular Reactors — SMRs) в районах Крайнего Севера способствует социально-экономическому развитию этих территорий, является важным этапом использования «мирного атома» и научных исследований. Распределённая генерация создаёт дополнительные стимулы повышения эффективности бизнес-процессов в северных территориях страны. Применение экологичных видов энергии является приоритетом всей деятельности в Арктической зоне Российской Федерации.

Список источников

1. Вопиловский С.С. Зарубежные экономические партнёры России в арктической зоне // Арктика и Север. 2022. № 46. С. 33–50. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2022.46.33

2. Basu S., John A., Akshay, Kumar A. Design and feasibility analysis of hydrogen based hybrid energy system: A case study // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2021. Vol. 46. Iss. 70. Pp. 34574–34586. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.08.036
3. Дегтярев К.С. Динамика мирового энергопотребления в XX–XXI вв. и прогноз до 2100 года // *Окружающая среда и энерговедение (ОСЭ)*. 2020. № 2. С. 35–48. DOI: 10.5281/zenodo.3930342
4. Lambert J.G., Hall C.A.S., Balogh S., Gupta A., Arnold M. Энергия, EROI и качество жизни // *Energy Policy*. 2014. Vol.64. Pp. 153–167. DOI: 10.1016/j.enpol.2013.07.001
5. Weißbach D., Ruprecht G., Hukea A., Czerski K., Gottlieb S., Hussein A. Energy intensities, EROIs, and energy payback times of electricity generating power plants // Preprint submitted to *Energy*. 2013. No. 6. Pp. 1–29.
6. Буяльский В.И. Повышение эффективности управления ветроэнергетической установкой на основе учёта вибрационной нагруженности привода при разных условиях эксплуатации энергоагрегата // *Энергетик*. 2021. № 10. С. 41–45.
7. Gielen D., Boshell F., Saygin D., Bazilian M.D., Wagner N., Gorini R. The role of renewable energy in the global energy transformation // *Energy Strategy Reviews*. 2019. Vol. 24. Pp. 38–50. DOI: 10.1016/j.esr.2019.01.006
8. Eicke L., Wekoab S., Apergia M., Marian A. Pulling up the carbon ladder? Decarbonization, dependence, and third-country risks from the European carbon border adjustment mechanism // *Energy Research & Social Science*. 2021. Vol. 80 (4). Pp. 102240. DOI: 10.1016/j.erss.2021.102240
9. Acar S., Aşıcı A.A., Yeldan A.E. Potential effects of the EU's carbon border adjustment mechanism on the Turkish economy // *Environment, Development and Sustainability*. 2022. Vol. 24. Pp. 8162–8194. DOI: 10.1007/s10668-021-01779-1
10. Verde S.F., Acworth W., Borghesi S. Achieving zero emissions under a cap-and-trade system // *Environmental Science*. 2020. Pp. 1–12. DOI: 10.2870/343248
11. Porter M.E., van der Linde C. Toward a new conception of the environment competitiveness relationship // *Journal of Economic Perspectives*. 1995. Vol. 9. No. 4. Pp. 97–118. DOI: 10.1257/jep.9.4.97
12. Башмаков И.А. Углеродное регулирование в ЕС и российский сырьевой экспорт // *Вопросы экономики*. 2022. № 1. С. 90–109. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-1-90-109
13. Порфирьев Б.Н., Широков А.А., Колпаков А.Ю., Единаков Е.А. Возможности и риски политики климатического регулирования в России // *Вопросы экономики*. 2022. № 1. С. 72–89. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-1-72-89
14. Bartolucci L., Cordiner S., Mulone V., Pasquale S. Hydrogen based Multi Energy Systems: Assessment of the marginal utility of increasing hydrogen penetration on system performances // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2021. Vol. 46. Iss. 78. Pp. 38588–38602. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.09.108
15. Timokhin D., Bugaenko M., Putilov A. Use of IT technologies in the implementation of the "economic cross" methodology in the "Breakthrough" project of Rosatom // *Procedia Computer Science*. 2020. Vol. 169. Pp. 445–451. DOI: 10.1016/j.procs.2020.02.227
16. Есяков С.Я., Лунин К.А., Стенников В.А., Воропай Н.И., Редько И.Я., Баринов В.А. Трансформация электроэнергетических систем // *Электроэнергия. Передача и распределение*. 2019. № 4 (55). С. 134–141.
17. Бык Ф.Л., Мышкина Л.С. Экономическая эффективность современной электроэнергетики // *Энергетик*. 2022. № 1. С. 17–21.
18. Yamamoto H, Fujioka H, Okano K. Cost analysis of stable electric and hydrogen energy supplies derived from 100% variable renewable resources systems // *Renewable Energy*. 2021. Vol. 178. Pp. 1165–1173. DOI: 10.1016/j.renene.2021.06.061

References

1. Vopilovskiy S.S. Foreign Economic Partners of Russia in the Arctic Zone. *Arktika i Sever* [Arctic and North], 2022, no. 46, pp. 33–50. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2022.46.33

2. Basu S., John A., Akshay, Kumar A. Design and Feasibility Analysis of Hydrogen Based Hybrid Energy System: A Case Study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2021, vol. 46, iss. 70, pp. 34574–34586. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.08.036
3. Degtyarev K.S. Dinamika mirovogo energopotrebleniya v XX–XXI vv. i prognoz do 2100 goda [Trends of World Energy Supply in XX-XXI Centuries and Outlook 2100]. *Okruzhayushchaya sreda i energovedenie (OSE)* [Journal of Environmental Earth and Energy Study], 2020, no. 2, pp. 35–48. DOI: 10.5281/zenodo.3930342
4. Lambert J.G., Hall C.A.S., Balogh S., Gupta A., Arnold M. Energiya, EROI i kachestvo zhizni [Energy, EROI and Quality of Life]. *Energy Policy*, 2014, vol. 64, pp. 153–167. DOI: 10.1016/j.enpol.2013.07.001
5. Weißbach D., Ruprecht G., Hukea A., Czernski K., Gottlieb S., Hussein A. Energy Intensities, EROIs, and Energy Payback Times of Electricity Generating Power Plants. Preprint Submitted to *Energy*, 2013, no. 6, pp. 1–29.
6. Buyalskiy V.I. Povyshenie effektivnosti upravleniya vetroenergeticheskoy ustanovkoy na osnove ucheta vibratsionnoy nagruzhennosti privoda pri raznykh usloviyakh ekspluatatsii energoagregata [Improving the Efficiency of Wind Power Plant Control Based on the Vibration Load of the Drive under Different Operating Conditions of the Power Unit]. *Energetik*, 2021, no. 10, pp. 41–45.
7. Gielen D., Boshell F., Saygin D., Bazilian M.D., Wagner N., Gorini R. The Role of Renewable Energy in the Global Energy Transformation. *Energy Strategy Reviews*, 2019, vol. 24, pp. 38–50. DOI: 10.1016/j.esr.2019.01.006
8. Eicke L., Wekoab S., Apergia M., Marian A. Pulling Up the Carbon Ladder? Decarbonization, Dependence, and Third-Country Risks from the European Carbon Border Adjustment Mechanism. *Energy Research & Social Science*, 2021, vol. 80 (4), pp. 102240. DOI: 10.1016/j.erss.2021.102240
9. Acar S., Aşıcı A.A., Yeldan A.E. Potential Effects of the EU's Carbon Border Adjustment Mechanism on the Turkish Economy. *Environment, Development and Sustainability*, 2022, vol. 24, pp. 8162–8194. DOI: 10.1007/s10668-021-01779-1
10. Verde S.F., Acworth W., Borghesi S. Achieving Zero Emissions under a Cap-And-Trade System. *Environmental Science*, 2020, pp. 1–12. DOI: 10.2870/343248
11. Porter M.E., van der Linde C. Toward a New Conception of the Environment Competitiveness Relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 1995, vol. 9, no. 4, pp. 97–118. DOI: 10.1257/jep.9.4.97
12. Bashmakov I.A. Uglernoe regulirovanie v ES i rossiyskiy syr'evoy eksport [CBAM and Russian Export]. *Voprosy ekonomiki*, 2022, no. 1, pp. 90–109. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-1-90-109
13. Porfiriev B.N., Shirov A.A., Kolpakov A.Yu., Edinak E.A. Vozmozhnosti i riski politiki klimaticheskogo regulirovaniya v Rossii [Opportunities and Risks of the Climate Policy in Russia]. *Voprosy ekonomiki*, 2022, no. 1, pp. 72–89. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-1-72-89
14. Bartolucci L., Cordiner S., Mulone V., Pasquale S. Hydrogen Based Multi Energy Systems: Assessment of the Marginal Utility of Increasing Hydrogen Penetration on System Performances. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2021, vol. 46, iss. 78, pp. 38588–38602. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.09.108
15. Timokhin D., Bugaenko M., Putilov A. Use of IT Technologies in the Implementation of the "Economic Cross" Methodology in the "Breakthrough" Project of Rosatom. *Procedia Computer Science*, 2020, vol. 169, pp. 445–451. DOI: 10.1016/j.procs.2020.02.227
16. Esyakov S.Ya., Lunin K.A., Stennikov V.A., Voropay N.I., Redko I.Ya., Barinov V.A. Transformatsiya elektroenergeticheskikh sistem [Transformation of Electric Power Systems]. *Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie* [Electric Power. Transmission and Distribution], 2019, no. 4 (55), pp. 134–141.
17. Byk F.L., Myshkina L.S. Ekonomicheskaya effektivnost' sovremennoy elektroenergetiki [Economic Efficiency of Modern Electric Power Industry]. *Energetik*, 2022, no. 1, pp. 17–21.
18. Yamamoto H, Fujioka H, Okano K. Cost Analysis of Stable Electric and Hydrogen Energy Supplies Derived from 100% Variable Renewable Resources Systems. *Renewable Energy*, 2021, vol. 178, pp. 1165–1173. DOI: 10.1016/j.renene.2021.06.061

Статья поступила в редакцию 18.04.2022; одобрена после рецензирования 19.07.2022;
принята к публикации 27.07.2022.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.