

DOI: 10.37930/1990-9780-2023-4-78-123-137

С. С. Вопиловский¹

СУЖДЕНИЕ О ФОРМИРОВАНИИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

Рассматриваются возможности создания альтернативных генерирующих энергетических мощностей с использованием возобновляемых источников энергии – ветряных электростанций. Отмечается внимание мирового сообщества к сохранению климата в планетарном масштабе (многосторонние соглашения и другие правовые акты, составляющие институциональную основу развития возобновляемой энергетики). Наличие высоких технологий и исключительных компетенций у ведущих мировых компаний создаёт условия для производства уникальных ветрогенераторов и развития программно-аппаратной системы управления ветропарками, ветряных турбин и ветропарков. Развитие высокотехнологичных производств по созданию ветряных электростанций различной мощности для климатических условий России (с учётом наработанных в мировой практике технологий) позволит повысить экономический и технологический потенциал регионов страны. Подчёркивается, что эффективность энергетики в значительной мере зависит от наличия инновационных технологий, научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок, высококвалифицированных специалистов, финансовых ресурсов компаний. Представлены крупнейшие современные производители ветроустановок в экономических регионах и тенденции их дальнейшего расширения. Дается оценка состояния и перспективного развития ветряных электрических станций в мировой энергетике.

Ключевые слова: экономика, энергетика, ветряные электрические станции, генерация, возобновляемые источники энергии, технологии, компетенции, энергетическая безопасность.

УДК 338.22

Кардинальные изменения в мировой экономике, связанные с геополитическими факторами, обуславливают значительные преобразования в энергетике. Сегодня геополитика играет решающую роль, вопреки здравому смыслу и законам экономики [1], что неизбежно приведёт к запуску процесса суверенизации энергетических рынков. В результате региональные экономики будут максимально использовать собственные энергетические ресурсы или энергоресурсы дружественных стран на экономически выгодных условиях. Процесс суверенизации может замкнуть потоки энергоресурсов внутри «своих» политических блоков, в итоге вырастет цена на энергию, и мировой

¹ Сергей Симонович Вопиловский, доцент, старший научный сотрудник Института экономических проблем им. Г. П. Лузина – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (184209, РФ, Апатиты, ул. Ферсмана, 24а), канд. экон. наук, e-mail: simonovich.63@yandex.ru

экономике придётся использовать эту дорогую энергию без вариантов снизить цену. В сущности, производителям возобновляемой энергии потребители платят столько, сколько они запрашивают, что нарушает экономический баланс и ведёт к сокращению выпускаемой продукции, товаров и услуг, а в худшем случае – к банкротству предприятий [2].

Ситуационный подход и оценка развития возобновляемой энергетики

В энергетической отрасли России отмечается процесс диверсификации генерации энергии и её поставок потребителю в целях усиления энергетической безопасности. Концепция независимости от единственного производителя электроэнергии реализуется за счёт ввода новых генерирующих объектов, функционирующих на традиционных и нетрадиционных источниках энергии. Энергобезопасность страны традиционно опирается на ископаемое топливо как эффективный и устойчивый товар с платежеспособным спросом [3]. Развитие возобновляемой энергетики используется как элемент диверсификации энергоснабжения, в целях защиты окружающей среды – как поэтапный переход к низкоуглеродной экономике. В данных условиях энергетическая безопасность страны ассоциируется с производством экологически чистой энергии [4].

Обеспокоенность государств состоянием климата обусловила принятие многосторонних соглашений по выбросам парниковых газов: Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата², Киотский протокол³, Парижское соглашение по климату⁴, в рамках которого в России к 2024 г. планируется построить не менее 5 ... 5,5 ГВт мощностей из возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В Стратегии социально-экономического развития России⁵ для реализации целевого сценария в энергетическом секторе предусмотрены: оказание мер государственной поддержки; развитие распределённой генерации; стимулирование оснащения зданий установками, использующими и производящими возобновляемую энергию; значительное увеличение генерации на основе ВИЭ при обеспечении необходимого уровня локализации производства оборудования на территории Российской Федерации с соблюдением принципов экологической ответственности и др. [5].

Важное значение приобретает экологически чистая энергетика и использование ВИЭ: ветряные и солнечные, геотермальные и приливные, а также электростанции, использующие древесину, отходы и биомассу – природные энергоносители, постоянно пополняемые в результате естественных (природных) процессов. Создание генерирующих станций, технопарков и кластеров с использованием ВИЭ требует серьёзного

² Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИК ООН)» 09.05.1992 г. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml (дата обращения: 14.07.23).

³ «Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата» 11.12.1997 г. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/kyoto.shtml (дата обращения: 14.07.23).

⁴ «Парижское соглашение по климату» 12.12.2015 г. URL: https://plus-one.ru/sustainability/parizhskoe-soglashenie-po-klimatu?utm_source=web&utm_medium=news&utm_content=link&utm_term=scroll (дата обращения: 14.07.23).

⁵ «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» 29.10.2021 г. № 3052-р. URL: <http://static.government.ru/media/files/ADKkCzр3fWO32e2yA0BhtIpyzWfHaiUa.pdf> (дата обращения: 14.07.23).

инвестиционного капитала с длительным сроком окупаемости, в связи с чем осуществляется поддержка государством «чистой» генерации [6].

Концепция использования возобновляемых источников энергии, среди которых основными являются энергия солнца и ветра, находит широкое приложение в мире. Цель концепции – низкоуглеродное развитие энергетики, при этом важным фактором является общая эффективность деятельности предприятий/компаний энергетического сектора [7]. Применение комплексного подхода в оценке энергоэффективности различных способов генерации позволяет контролировать ключевые показатели и учитывать: экономическую результативность; сравнительно высокие капитальные затраты (конечная стоимость «чистой» электроэнергии для потребителя чувствительно выше, чем от традиционных источников энергии); несравнимо высокую зависимость от погодно-климатических условий и многое другое [8]. Скорректированная приведённая стоимость электроэнергии (VALCOE)⁶ на основе ВИЭ выше за счёт невысокой установленной мощности отдельных объектов ВИЭ (табл. 1)⁷. Для эффективной работы энергосистемы на основе ВИЭ необходимо создание большого количества энергообъектов.

Таблица 1

Удельные оценки основных показателей генераторов электроэнергии по типам источников энергии

Показатели	АЭС	СЭС	ВЭС	ГЭС	ТЭС	
					угольная	газовая
Жизненный цикл, лет	60	25	25	80	40	30
Выбросы в рамках жизненного цикла станции, гСО ₂ /кВт·ч	5,1...6,4	8...83	7,8...23 ¹	6...147	751...1095	403...513
Приведенная стоимость электроэнергии, центов/кВт·ч	50...60	60...120	50...130 ¹	50...70	80...90	60...70
Скорректированная приведённая стоимость электроэнергии, центов/кВт·ч	50	81	55...85	55	62	39
Срок окупаемости ² , лет	6,5	1...4	0,5...1,4 ¹	6	1...2	2,5
Суммарные выбросы в России, млн т СО ₂ в год	0	0	0	0	92,9	144,5

¹ В зависимости от типа ВЭС: наземного или морского базирования.

² По затраченной на строительство энергии.

Энергетический рынок – варианты развития

По данным Международного энергетического агентства (МЭА), в частности в Отчёте «World Energy Investment 2022», предполагается увеличение глобальных инвестиций в энергетику на 8 % в 2022 г. (к 2021 г.), они должны достигнуть 2,4 трлн долларов. Отмечено, что основная часть инвестиций направлена на ВИЭ и повышение энергоэффективности. Инвестиции в ВИЭ с 2020 г. выросли до 12 % в год (в период 2015 – 2020 гг. состав-

⁶ Расчёт VALCOE основан на приведенной стоимости (LCOE), скорректированной с учетом энергетической ценности, показателя гибкости реагирования технологии в пиковые часы нагрузки и мощности разных технологий

⁷ Развитие возобновляемой энергетики на фоне энергетических кризисов // Энергетические тренды. Вып. №104. 2022. С. 8. URL: https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/energo/2022/energo_104.pdf (дата обращения: 14.07.23).

ляли всего 2 % в год). Инвестиционный рост связан с поддержкой устойчивого финансирования правительствами стран с развитой экономикой [9]. На ВИЭ, сети и хранилища приходится более 80 % общих инвестиций в энергетический сектор. Стремление Европейского союза (ЕС) наращивать инвестиции в ВИЭ связано с зависимостью от конъюнктуры рынков и доставкой ископаемого топлива (с ограничением поставок углеводородов исключительно из России). Предполагалось, что использование местных ветровых и солнечных электростанций обеспечит гарантированные поставки энергии потребителям [10]. На самом деле сокращение импорта энергоносителей из России ухудшает положение энергопотребителей ЕС.

МЭА отмечает, что мир переживает глобальный энергетический кризис. В частности, в июне 2021 г. выработка ВИЭ в Европе уменьшилась на 13 % м/м в связи с понижением генерации на 45,2 % м/м на ветроэлектростанциях (ВЭС), что привело к резкому повышению цен на электроэнергию:

- в июле 2021 г. индекс Nord Pool (европейской спотовой биржи электроэнергии) впервые увеличился на 24 % м/м и составил 54 евро/МВт·ч, в августе 2021 г. – увеличение на 21,1 % м/м (65,4 евро/МВт·ч);

- в США (штат Техас) в феврале 2021 г. резкое понижение температуры окружающей среды вызвало остановку ветрогенераторов и сбои в работе электросетей. Генерация ветрогенераторов снизилась на 20,1 % м/м, цены на электроэнергию для коммерческого сектора выросли до 16,3 цента/кВт·ч (2,1 раза г/г), для промышленного сектора – до 12,2 цента/кВт·ч (2,1 раза г/г), отмечались перебои в электроснабжении домохозяйств.

Анализ нестабильной работы ВИЭ в ЕС и США говорит о необходимости развития современных технологий накопления энергии, создания взаимозаменяемых объектов электрогенерации, связанных со стабильностью энергоснабжения.

В ежегодном флагманском докладе МЭА о перспективах мировой энергетики до 2050 г. «World Energy Outlook 2022»⁸ представлены сценарии мирового энергетического развития:

- сценарий объявленной политики (STEPS), в котором отражаются все заявленные сегодня политические намерения и цели в части развития энергетики, подкреплённые подробными мерами по их реализации;

- сценарий анонсированных обязательств (APS), в котором учитываются все климатические обязательства стран;

- «чистый ноль выбросов к 2050 году» (NZE2050), в рамках которого большее число стран и компаний выполняют задачу по достижению нулевого баланса выбросов (Net Zero Emissions).

Возобновляемые источники энергии являются основным элементом международной низко- и безуглеродной повестки и, по прогнозам МЭА, в мировом производстве первичной энергии ВИЭ к 2030 г. составят 30,5 %, а к 2050 г. – 66,7 %. В рамках STEPS на это повлияют такие масштабные инициативы, как Закон США о снижении инфляции, план ЕС REPowerEU, а также масштабные усилия Китая для развития чистой энергетики.

Зарубежный опыт создания и развития ветряных электростанций

В КНР генерация солнечных и ветряных станций по итогам 2021 г. составила 11,7 %. Примечательно, что в 2021 г. в 50 странах мира суммарная доля электроэнергии, выработанной на СЭС и ВЭС, превысила 10 %.

⁸ World Energy Outlook 2022. URL: <https://renewables.russia.ru/dolya-solnechnoj-i-vetrovoj-generatsii-v-mire-dostignet-ot-45-do-69-k-2050-godu-me...> (дата обращения: 14.07.23).

КНР динамично решает вопросы развития ВИЭ и уже сегодня занимает лидирующее положение в этой области. Параллельно Китай использует нефть, природный газ, уголь и является одним из крупнейших импортёров углеводородов из России [11].

Компания China Three Gorges Corporation (CTG)⁹ играет ведущую роль в продвижении промышленной модернизации экологически чистой энергии в соответствии с национальной энергетической стратегией Китая. Общая установленная мощность ветроэнергетического сектора CTG в 2019 г. достигла: береговой (onshore) ветроэнергетики – более 5,2 ГВт; морской (offshore) – 18,07 ГВт; фотоэлектрической энергии – более 4,3 ГВт.

В провинции Фуцзянь на востоке Китая CTG совместно с компанией Xinjiang Goldwind¹⁰ в 2022 г. завершила строительство крупнейшей в мире морской ветротурбины мощностью 16 МВт, с диаметром рабочего колеса 252 м. Годовой объём генерации составит 66 млн кВт·ч. Всего в КНР с января по июнь 2022 г. к сети было подключено 25 прибрежных ВЭС общей мощностью 5,1 ГВт.

Обладая исключительными компетенциями в сфере производства ветрогенераторов, КНР занимает лидирующее положение в мире по созданию ВЭС. По данным World Forum Offshore Wind, в 2022 г. на Китай пришлось 75 % глобального ввода прибрежных ветрогенераторов, а его доля в глобальной структуре действующих надводных ВЭС достигла 45 %.

Китайская государственная судостроительная корпорация (CSSC)¹¹ – китайский судостроительный конгломерат – представила проект гигантской морской ветротурбины в промышленном парке офшорной ветроэнергетики города Дуньин провинции Шаньдун. Морская ветротурбина CSSC Haizhuang H260-18MW – это 18 МВт мощности, диаметр трехлопастного ротора – 260 м, рабочая площадь вращающихся лопастей – 53 000 м². Генератор, редуктор, преобразователь, лопасти и фундамент изготовили дочерние компании CSSC. Поскольку лопасти длиной 128 м транспортировать непросто, было принято решение производить их на заводе, построенном рядом с причалом судоверфи. Уровень локализации оборудования – выше 99 %. Технологические решения и конструкторские разработки позволили создать специальную платформу с интеграцией нагрузки на лезвие лопасти SuperBlade+ и смоделировать взаимосвязь между конструкцией лопасти и чувствительностью к порывам ветра. Так удалось «обновить» традиционный режим дискретной разработки турбины и решить противоречие между быстрой интеграцией и безопасностью и надёжностью турбины. Конструктивно решены вопросы подавления резонанса несущей конструкции и вибрации сверхдлинных лопастей, снижения на 50 % амплитуды колебаний опорной конструкции, уменьшения на 10 % предельных нагрузок лопастей и ступиц. Испытания H260-18MW подтвердили пригодность конфигурации трансмиссии для различных условий окружающей среды и уровней мощности, доказали лучшую производительность по выработке энергии и высокую надёжность. Применение технологии адаптивного управления увеличением мощности повышает объём выработки электроэнергии на 3 % для каждой турбины, а разработанная программно-аппаратная система основного управления для офшорной ветряной турбины обеспечит устойчивую работу всего ветропарка [12, 13].

⁹ China Three Gorges Corporation. URL: <https://www.ctg.com.cn/en/> (дата обращения: 14.07.23).

¹⁰ Xinjiang Goldwind Science Technology Co., Ltd. URL: <https://www.oborudunion.ru/company/4241860> (дата обращения: 14.07.23).

¹¹ Китайская государственная судостроительная корпорация (CSSC). URL: https://ru.wikibrief.org/wiki/China_Shipbuilding_Industry_Corporation (дата обращения: 14.07.23).

Строительство крупнейшего в мире ветроэнергетического и фотоэлектрического базового проекта, разработанного China Three Gorges Corporation (CTG), началось в декабре 2022 г. в пустыне Кубуки в Ордосе (Северокитайском автономном районе Внутренняя Монголия) – это первая электростанция новой энергии мощностью 10 млн кВт. После завершения проекта будут созданы условия для стимулирования развития новых промышленных кластеров по производству ветро- и фотоэлектрической энергии, её хранению и цифровизации¹².

Компанией Hithium (Xiamen Hithium Energy Storage Technology Co., Ltd.) в Нинся-Хуэйском автономном районе на севере центральной части Китая введена в эксплуатацию новая аккумуляторная система накопления энергии (СНЭ) мощностью 200 МВт, ёмкостью 400 МВт. Колоссальный накопитель энергии предназначен для нужд местной энергосистемы, служит для интеграции переменных возобновляемых источников энергии и балансировки спроса и предложения электроэнергии. Особенность аккумуляторных батарей Компании Hithium заключается в использовании литий-железо-фосфатных аккумуляторов (LFP), ячейки которых выдерживают множество циклов заряд/разряд, следовательно, имеют повышенный срок эксплуатации, а главное – менее взрывоопасны. В планах Hithium – построить в КНР к 2025 г. завод по выпуску LFP-батарей с пиковой мощностью 135 ГВт·ч.

Компания Xinjiang Goldwind Science Technology Co., Ltd¹³ – мировой лидер в области технологии турбин с прямым приводом на постоянных магнитах (PMDD). Компетенции китайской Goldwind, основанные на прогрессивных научных исследованиях и инновациях, способствовали высоким результатам в области экологически чистой энергии, энергосбережения и защиты окружающей среды. В августе 2022 г. Goldwind начала строительства 1600-тонного самоподъёмного морского ветроустановочного судна в Наньтуне, провинция Цзянсу. Установочное судно использует интегрированный режим «транспортировка – хранение – подъём» с применением ведущих в отрасли кранов. Кран может выполнять операции в воде глубиной до 70 м. Высота подъёма главного крюка основного крана – 165 м, максимальный грузоподъёмный вес – 1600 т; вспомогательного крюка – соответственно 183 м и 500 т. Судно доступно для ветровых турбин мощностью более 20 МВт с фиксированными несущими конструкциями и с диаметром рабочего колеса менее 320 м, стоимость судна – почти 1,5 млрд юаней. Срок ввода в эксплуатацию – август 2023 г. Морское ветроустановочное судно нового поколения предназначено для проведения глубоководных и крупнотоннажных исследований, обеспечивает здоровое и упорядоченное развитие морской ветроэнергетики Китая [14, 15].

По предварительным оценкам, к 2025 г. годовая установленная мощность морской ветроэнергетики Китая достигнет 12 ... 17 ГВт, а среднегодовой совокупный темп роста составит 44 %, это делает ветроэнергетику самым быстрорастущим сектором новой энергетики. В течение «14-й пятилетки»¹⁴ (2021–2025 гг.) будет достигнут прогресс в области морской ветроэнергетики. Проект ускорит индустриализацию сверхбольшого морского ветроэнергетического оборудования, облегчит независимые исследова-

¹² World's largest wind power and PV base project commenced construction. URL: https://www.ctg.com.cn/en/media/press_release/1396180/index.html (дата обращения: 14.07.23).

¹³ Xinjiang Goldwind Science Technology Co., Ltd. URL: <https://www.oborudunion.ru/company/4241860> (дата обращения: 14.07.23).

¹⁴ Кашин В. Б., Пятачкова А. С., Смирнова В. А., Литвинов А. А., Поташев Н. А. Китайские эксперты о новом пятилетнем плане КНР. Аналитическая записка К6/03/2021. URL: <https://cceis.hse.ru/data/2021/03/29/1386510407/14-я%20пятилетка.pdf> (дата обращения: 14.07.23).

дования и разработки глубоководного тяжёлого морского оборудования, а также выведет на новый уровень конкурентоспособность и возможности Китая на рынке в области проектирования и производства морского ветроэнергетического оборудования.

Соединённое Королевство Великобритании и Северной Ирландии (The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland) – одна из ведущих стран мира в сфере освоения ветроэнергетики. В её ближайших планах – активное развитие ветрогенерации, а к 2030 г. – производство с помощью ветряных электростанций до 40 ГВт.

Датская компания Ørsted A/S в августе 2022 г. в зоне Hornsea (область Северного моря, охватывающая более 2000 км²) ввела в эксплуатацию ветряную электростанцию Hornsea 2, расположенную в 89 км от побережья Йоркшира. Прибрежная ветряная электростанция мощностью 1,3 ГВт, обеспечивающая Великобританию чистой энергией, состоит из 165 ветроэнергетических установок производства Siemens Gamesa по 8 МВт каждая. У побережья Англии уже действует Hornsea 1 общей мощностью 1,2 ГВт; в планах Ørsted A/S построение ещё двух ветряных электростанций – Hornsea 3 мощностью 2,4 ГВт и Hornsea 4 (мощность уточняется); в перспективе, к 2025 г. – оснащение ветропарка электролизером мощностью 100 МВт для производства «зелёного» водорода. На текущем этапе у Ørsted A/S работает 13 морских ВЭС в Англии с установленной мощностью 6,2 ГВт, инвестиции компании в цепочку поставок составляют 4,5 млрд фунтов стерлингов, в ближайшие годы планируется вложение инвестиций на 8,6 млрд фунтов стерлингов.

Британский проект Dogger Bank¹⁵ установленной мощностью 3,6 ГВт планируют завершить в 2023 г., а в дальнейшем, примерно к 2026 г. увеличить мощность офшорной ветроэлектростанции до 5 ГВт. Для данного проекта в Восточном Йоркшире создан мощный комплекс Pillswood – накопитель энергии на основе батарей Tesla Megarack, который будет сглаживать пики потребления и запасать энергию в часы наименьшей нагрузки. Для Британской Harmony Energy Limited¹⁶, осуществляющей создание комплекса Pillswood, это первый из шести подобных проектов, которые планируются сдать в 2023 г.

Соединительные мощности Великобритании составляют 8,4 ГВт, ещё 7,5 ГВт планируется ввести в ближайшее время.

Соединённое Королевство придаёт решающее значение развитию ветряной энергетики, по данным Европейской ветроэнергетической ассоциации WindEurope¹⁷, совокупная установленная мощность ВЭС составляет ~ 26,8 ГВт, из них 14,07 ГВт – сухопутные; 12,74 ГВт – морские.

Отечественные разработки – целесообразность и эффективность

В Российской Федерации новым дивизионом АО «НоваВинд»¹⁸ Госкорпорации «Росатом»¹⁹ в январе 2023 г. введена в эксплуатацию Брестовская ветроэлектростанция в Ставропольском крае (седьмая ВЭС на юге России), она состоит из 24 ветроэнергетических установок установленной мощностью 60 МВт, плановая среднегодовая выработка энергии – 175,5 млн кВт·ч, степень локализации оборудования – 68 %. В Волго-

¹⁵ Dogger Bank Wind Farm. URL: <https://doggerbank.com/> (дата обращения: 14.07.23).

¹⁶ Harmony Energy Limited. URL: <https://www.getthedata.com/company/harmony-energy-limited-10141078> (дата обращения: 14.07.23).

¹⁷ WindEurope. URL: <https://windeurope.org/> (дата обращения: 14.07.23).

¹⁸ НоваВинд. URL: <https://www.atomic-energy.ru/NovaWind> (дата обращения: 14.07.23).

¹⁹ Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом» (Госкорпорация «Росатом»). URL: <https://www.rosatom.ru/index.html> (дата обращения: 14.07.2023).

донске на заводе «Атоммаш»²⁰ в рамках программы локализации и трансфера технологий развёрнуто производство оборудования для ветровых энергетических установок мощностью 2,5 МВт, которые производят по лицензии нидерландской компании Lagerwey, планируется выпуск ветрогенераторов мощностью 4,5 МВт. Инвестиции в проект составили более 1 млрд рублей, серийная мощность производства – 120 турбин в год. В планах ГК «Росатом» к 2027 г. ввести в эксплуатацию ветряные электростанции общей мощностью 1,7 ГВт [16, 17].

В Арктической зоне РФ (АЗРФ) реализация проектов направлена преимущественно на использование «чистой» энергии с нулевым уровнем выброса парниковых газов [18]. Компании, осуществляющие проекты в АЗРФ, стремятся глобально использовать энергию ветра [19–21]. В Мурманской области в 2023 г. введена в эксплуатацию самая крупная в России ветроэлектростанция Кольской ВЭС, проектная мощность – 201 МВт. Проект выполнен ПАО «Энел Россия», более 65 % оборудования и работ произведено на территории Российской Федерации местными заводами и специализированными компаниями. На площади 257 га установлено 57 ветроэнергоустановок, для технического присоединения проекта к Единой энергетической системе (ЕЭС) России построена ЛЭП 150 кВ протяжённостью около 70 км, лопасти ветроустановок оснащены системами обнаружения обледенения, которые позволяют определить риск возникновения наледи и в автоматическом режиме остановить их вращение, установлены ветрогенераторы SG 3.4-145 номинальной мощностью 3,465 МВт и диаметром ротора 145 м (производство Siemens Gamesa).

Группа компаний «Инновационные системы»²¹ является резидентом «Сколково»²², имеет производственную базу в Воронеже, где развёрнуто производство высокоэффективных двухроторных турбин мегаваттного класса серии ИнС-В на базе теории газовых турбин. Локализация производства превышает 90 % и при подключении к данной программе специализированных производителей электрических генераторов и поставщиков углетканей для лопастей будет доведена до 100 %. Производительность установки в 2,5 раза выше, чем у зарубежных аналогов; характеризуется увеличенным коэффициентом использования энергии ветра и отсутствием инфразвука вредного частотного диапазона. Потребность в отечественных ветряных турбинах существует давно, особенно в арктическом регионе, следовательно, необходимы высокотехнологичные производства по созданию ветряных электростанций различной мощности для разных климатических условий России [22, 23].

Мы сравнили показатели отечественных установок ИнС-В и датской установки типа Vestas (табл. 2).

Таблица 2

Сравнение энергетических и экономических показателей ветротурбинных установок ИнС-В (Россия) и установки типа Vestas (Дания)

Параметр	Российские турбины		Типовые 3-лопастные турбины	
	ИнС-В-1500	ИнС-В-2500	2500 кВт	3500 кВт
Номинальная мощность, кВт	1500	2500	2500	3500

²⁰ АО «АЭМ-технологии». URL: <https://www.aemtech.ru/about/> (дата обращения: 14.07.23).

²¹ Группа компаний «Инновационные системы». URL: <https://www.insokbm.com/> (дата обращения: 14.07.23).

²² Инновационный центр «Сколково». URL: <https://sk.ru/> (дата обращения: 14.07.23).

Параметр	Российские турбины		Типовые 3-лопастные турбины	
	Инс-В-1500	Инс-В-2500	2500 кВт	3500 кВт
Номинальная скорость ветра, м/с	8	9	14...15	14...15
Диаметр ротора, м	75	110	110	126
Возбуждаемая частота инфразвука, Гц	Отсутствует	Отсутствует	0,4...0,5	0,4...0,5
Годовая выработка, кВт·ч	2864639	5462377	2292114	3346098
Себестоимость электроэнергии, долл./кВт·ч	0,01...0,025		0,6...0,1	

Источник: ГК «Инновационные системы».

В планах ГК «Инновационные системы» поставить одну ветряную установку в Саудовскую Аравию и три во Вьетнам в 2023 г., а в 2024 г. поставить во Вьетнам 30 ветрогенераторов.

По данным Системного оператора Единой энергетической системы (АО «СО ЕЭС») ²³, в 2022 г. установленная мощность действующих на территории России ветряных электростанций составила 2298,4 МВт (0,93 % от установленной мощности электростанций ЕЭС России – 247601,8 МВт).

Структура вводов генерирующего оборудования представлена в табл. 3.

Таблица 3

Структура вводов генерирующего оборудования на электростанциях ЕЭС России в 2020–2022 гг., МВт

Год	Всего	ТЭС (всего)	ТЭС (газ)	ТЭС (уголь)	ТЭС (прочее)	ГЭС	АЭС	ВЭС	СЭС
2020	1 865,2	636,9	310,0	327,0		20,9		843,4	364,0
2021	2 716,1	286,1	286,1				1 188,2	1 008,9	232,9
01.06.2022	214,6	112,0	12,0	100,0					102,6

Источник: Отчёт о функционировании ЕЭС России в 2022 г.

Создание и использование эффективного источника энергии обеспечивает качественное удовлетворение потребностей общества, общая величина благ определяет степень развития цивилизации. Последовательное повышение объёма благ определяет прогресс цивилизации, для оптимального развития которого необходим энергетический резерв, способный восполнить при необходимости потребности общества [24].

Ключевым экономическим показателем в современной энергетике является энергетическая окупаемость электростанции. Мировым энергетическим сообществом скалькулирована энергетическая окупаемость различных типов электростанций. Срок окупаемости ВЭС, по разным источникам, – около 1 года. Для повышения эффективности ветряных электростанций применяют системы для выравнивания генерации: 1) через водородную энергетику – в моменты минимального энергетического потребления можно запастись энергией в виде водорода (путём электролиза воды), и в период просадки энергию потребителям будет давать водород в топливном элементе; 2) использование аккумуляторных систем накопления энергии, которые служат для интеграции переменных возобновляемых источников энергии и балансировки спроса и предложения электроэнергии (представлены выше).

²³ Отчёт о функционировании ЕЭС России в 2022 году. URL: <https://www.so-ups.ru/> (дата обращения: 14.07.23).

Эффективность функционирования энергетического сектора обусловлена наличием финансовых возможностей компаний, научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок (НИОКР), инновационных технологий, производственной базы, специалистов и др. [25]. Применение передовых компетенций в мировой энергетике позволяет снижать стоимость технологий ВИЭ [26]. За предыдущие пять лет снижение составило в среднем 4 % в наземной ветровой энергетике и 8 % в солнечной. Инвестиционный банк Lazard ежегодно выпускает доклад «Анализ приведенной стоимости энергии» (Levelized Cost of Energy Analysis или LCOE 15.0), а также доклады по экономике систем накопления энергии (Levelized Cost of Storage Analysis, LCOS 7.0) и водорода (Levelized Cost of Hydrogen Analysis, LCOH 2.0).

Согласно новому докладу, интервал LCOE (Levelized Cost of Electricity – нормированная стоимость электроэнергии в долларах на МВт) ветряных электростанций составляет 26...50, фотоэлектрических солнечных электростанций – 28...41, парогазовых установок – 45...74, угольной генерации – 65...152, атомной энергетики – 131...204 за МВт·ч. Из вывода по докладу следует, что технологии ветряной и солнечной генерации самые дешёвые.

Данный вывод подтверждают результаты конкурсных отборов и расчёты компетентных специалистов. В частности, компания NextEra Energy, Ins²⁴ (США) провела расчёты сравнительной экономики различных технологий, из которых следует: оснащение солнечных и ветряных электростанций накопителями энергии делает их генерацию «почти твердой» (близкой по характеристикам к традиционной), они будут дешевле угольной, атомной и газовой генерации [27, 28].

Обозначим ключевые аспекты развития ветряной электроэнергетики России:

- перспективные экономические возможности – производство отечественных ветряных турбин, компонентов, услуг, что может создать новые рабочие места, экспортные возможности;
- технологический суверенитет;
- международная репутация отечественного и инновационного производителя энергии.

Заключение

Международное энергетическое агентство в 2021 г. выпустило доклад «Net Zero by 2050»²⁵ («Чистый ноль к 2050 году»), который, по оценкам специалистов, является перспективным планом развития всемирной энергетической системы. В частности, из доклада следует, что доля ВИЭ в производстве электроэнергии в мировом масштабе достигнет 40...70 %, а три четверти новейшего производства энергии будет осуществляться на солнечных и ветряных электростанциях. Отмечено, что в 2020 г. на ВИЭ и атомную энергию пришлось более 1/3 (36,7 %) производимой электроэнергии; расходы на «зелёную» энергию в ЕС превосходят соответствующие затраты остальных регионов мира более чем в 2,5 раза, а доля ВИЭ в общих госрасходах ниже, чем в других регионах; на научно-исследовательские разработки в области чистой энергии из мировых государственных фондов расходуется до 22 млрд долларов, растёт доля НИОКР в государственных корпорациях и частных компаниях.

²⁴ NextEra Energy, Ins. URL: <https://dzen.ru/a/Xx1EDMFvj1ckQGoi> (дата обращения: 14.07.23).

²⁵ IEA. Net Zero by 2050. 2021. pp. 224. URL: <https://doi.org/10.1787/c8328405-en> (дата обращения: 14.07.23).

Очевидно, что доля ветряной генерации в мировом производстве электроэнергии неуклонно растёт и будет множиться, особенно в регионах с наличием площадей для ветропарков и благоприятных климатических условий. Существуют зоны мощных постоянных пассатных ветров, дующих в обоих полушариях от 30-х широт к экватору, а в Датском техническом университете на факультете ветроэнергетики усовершенствовали Глобальный атлас ветров (Global wind atlas, версия 3.2), который поможет оценить перспективы строительства и расширения объектов ветрогенерации а глобальном масштабе.

По данным Глобального совета по ветроэнергетике (GWEC)²⁶, в 2021 г. тридцать мировых производителей ввели в эксплуатацию 29234 ветряные турбины общей мощностью 104,7 ГВт, что свидетельствует о переходе на новый уровень развития (в 2019 г. подключено 65 ГВт, в 2020 г. – 98,5 ГВт). Из 30 современных производителей ветроустановок 18 находятся в Азиатско-Тихоокеанском регионе, 9 – в Европе. На долю 15 крупнейших производителей (они представляют Германию, Данию, Китай, США, Испанию) приходится более 98 % всех ветроустановок. Девять из 15 производителей – китайские компании.

КНР стала крупнейшим в мире рынком офшорной ветроэнергетики, в 2021 г. установлены ветряные турбины общей мощностью 16,8 ГВт, что на 161% больше, чем в 2020 г. Китайским компаниям Shanghai Electric, Mingyang, Goldwind и CSSC Haizhuang принадлежит лидерство по установке офшорных ветряных турбин, они заняли четыре первых места в мире. Шесть китайских компаний находятся в первой десятке крупнейших производителей ВЭУ, которые обслуживают в основном внутренний рынок ветроэнергетики. По прогнозам экспертов, рынок ветрогенерации в КНР станет крупнейшим в мире к 2030 г., когда будет введено около 93 ГВт новых ветроэнергетических мощностей. В крупнейший мировой рынок ветрогенерации в ближайшее время войдут Индия, Тайвань, Вьетнам, Южная Корея и Япония, где к 2030 г. будет введено 29 ГВт новых мощностей, а в целом в странах Азиатско-Тихоокеанского региона в последующие 10 лет установят 122 ГВт новых мощностей ветряной генерации.

В России общий объём ввода мощностей возобновляемой генерации, по прогнозам, в 2023 г. составит 438 МВт, в 2024 г. – 482 МВт, в 2025 г. – 1,25 ГВт; общий объём ввода возобновляемой генерации составит 2,17 ГВт. Несомненно, ввод новых мощностей приведёт к увеличению их доли в общей структуре выработки электроэнергии в регионах и стране. Актуальность производства ветряных электростанций обусловлена быстрой окупаемостью, эффективностью работы в регионах с высокой транспортной удалённостью и высокогорья (Арктическая зона РФ, южные районы в европейской части России, прибрежные районы субъектов Дальневосточного федерального округа).

Ветряная энергетика – это многомиллиардный рынок, технологический суверенитет, продукт с большой добавленной стоимостью.

Список литературы

1. Mara D., Nate S., Stavysky A., Kharlamova G. (2022) The place of energy security in the national security framework: An assessment approach. *Energies*, Vol. 15, No. 2, pp. 1–17. article 658. <https://doi.org/10.3390/en15020658>.

²⁶ GWEC. URL: <https://gwec.net/> (дата обращения: 14.07.23).

2. Климova, М. В. Государство и энергетическая безопасность в мире и Европе как общественное благо / М. В. Климova // Вопросы экономики. – 2022. – № 6. – С. 110–125. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-6-110-125.
3. Szalbierz Z., Ropuszyńska-Surma E. (2017) Energy security as a public good. E3S Web of Conferences, Vol. 14, pp. 1–10. article 01005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20171401005>.
4. Goldthau A. A. (2012) Public policy perspective on global energy security. International Studies Perspectives, Vol. 13, No. 1, pp. 65–84. <https://doi.org/10.1111/j.1528-3585.2011.00448.x>
5. Ершов, М. В. Российская экономика в условиях новых санкционных вызовов / М. В. Ершов // Вопросы экономики. – 2022. – № 12. – С. 5–23. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-12-5-23.
6. Bollen J., Hers S., van der Zwaan B. (2010) An integrated assessment of climate change, air pollution, and energy security policy. Energy Policy, Vol. 38, No. 8, pp. 4021–4030. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.026>.
7. Невзорова, А. И. Концепция технологической инновационной системы: основные положения и возможности / А. И. Невзорова, В. Г. Кучеров // Вопросы экономики. – 2022. – № 5. – С. 99–120. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-5-99-120.
8. Афанасьева, О. Перспективы развития гибридных источников автономного энергообеспечения / О. Афанасьева, Г. Мингалеева, М. Набиуллина // Энергетическая политика. – 2022. – № 9 (175). – С. 88–99. DOI: 10.46920/2409-5516_2022_9175_88.
9. Stiglitz J. E. (2021) The proper role of government in the market economy: The case of the post-COVID recovery. Journal of Government and Economics, Vol. 1, pp. 1–7. article 100004. <https://doi.org/10.1016/j.jge.2021.100004>.
10. Yergin D. (2006) Ensuring energy security. Foreign Affairs, Vol. 85, No. 2, pp. 69–82. <https://doi.org/10.2307/20031912>.
11. Авдеева, О. А. Экспорт высокотехнологичной продукции Китая в 2000–2020 гг. / О. А. Авдеева // Вопросы экономики. – 2022. – № 6. – С. 126–143. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-6-126-143.
12. Стенников, В. А. Распределение нагрузки между источниками в иерархической интегрированной энергетической системе с использованием мультиагентных технологий / В. А. Стенников, Е. А. Барахтенко, Г. С. Майоров // Энергетик. – 2022. – № 11. – С. 39–44.
13. Чапайкин, Д. Интернет вещей как платформа трансформации бизнес-моделей нефтегазовых компаний: инвестиционный анализ и оценка рисков / Д. Чапайкин // Энергетическая политика. – 2022. – № 9 (175). – С. 80–91. DOI: 10.46920/2409-5516_2022_11177_80.
14. Kendall Jr J. J., Marino E. K., Briscoe M. G., Cluck R. E., McLean C. N., Wiese F. K. (2022) Research partnerships and policies: a dynamic and evolving nexus // Science of Sustainable Systems, 3, pp. 183–197. DOI: 10.1016/B978-0-323-90427-8.00011-3.
15. Wiese F. K., Auad G., Marino E. K., Briscoe M. G. (2022) Lessons learned from nine partnerships in marine research // Science of Sustainable Systems, № 1, pp. 167–181. DOI: 10.1016/B978-0-323-90427-8.00010-1.
16. Шпуров, И. Создание ресурсного суверенитета как основа устойчивого развития России до 2050 года / И. Шпуров, О. Трофимова // Энергетическая политика. – 2022. – № 12 (178). – С. 12–17. DOI: 10.46920/2409-5516_2022_12178_12.
17. Симачев, Ю. В. Российская промышленная политика в условиях трансформации системы мирового производства и жестких ограничений / Ю. В. Симачев, А. А. Федонина, М. Г. Кузык // Вопросы экономики. – 2022. – № 6. – С. 5–25. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-6-5-25.
18. Verde S. F., Acworth W., Borghesi S. (2020) Achieving zero emissions under a cap-and-trade system // Environmental Science, № 2, pp. 320–343. DOI: 10.2870/343248.

19. *Фадеев, А. М.* Промышленная поддержка энергетических проектов в рамках развития «голубой экономики» в Арктике / А. М. Фадеев, С. С. Вопиловский, С. В. Федосеев, К. С. Зайков [и др.] // Устойчивое развитие. – 2022. – 14(22), 15346. DOI:10.3390/su142215346.

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

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

22. *Зайченко, В. М.* Развитие возобновляемой и водородной энергетики в России / В. М. Зайченко, В. А. Лавренов, А. А. Чернявский, А. Л. Шевченко // Альтернативная энергетика и экология. – 2021. – № 25–27 (382-384). – С. 64–71. DOI: 10.15518/isjaee.2021.09.064-071.

23. *Ефимов, И. П.* Кадровая потребность экономики российской Арктики: взгляд в будущее / И. П. Ефимов, В. А. Гуртов, И. С. Степун // Вопросы экономики. – 2022. – № 8. – С. 118–132. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-8-118-132.

24. *Вопиловский, С. С.* Тенденциозность надежного развития российской энергетики / С. С. Вопиловский // Научное обозрение: теория и практика. – 2022. – Т. 12, №:4 (92). – С. 682–695. DOI: 10.35679/2226-0226-2022-12-4-682-695.

25. James J. Kendall Jr. Elizabeth K. Marino. Melbourne G. Briscoe. Rodney E. Cluck. Craig N. McLean. Francis K. Wiese. (2022) Research partnerships and policies: a dynamic and evolving nexus // Science of Sustainable Systems, 2, pp. 183–197. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90427-8.00011-3>.

26. Grafström J., Söderholm P., Gawel E., Lehmann P., Strunz S. (2020) Government support to renewable energy R&D: Drivers and strategic interactions among EU member states. Economics of Innovation and New Technology, 32(1), pp. 1–24. <https://doi.org/10.1080/10438599.2020.1857499>.

27. *Новак, А.* Атомная энергия XXI века: доступность, экологичность, надежность / А. Новак // Энергетическая политика. – 2022. – № 12 (178). – С. 6–11. DOI: 10.46920/2409_5516_2022_12178_6.

28. *Адамов, Е. О.* К вопросу о различных подходах к национальной стратегии развития ядерной энергетики / Е. О. Адамов, В. К. Иванов, Ю. С. Мочалов, В. И. Рачков [и др.] // Атомная энергия. – 2022. – № 3. – С. 131–141.

References

1. Mara D., Nate S., Stavytskyy A., Kharlamova G. (2022). The place of energy security in the national security framework: An assessment approach. Energies, Vol. 15, No. 2, pp. 1–17, article 658. <https://doi.org/10.3390/en15020658>.

2. Klimova M. V. (2022) State and energy security in the world and Europe as a public good // Questions of Economics, No. 6, pp. 110–125. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-6-110-125.

3. Szalbierz Z., Ropuszyńska-Surma E. (2017) Energy security as a public good. E3S Web of Conferences, Vol. 14, pp. 1–10. article 01005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20171401005>.

4. Goldthau A. A. (2012) Public policy perspective on global energy security. International Studies Perspectives, Vol. 13, No. 1, pp. 65–84. <https://doi.org/10.1111/j.1528-3585.2011.00448.x>

5. Ershov M. V. (2022) The Russian economy in the context of new sanctions challenges // Questions of Economics, No. 12. pp. 5–23 DOI: 10.32609/0042-8736-2022-12-5-23.

6. Bollen J., Hers S., van der Zwaan B. (2010) An integrated assessment of climate change, air pollution, and energy security policy. *Energy Policy*, Vol. 38, No. 8, pp. 4021–4030. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.026>.
7. Nevzorova A. I., Kucherov V. G. (2022) The concept of a technological innovation system: main provisions and opportunities // *Questions of Economics*, No. 5. pp. 99–120. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-5-99-120.
8. Afanasyeva O., Mingaleeva G., Nabiullina M. (2022) Prospects for the development of hybrid sources of autonomous energy supply // *Energy Policy*, No. 9 (175). pp. 88–99. DOI: 10.46920/2409-5516_2022_9175_88.
9. Stiglitz J. E. (2021) The proper role of government in the market economy: The case of the post-COVID recovery. *Journal of Government and Economics*, Vol. 1, pp. 1–7. article 100004. <https://doi.org/10.1016/j.jge.2021.100004>.
10. Yergin D. (2006) Ensuring energy security. *Foreign Affairs*, Vol. 85, No. 2, pp. 69–82. <https://doi.org/10.2307/20031912>.
11. Avdeeva O. A. (2022) China's high-tech exports in 2000-2020 // *Issues of Economics*, No. 6. pp. 126–143. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-6-126-143
12. Stennikov V. A., Barakhtenko E. A., Maiorov G. S. (2022) Load distribution between sources in a hierarchical integrated energy system using multi-agent technologies. *Energetik*, No. 11. P. 39–44.
13. Chapaikin D. (2022) Internet of Things as a Platform for Transforming Business Models of Oil and Gas Companies: Investment Analysis and Risk Assessment // *Energy Policy*, No. 9 (175). pp. 80–91. DOI: 10.46920/2409-5516_2022_11177_80.
14. Kendall Jr J. J., Marino E. K., Briscoe M. G., Cluck R. E., McLean C. N., Wiese F. K. (2022) Research partnerships and policies: a dynamic and evolving nexus // *Science of Sustainable Systems*, No 3. pp. 183–197. DOI: 10.1016/B978-0-323-90427-8.00011-3.
15. Wiese F. K. Auad G., Marino E. K., Briscoe M. G. (2022) Lessons learned from nine partnerships in marine research // *Science of Sustainable Systems*, No. 1, pp. 167–181. DOI: 10.1016/B978-0-323-90427-8.00010-1
16. Shpurov I., Trofimova O. (2022) Creation of resource sovereignty as a basis for Russia's sustainable development until 2050 // *Energy Policy*, No. 12 (178). pp. 12–17. DOI 10.46920/2409-5516_2022_12178_12.
17. Simachev Yu. V., Fedyunina A. A., Kuzyk M. G. (2022) Russian Industrial Policy in the Conditions of Transformation of the World Production System and Severe Restrictions // *Questions of Economics*, No. 6. pp. 5–25 DOI: 10.32609/0042-8736-2022-6-5-25.
18. Verde S. F., Acworth W., Borghesi S. (2020) Achieving zero emissions under a cap-and-trade system // *Environmental Science*, No. 2, pp. 320–343. DOI: 10.2870/343248.
19. Fadeev A. M., Vopilovskiy, S. S., Fedoseev S. V., Zaikov K. S., Kuprikov N. M., Kuprikov M. Y., Avdonina N. S. (2022) Industrial Support of the Energy Projects as a Part of the Blue Economy Development in the Arctic. *Sustainability*, No. 14, 15346. DOI:10.3390/su142215346.
20. Vopilovskiy S. S. (2022) Strategic Trends in Energy Development of the Northern Territories of Russia. *Arktika i Sever [Arctic and North]*, No. 49, pp. 23–37. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2022.49.23.
21. Vopilovskiy S. S. (2022) Foreign economic partners of Russia in the Arctic zone // *Arctic and North*, No. 46. pp. 33–50. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2022.46.33.
22. Zaichenko V. M., Lavrenov V. A., Chernyavsky A. A., Shevchenko A. L. (2021) Development of renewable and hydrogen energy in Russia // *Alternative Energy and Ecology*, No. 25–27 (382-384). pp. 64–71. DOI: 10.15518/isjaee.2021.09.064-071.

23. Efimov I. P., Gurtov V. A., Stepus I. S. (2022) Personnel needs of the economy of the Russian Arctic: a look into the future // *Questions of Economics*, No. 8. pp. 118–132. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-8-118-132.

24. Vopilovskiy S. S. (2022) Tendentiousness of the reliable development of the Russian energy industry // *Scientific Review: Theory and Practice*, V.12. No: 4 (92). pp. 682–695. DOI: 10.35679/2226-0226-2022-12-4-682-695.

25. James J. Kendall Jr. Elizabeth K. Marino. Melbourne G. Briscoe. Rodney E. Cluck. Craig N. McLean. Francis K. Wiese. (2022) Research partnerships and policies: a dynamic and evolving nexus // *Science of Sustainable Systems*, No. 2. pp. 183–197 <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90427-8.00011-3>.

26. Grafström J., Söderholm P., Gawel E., Lehmann P., Strunz S. (2020) Government support to renewable energy R&D: Drivers and strategic interactions among EU member states. *Economics of Innovation and New Technology*, No.32(1), pp. 1–24. <https://doi.org/10.1080/10438599.2020.1857499>.

27. Novak A. (2022) Nuclear energy of the 21st century: availability, environmental friendliness, reliability // *Energy Policy*, No. 12 (178). pp. 6–11. DOI 10.46920/2409-5516_2022_12178_6.

28. Adamov E. O., Ivanov V. K., Mochalov Yu. S., Rachkov V. I., Shadrin A. Yu., Khomyakov Yu. S., Lachkanov E.V.1., Orlov A. I. (2022) On the question of different approaches to the national strategy for the development of nuclear energy // *Atomnaya Energiya*, No. 3. pp. 131–141.

S. S. Vopilovskiy²⁷. Judgement on the Formation of Economic and Technological Development of Wind Energy. Russia's energy security is a critical infrastructure for economic and national integrity. The study examines the possibilities for creating alternative generating energy capacities using renewable energy sources – wind farms. The attention of the world community in climate conservation on a planetary scale is noted, which is expressed in multilateral agreements and other legal acts that make up the international institutional framework for the development of renewable energy. It is indicated that the presence of high technologies and exceptional competencies of the world's leading companies create conditions for the production of unique wind turbines and the development of a software and hardware system for managing wind farms. On the basis of technologies developed in world practice for the construction of wind turbines and wind farms. A proposal was made on the need to develop high-tech industries to create wind power plants of various capacities for the climatic conditions of Russia, which will increase the economic and technological potential of the country's regions. It has been determined that the energy efficiency largely depends on the availability of innovative technologies, research and development, highly qualified specialists, and financial resources of companies. The largest modern manufacturers of wind turbines in economic regions, the trends of their further expansion are presented. The purpose of the study is to assess the state and dynamics of the prospective development of wind power plants in the global energy sector.

Keywords: economics, energy, wind power plants, generation, renewable energy sources, technologies, competencies, energy security.

²⁷ *Sergei S. Vopilovskiy*, Associate Professor, Senior Researcher, Luzin Institute for Economic Studies – Subdivision of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences” (Fersman str., 24a, Apatity, 184209, Russia), Candidate of Economic Sciences, e-mail: simonovich.63@yandex.ru.