

Возобновляемые источники энергии: панацея для глобальной электроэнергетики или нет?

Андрей КАПЛИЕНКО

Борис ГАБАРАЕВ

Прежде всего необходимо пояснить, что понимается под возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) и какова их роль в жизни современных стран. В отличие от ископаемых энергоносителей ВИЭ представляют собой энергоресурс, постоянно возобновляемый природой независимо от человека.

К наиболее востребованным и перспективным видам ВИЭ относятся гидроэлектростанции (ГЭС), солнечные электростанции (СЭС), ветровые электростанции (ВЭС). Следует отметить, что использование энергии движения воды, ветра или солнца отнюдь не является изобретением XX или XXI в. Человечество уже много веков назад использовало лопастные водяные насосы для подъёма воды при орошении полей, энергию ветра в ветряных мельницах и на парусниках, энергию солнца в теплицах и т. п. Новизна применения ВИЭ состоит в том, что в этот раз человечество обратилось к ним с целью получения электроэнергии.

КАПЛИЕНКО Андрей Владимирович – доктор технических наук, генеральный директор АО «НИКИЭТ». *E-mail:* avkaplienکو@nikiet.ru

ГАБАРАЕВ Борис Арсентьевич – доктор технических наук, профессор НИУ МЭИ, Заслуженный энергетик РФ, научный руководитель по научно-технической информации АО «НИКИЭТ». *E-mail:* boris-gabaraev@yandex.ru

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии СЭС, ВЭС, ГЭС, АЭС, глобальное потепление атмосферы, безуглеродная энергетика, ядерная энергетика.

В **ГЭС** энергия напора воды преобразуется с помощью гидроагрегата в электроэнергию.

ГЭС бывают плотинные, приплотинные и деривационные. Их годовая выработка электроэнергии зависит от гарантированной обеспеченности водой круглый год. Засушливый год может стать причиной пониженной годовой выработки электроэнергии. В мировой гидроэнергетике используются малые ГЭС электрической мощностью в несколько мегаватт, средние ГЭС мощностью в несколько десятков мегаватт и гигантские ГЭС мощностью в несколько тысяч мегаватт.

ВЭС преобразуют кинетическую энергию воздушных масс в механическую энергию вращающейся части, преобразуемую генератором в электроэнергию.

По месту размещения различают наземные, горные, прибрежные, шельфовые, плавающие и парящие ВЭС. Ориентация ротора возможна вертикальная или горизонтальная. Вращающаяся часть может быть выполнена в виде лопастей или безлопастной.

Мощность и размеры ветрогенератора зависят от целей его применения. Ветрогенераторы малой мощности предназначены для использования в домохозяйствах, а крупные ветрогенераторы большой мощности объединяют в так называемые ветропарки, представляющие собой ВЭС.

Разумеется, для эффективной работы ветрогенератора необходимо, чтобы постоянно дул достаточный сильный ветер.

СЭС бывают тепловые (коллекторные) или фотоэлектрические.

Тепловые СЭС концентрируют солнечную энергию на мишени, в которой находится рабочее тело теплового двигателя Стирлинга (например, вода, воздух, фреоны, или жидкометаллический теплоноситель). Посредством двигателя Стирлинга и электрогенератора тепловая энергия рабочего тела преобразуется в электрическую.

В коллекторных СЭС башенного типа на вершине башни установлена ёмкость с теплоносителем, которая является мишенью для солнечных лучей, отражённых от нескольких тысяч автоматически ориентирующихся гелиостатов (зеркал), тогда как в СЭС с параболоцилиндрическим коллектором мишень представляет собой трубку с рабочим телом двигателя Стирлинга, расположенную вдоль оси желоба с параболическим поперечным сечением.

Фотоэлектрические СЭС осуществляют прямое преобразование световой энергии солнца в электроэнергию, основанную на известном явлении возникновения электродвижущей силы при воздействии фотонов солнечного света на полупроводник (например, на кремниевую пластину). Для получения нужного напряжения фотоэлементы располагают последовательно в фотоэлектрические модули, которые соединяют параллельно в фотоэлектрическую батарею требуемой мощности (силы тока), образуя солнечные панели. Эти панели могут использоваться как в качестве автономного источника электроэнергии для домохозяйств, так и в виде элементов СЭС промышленного масштаба.

Такие СЭС могут быть наземными, плавучими и азоростатными.

Тепловые СЭС используют только в промышленных масштабах, тогда как фотоэлектрические СЭС применяют как в отдельных домохозяйствах (например, в виде кровельных солнечных панелей), так и в промышленных масштабах. Иногда СЭС бывают гибридного типа с использованием тепловых (коллекторных) и фотоэлектрических устройств. Как нетрудно понять, эффективность СЭС зависит от метеорологических условий, географического положения, поддержания светочувствительной поверхности солнечной панели, а в условиях домохозяйства следует избегать затенения панели другими предметами (деревьями, другими частями кровли и т. п.).

Понятно, что ГЭС, ВЭС и СЭС имеют общее преимущество перед электростанциями на ископаемом топливе, так как для их работы нет необходимости в каком-либо топливе, будь то уголь, нефть, природный газ, уран или торий. Следовательно, исключены затраты на приобретение, доставку и хранение топлива, утилизацию его отходов. Не нужно тревожиться по поводу исчерпания ресурсов ископаемого топлива в масштабах государства или планеты.

Причины повышенного интереса различных государств к СЭС и ВЭС

Ещё полтора-два десятка лет назад уверенное применение из рассмотренных ВИЭ находили только ГЭС. Правда, дальнейшее расширение этого сектора генерации электрической энергии встречает ряд препятствий, связанных с различными неблагоприятными аспектами гидроэнергетики.

Первое из этих препятствий, строго говоря, не является напрямую принципиальным недостатком. Проблема заключается в том, что даже при наличии рек число потенциально пригодных мест для сооружения ГЭС во многих государствах, особенно с небольшой территорией, довольно ограничено. В частности, это касается ряда европейских стран: их гидроэнергетический ресурс уже исчерпан или близок к этому, им негде построить ГЭС требуемой мощности.

Второй аспект можно считать недостатком особенно применительно к ГЭС, сооружаемым в равнинных местностях, так как происходит отчуждение значительной территории, иногда даже с затоплением населённых пунктов. Водохранилища ГЭС имеют не только плюсы.

Применительно к Волге эта ситуация рассмотрена в работе Б.А. Габараева и С.З. Лутовинова [1].

После наполнения чаши Рыбинского водохранилища ушла под воду и была изъята из хозяйственного оборота восьмая часть ярославской земли, затоплены шесть монастырей и 50 храмов.

Как известно, плотины ГЭС препятствуют продвижению проходной рыбы, стремящейся к местам нереста, а обходные каналы (так называемые рыбоходы) решают проблему только частично. Водохранилища нередко приводят в непригодность места для нереста, что затрудняет размножение даже той рыбы, что чудом добралась до своей «исторической родины».

Вызывает большую тревогу вопрос о возможных последствиях катастрофического разрушения плотин на водохранилищах в случае военных действий или террористического акта.

Действия ВСУ Украины в отношении плотины Каховской ГЭС поневоле заставляют задуматься о безопасности плотин, в том числе и на Волге.

Вместе с тем основная опасность для плотин исходит не от вероятных действий военного противника или

¹ Габараев Б.А., Лутовинов С.З. «Издавна долго текла когда-то Волга» – к вопросу об истинной цене волжской гидроэлектроэнергии и речных перевозок // Обозреватель-Observer. 2013. № 12.

террористической организации, а от потенциального бездействия тех, кто отвечает за соответствие плотины водохранилища требованиям безопасности. По утверждениям ряда специалистов, проектный ресурс плотины Рыбинского водохранилища составляет 50 лет, а она выдерживает напор Волги уже более 65 лет*.

Во Франции в 1959 г. рухнула плотина на р. Рейран, погибло 423 чел., в 1963 г. в Италии из-за частичного разрушения плотины на р. Пьяве погибло до 2500 чел.

Самая разрушительная авария случилась в Китае в 1975 г. при разрушении сравнительно небольшой (высота 25 м и длина 120 м) грунтовой плотины ГЭС Байнцяо на р. Жухэ, когда в результате наводнения погибло 26 тыс. чел., а из-за последующего голода и эпидемии умерло ещё 145 тыс. чел.

Во время аварии, случившейся 2009 г. на Саяно-Шушенской ГЭС, персоналу удалось предотвратить разрушение плотины, чем и объясняется то, что погибли десятки человек, а не тысячи.

В силу перечисленных выше обстоятельств во многих государствах воздерживаются, без особой необходимости, от планов сооружения ГЭС большой мощности. Зато СЭС и ВЭС стали предметом повышенного интереса со стороны очень многих государств. На это имеется целый ряд причин экономического, экологического и политического толка.

Во-первых, известно, что каждое суверенное государство так или иначе старается обеспечить свою безопасность. Как показала суровая современность, государственная безопасность – понятие многогранное.

Есть безопасность военная, безопасность продовольственная, безопасность демографическая и ещё много других граней национальной безопасности. Наверное, никто не сомневается, что далеко не последнее место в этом ряду занимает энергетическая безопасность.

Государство должно располагать достаточно большими источниками энергоносителей в виде ископаемого топлива или гидроэнергетических ресурсов либо иметь весьма внушительные финансовые средства, которые сможет выделять на импорт электрической энергии и (или) энергоносителей в виде угля, нефти, природного газа или урана. Однако в непростых геополитических условиях современности даже наличие финансовых средств не всегда может служить гарантией доступности энергетических ресурсов.

Достаточно вспомнить Армению, которую в своё время блокада со стороны Азербайджана лишила возможности получать топливо из России на фоне немотивированного прекращения эксплуатации Армянской АЭС.

Следовательно, из соображений энергетической безопасности для любого государства важнее располагать собственными энергетическими ресурсами, чем полагаться на возможность их приобретения у других.

Если природа обделила ту или иную страну собственными топливными ископаемыми (уголь, нефть, природный газ, уран или торий) и свободными гидроэнергетическими ресурсами, то вполне естественно

* В журнале «Гидротехническое строительство» (2010. № 7) опубликована статья Н.К. Розенталя и др. «Состояние бетона гидротехнических сооружений Рыбинского гидроузла», содержащая весьма тревожную информацию об этой плотине.

его обращение к тем энергоресурсам, которые по своей природе не признают государственных границ. В первую очередь это относится к энергии ветра и солнечной энергии. Солнце светит всем, хоть и не везде одинаково, ветер дует везде, пусть даже с перерывами. Отсюда стремление энергоресурсодефицитных государств к разработке и сооружению солнечных (СЭС) и ветровых электростанций (ВЭС). Пожалуй, это самая большая группа государств на Земле.

К представителям данных стран относятся: совершенно обделённая энергоресурсами Япония; Китай с его огромными запасами угля и острой нехваткой нефти и газа; Бразилия с дефицитом природного газа и угля для тепловых электростанций; Индия, занимающая по состоянию на 2020 г. вторую позицию в мире по потреблению и импорту угля, третью – по потреблению и импорту нефти, четвёртую – по импорту СПГ [2].

Многие из стран этой группы уже добились значительных успехов в разработке и внедрении ВИЭ.

Индия является страной, работающей над применением ВИЭ.

Правительство индийского штата Надья Прадеш подписало 4 августа 2022 г. контракты с тремя компаниями на сооружение самой мощной в мире плавучей СЭС мощностью 0,6 ГВт в акватории водохранилища Омкарешвар [3].

Для большей наглядности порядка приводимых здесь и далее значений мощности ГЭС, ВЭС и СЭС напомним, что в мировой атомной энергетике мощность одного энергоблока АЭС примерно равна 1 ГВт.

Концепцию плавучей СЭС выбирают так, чтобы избежать изъятия земли из хозяйственного оборота и одновременно снизить потери воды, связанные с её испарением. Кроме того, вода охлаждает солнечные панели, благодаря чему повышается эффективность аккумуляции солнечной энергии и её преобразования в электрическую.

Что касается **Китая**, то он стал бесспорным мировым лидером в области ГЭС, ВЭС и СЭС.

Китай приступил к реализации гигантского комплекса СЭС и ВЭС в пустыне Гоби с её сильными ветрами, высокой инсоляцией и обилием свободных площадей [4]. Суммарная мощность комплекса составляет 415 ГВт.

Для сравнения: суммарная мощность мировой атомной энергетики в 2021 г. была равна 389 ГВт. Четыре китайские ГЭС вошли в первую десятку крупнейших ГЭС мира. Самая мощная в мире ГЭС «Три ущелья» мощностью 22,5 ГВт также сооружена Китаем на р. Янцзы. Она уступает суммарной мощности российских АЭС только на 7 ГВт, дающие 20% всей электроэнергетики России.

США тоже уделяют повышенное внимание расширенному применению ВИЭ.

² Мастепанов А., Сумин А. Энергетическая политика Индии в период энергетического перехода // URL: <https://energypolicy.ru/a-mastepanov-a-sumin-energeticheskaya/energetika/2020/16/10/>

³ Amit Mishra. Madhya Pradesh Inks Contract for World's Largest Floating Solar Power Project. Aug. 4, 2022 // URL: <https://swarajyamag.com/infrastructure/madhya-pradesh-inks-contract-for-worlds-largest-floating-solar-power-project>

⁴ Китай запустил крупномасштабный проект по созданию солнечной и ветровой энергетики в пустыне Гоби // Научный портал «Атомная энергия». 2.0. 2022 г. 9 марта // URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2022/03/10/122638>

По данным Глобального совета по ветроэнергетике [5], прирост мировой ветровой энергетики в 2021 г. составил 94 ГВт, из них на долю США пришлось 13 ГВт. По показателям солнечной энергетики США уступают только Китаю, но с очень большим отставанием.

Во-вторых, к применению ВИЭ вдруг обратились страны, отнюдь не страдающие от дефицита ископаемых видов топлива. Для примера достаточно привести **Объединённые Арабские Эмираты** и **Саудовскую Аравию**. Вряд ли лидеры этих стран знакомы с крылатой фразой знаменитого русского химика Д.И. Менделеева: «Сжигать нефть всё равно, что топить печку ассигнациями», но они точно уверены, что сжигание нефти и газа далеко не самый прибыльный способ использования, так как углеводороды представляют собой незаменимое ценное сырьё многих отраслей химической промышленности.

Так, например, саудовская энергетическая компания ACWA Power и государственный инвестиционный фонд объявили (30 ноября 2022 г.) о планах построить крупнейшую на Ближнем Востоке и в Северной Африке солнечную электростанцию мощностью около 2 ГВт [6]. Ожидается, что проект будет осуществляться поэтапно, последний из них будет завершён в последнем квартале 2025 г. Проект реализуется в рамках стратегии, направленной на диверсификацию национальной экономики и развитие несырьевой сферы.

В-третьих, за последние четыре десятилетия резко активизировались учёные и политики, встрево-

женные повышением температуры земной атмосферы и тенденцией к увеличению числа неблагоприятных природных явлений (засухи, наводнения и т. п.). Они пришли к выводу, что причиной этой статистики является возросший масштаб негативного воздействия деятельности человека на окружающую среду, так как глобальное потепление (на несколько градусов) может привести к необратимым процессам, которые будут угрожать самому существованию человечества.

Причиной глобального потепления является так называемый парниковый эффект – повышение температуры поверхности земли из-за нагрева нижних слоёв атмосферы скоплением парниковых газов, и температура воздуха оказывается выше, чем должна быть. Это ведёт к таким необратимым последствиям, как климатические изменения и глобальное потепление. С увеличением масштабов деятельности человечества и её диверсификацией всё происходит согласно классике марксизма о «переходе количества в качество».

Защитники климата определили в качестве главного виновника CO₂ – газообразный продукт окисления углерода – углекислый газ простому, двуокись углерода или диоксид углерода по-учёному. Идёт многолетний спор между сторонниками и противниками гипотезы парникового эффекта. Последние утверждают, что масштабы техногенной деятельности человечества не

⁵ Global Wind Report 2022 – Global Wind Energy Council // URL: <https://gwec.net/global-wind-report-2022/>

⁶ Саудовская Аравия построит крупнейшую в регионе солнечную электростанцию к 2025 году // ТАСС 30 ноября 2022 г. // URL: <https://tass.ru/ekonomika/16464533>

могут вызывать подобных явлений, а указывают на различные циклические природные процессы, которые происходили в прошлом и могут происходить в атмосфере и океане без всякой связи с техногенными факторами. Приводятся примеры ледниковых периодов, сменявшихся тёплыми периодами.

Правительства подавляющего большинства стран мира, понимая ответственность за судьбы своего населения, стали обсуждать на климатических форумах возможные способы исключения парникового эффекта.

Киотский протокол об изменении климата (1997 г.), Парижское соглашение по климату (2015 г.) и Климатический пакт Глазго (2021 г.), подписанные правительствами без малого 200 государств, призывают человечество к сокращению глобальных выбросов парниковых газов, чтобы не допустить к концу XXI в. повышения температуры земной атмосферы более чем на полтора градуса по Цельсию.

В первую очередь подразумевается сокращение выбросов CO₂. В качестве главной угрозы назван углерод, хотя и он когда-то в древности оказал важную услугу человеку в его эволюции, так как приручённый человеком огонь представляет собой не что иное, как реакцию соединения углерода с кислородом с образованием CO₂.

Именно поэтому с лёгкой руки защитников климата на языках народов мира появились применительно к углероду такие выражения, как:

декарбонизация, безуглеродная технология, углеродная нейтральность, углеродный след, дорожная карта достижения углеродной нейтральности и т. п. Так как генерация электроэнергии, основанная на сжигании ископаемого топлива, является, бесспорно, одним из самых крупных техногенных источников поступления CO₂ в атмосферу, то были приговорены к скорейшему искоренению тепловые электростанции (ТЭС), использующие в качестве топлива уголь, нефть и природный газ. Перед правительствами почти 200 государств, подписавшими протоколы, соглашения и пакты в рамках Конвенции ООН об изменении климата, поставлены задачи постепенного отказа от тепловых электростанций с тем, чтобы к 2050 г. достичь состояния нулевого выброса углерода, а точнее CO₂, в атмосферу. Многие государства добровольно приняли на себя обязательства по постепенному снижению своего вклада в загрязнение земной атмосферы.

В частности, председатель КНР Си Цзиньпин в своём видеовыступлении на Генеральной Ассамблее ООН (февраль 2020 г.) заявил, что целями его государства являются «прохождение в 2030 году пика выбросов CO₂ и достижение угольной нейтральности к 2060 году» [7]. Это заявление Си Цзиньпина дорогого стоит, так как на Китай приходится почти 30% мирового объёма выбросов CO₂.

В-четвёртых, справедливости ради следует отметить, что заметный вклад в парниковый эффект вносит транспорт (автомобили, авиация, тепловозы, морские и речные суда) и

⁷ China calls for global green revolution in the post-COVID era // China Global Television Network CGTN. 24 Sep 2020 // URL: <https://news.cgtn.com/news/2020-09-22/Xi-Jinping-China-aims-to-achieve-carbon-neutrality-by-2060-TZX22EfJiE/index.html>

некоторые отрасли промышленности, например нефтехимия и металлургия. Защитники климата уповают на то, что данная проблема вполне решается переводом транспорта и экологически неблагоприятной промышленности на безуглеродное топ-

ливо, а именно на водород либо на электрическую энергию. Вполне логично задаться вопросом, откуда же возьмутся необходимые для этого водород и электрическая энергия, особенно на фоне глобально озвученного тезиса об отказе от ТЭС?

О замещении «приговорённых» ТЭС и переходе к безуглеродной водородной экономике

Защитники климата имеют, как и следовало ожидать, готовый ответ на этот вопрос.

По их мнению, проблема решается полным переходом на ВИЭ, так как у этих источников энергии нет углеродного следа. В октябре 2021 г. был опубликован отчёт Международного энергетического агентства (МЭА)^{*} с весьма говорящим названием «Углеродная нейтральность к 2050 году. Дорожная карта секторов глобальной энергетики» [8].

Для предотвращения климатического коллапса на планете необходимо, как отмечено в международных климатических протоколах и соглашениях, удерживать в XXI в. прирост глобальной средней температуры «существенно ниже» 2 °С и «приложить усилия» для ограничения потепления величиной 1,5 °С. Фундаментальный прогноз МЭА, подкреплённый уже состоявшимися темпами развития ВИЭ в мире и обязательствами крупнейших стран, свидетельствует о достижимости

этой цели. Казалось бы, всё как после знаменательного XXII съезда КПСС: «Цели ясны, задачи определены. За работу, товарищи!»

Действительно, бесспорными концептуальными преимуществами видов ВИЭ (ГЭС, ВЭС и СЭС) является их способность работать без ископаемого топлива и отсутствие выбросов CO₂. Реализуемые в настоящее время проекты ВИЭ вызывают большое уважение разнообразием и изобретательностью заложенных в них технических решений. Вместе с тем применительно к ВЭС и СЭС следует задать на том же концептуальном уровне (т. е. без обсуждения конкретики технических решений) следующие вопросы.

1. Ветровая и солнечная энергия относятся к рассеянным видам энергии, вследствие чего ВЭС и СЭС требуют отчуждения значительных площадей.

Для таких крупных стран, как, например, Россия, Китай, США или Индия, это не составляет особой пробле-

⁸ Net Zero by 2050. A Road for the Global Energy Sector. IEA October 2021 // URL: https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf

^{*} Членами МЭА являются практически все страны Европейского союза (ЕС), а также США, Канада, Корея, Мексика, Турция. В качестве ассоциированных членов в МЭА фигурируют ещё 11 государств, среди которых можно назвать Китай, Индию, Бразилию, Индонезию и даже Украину.

мы. Кроме того, даже небольшие по площади прибрежные страны могут строить в море шельфовые или плавающие ВЭС. В странах с большими водохранилищами тоже возможно сооружение плавучих СЭС. Однако остаётся вопрос в отношении густонаселённых стран, не имеющих выхода к морю для строительства ВИЭ морского базирования. К ним относятся многие европейские страны.

2. Для прогнозируемого стремительного увеличения суммарной мировой мощности ВЭС и СЭС потребуется обеспечить столь же стремительное увеличение объёма материалов, необходимых для сооружения этих электростанций. Иными словами, реализация углеродной нейтральности энергетики означает переход от топливоёмкой энергетики к материалоёмкой. Причём для сооружения ветрогенераторов необходимы конструкционные и электропроводящие материалы (сталь, медь, полимеры), а для изготовления солнечных панелей потребуются алюминий, медь и такие редкие материалы, как никель, кобальт, литий, платина и кадмий.

Сможет ли промышленность обеспечить необходимый рост объёма производства этих материалов?

Можно не сомневаться, что Китаю это окажется под силу по всем материалам, а возможности многих стран, включая даже США, вызывают сомнения.

3. Производство материалов для сооружения ВЭС и СЭС связано с энергоёмкими и технологически сложными процессами, которые на современном (пока ещё «углеродном» этапе развития мировой энергетики) сопровождаются существенными выбросами CO_2 .

Вполне естественно задаться вопросом, не является ли это своего рода углеродным следом, казалось бы, безупречных ВИЭ?

4. Рано или поздно срок службы любой электростанции завершается, после чего следует приступить к её утилизации. Применительно к ветрогенераторам придётся решать в числе прочих проблему утилизации отработавших лопастей турбины, изготовленных из полимерных материалов. Не меньшую проблему представляет утилизация солнечных панелей, содержащих помимо алюминия и меди целый ряд токсичных металлов.

Снова встаёт вопрос, не является ли это проявлением углеродного следа ВИЭ?

5. Рациональное применение ВЭС и СЭС нередко увязывается с применением тех или иных систем хранения электрической энергии, компенсирующих неизбежную неравномерность выработки электрической энергии ветрогенераторами и солнечными панелями. Кроме того, с развитием этих видов ВИЭ предполагается совершить переход даже к водородной энергетике, а точнее – к водородной экономике, предполагающей повсеместное использование водорода в качестве энергоносителя. Водородная экономика будет связана с применением электролизеров для получения водорода из воды, топливных элементов для получения электрической энергии из водорода.

В отношении материалов, необходимых для изготовления систем хранения электрической энергии, электролизеров, топливных элементов и прочих атрибутов водородной экономики, возникают те же вопро-

сы, что и в случае материалов для сооружения ветрогенераторов и солнечных панелей.

6. Как известно, в энергетике существует термин «коэффициент использования установленной мощности» – (КИУМ) энергоблока или электростанции. Он подразумевает отношение фактически выработанной электрической энергии за некий период времени к той величине электрической энергии, которая могла бы быть выработана электростанцией в результате её непрерывной работы на установленной мощности.

Для ТЭС или АЭС значение КИУМ несколько ниже единицы, но в расчёте, например, на год оно более или менее предсказуемо и практически никак не зависит от природных условий, тогда как для ВЭС или СЭС значение КИУМ значительно ниже единицы, а сила ветра или инсоляция могут сильно изменяться в течение суток. Кроме того, в случае ВЭС или СЭС значение КИУМ зависит от числа солнечных дней или постоянности ветра в местности, где эта станция расположена.

Поэтому при сравнении вклада ВИЭ в выработку электрической энергии с вкладом ТЭС и АЭС следует избегать прямого сопоставления по установленной мощности либо надо значение установленной мощности ВИЭ делить как минимум на три.

Для примера: в 2021 г. суммарные мощности всех ВЭС и фотоэлектрических СЭС мира составили соответственно 825 и 849 ГВт [9], а их совместный вклад в мировую выработку электрической энергии оказался равным 10,3% [10], из которых на ветровую энергетику пришлось 6,6%, а на солнечную энергетику – 3,7%.

Почти такой же 9,9%-ный вклад совместно внесли все АЭС мира в копилку мировой выработки электрической энергии в том же 2021 г. при суммарной мощности 400 ГВт [11], которая как минимум в четыре раза меньше суммарной мощности ВЭС и фотоэлектрических СЭС: $825 + 849 = 1674$ ГВт.

Иными словами, КИУМ мирового парка АЭС оказался в четыре раза больше, чем КИУМ мирового парка ВЭС и фотоэлектрических СЭС, т. е. в 2021 г. установленную мощность ВЭС и СЭС можно было бы смело делить даже не на три, а на четыре.

Разумеется, следует признать опережающий рост вклада этих видов ВИЭ в выработку электрической энергии, в том числе вполне допустимо, что КИУМ ВЭС и фотоэлектрических СЭС будет увеличиваться по мере совершенствования их технологий.

Однако КИУМ фотоэлектрических СЭС всегда будет зависеть от суточных, сезонных и случайных колебаний инсоляции, а КИУМ ВЭС будет всегда определяться переменчивостью скорости ветра.

Вышеприведённый простой арифметический пример должен уберечь от гипноза прямого сопоставления установленных мощно-

⁹ Установленная мощность ВИЭ-электростанций в мире превысила 3000 ГВт по итогам 2021 г. // URL: <https://in-power.ru/news/alternativnayaenergetika/44930-ustanovlennaja-moschnost-vie-elektrostantsii-v-mire-prevysila-3000-gvt.html>

¹⁰ Global Electricity Review 2022 EMBER // URL: <https://ember2022/03/Report-GER22.pdf>

¹¹ *Господарчик М.И.* Ядерная энергетика обеспечивала энергетическую безопасность за счёт повышенной выработки электроэнергии в 2021 году // Департамент атомной энергии МАГАТЭ. 10.08.2022 // URL: <https://www.iaea.org/ru/newscenter/news/yadernaya-energetika-obespechivalaenergeticheskuyu-bezopasnost-za-schet-povyshennoy-vyrabotki-elektroenergii-v-2021-godu>

стей электростанций разного принципа действия.

7. Этот вопрос следует рассматривать как самый актуальный.

Итак, согласно фундаментальному отчёту МЭА [8], в 2050 г.:

- нулевой выброс от всех электростанций мира;

- 88% электрической энергии приходится на ВИЭ (ВЭС + фотоэлектрические СЭС $\approx 70\%$), остальные 12% генерируют в основном АЭС, которые, при яростном сопротивлении «зелёных», чудом остались по классификации МЭА в секторе низкоуглеродной энергетики (хотя бы на переходном этапе).

Как нетрудно понять, при таком подходе без малого 90% мировой электрической энергии предполагается получать от тех источников, надёжность и эффективность которых сильно зависит от природных факторов: количества осадков для ГЭС, силы ветра для ВЭС, инсоляции для фотоэлектрических СЭС.

Даже кратное резервирование установленной мощности ВИЭ не снимает с повестки дня такой вопрос: сохраняется ли уязвимость электрогенерирующей системы в отношении отказа электростанций по общей причине, каковой может стать длительная засуха, извержение супервулканической системы или так называемая долгая ядерная зима, вероятность которой, к сожалению, пока не совсем исключена, судя по наблюдаемым турбулентным всплескам напряжённости международных отношений? Упомянуть на системы хранения электрической энергии, которые бы выручили мировое сообщество в таких даже маловероятных обстоятельствах, не приходится, если задуматься

о необходимых масштабах энергоёмкости и ресурсоёмкости подобных систем.

Таким образом, становится очевидным тот факт, что если придерживаться требования защитников климата об углеродной нейтральности мировой электрогенерирующей системы, то для устойчивости этой системы необходима диверсификация систем преобразования энергии, требуется существенно увеличить долю АЭС, а в более отдалённой перспективе, возможно, привлечь термоядерную энергетику.

В настоящее время ряд стран, к числу которых можно отнести Россию и Китай, активно занимаются эволюционным совершенствованием применяемых типов ядерных энергетических реакторов и разработкой инновационных энергетических реакторов.

Наиболее ярким и продвинутым примером разработки инновационной ядерной энерготехнологии является российский атомный проект «Прорыв», ориентированный на разработку, создание и промышленную реализацию замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ) на базе реакторов на быстрых нейтронах с целью развития крупномасштабной ядерной энергетики, отвечающей следующим требованиям:

- исключение тяжёлых аварий, требующих эвакуации населения;
- обеспечение конкурентоспособности на рынке электрогенерации;
- использование полного потенциала природного уранового сырья;
- радиационно-эквивалентное захоронение радиоактивных отходов;

– укрепление режима нераспространения ядерных материалов [12, 13].

Следует отметить, что в рамках проекта «Прорыв» на площадке Сибирского химического комбината уже развёрнуто сооружение опытно-демонстрационного энергетического комплекса в составе энергоблока с инновационным реактором БРЕСТ-ОД-300 со свинцовым теп-

лоносителем и замыкающего ядерный топливный цикл пристанционного завода. О международном признании научного уровня проекта «Прорыв» свидетельствует тот факт, что один из его идеологов, профессор В.В. Орлов, стал в 2022 г. лауреатом премии «Глобальная энергия», которую неформально называют Нобелевской премией по энергетике.

Итак, рассмотрение вариантов исследования источников возобновляемой энергии показывает:

1. Сторонники гипотезы о глобальном повышении температуры земной атмосферы смогли мобилизовать правительства практически всех стран мира на борьбу с парниковым эффектом, главным виновником которого обозначены выбросы диоксида углерода (CO_2). Не вникая в доводы сторонников и противников этой гипотезы, логично признать «крестовый поход» против выбросов CO_2 неизбежным процессом, в котором России необходимо участвовать, но с осознанным учётом своих национальных интересов.

2. Возобновляемые источники энергии, в первую очередь ветровая энергетика и солнечная энергетика, пока развиваются стремительно, однако сохранение этих темпов потребует соответствующих объёмов конструкционных и технологических материалов для самих электростанций, систем хранения электрической энергии, электролизеров для получения водорода, топливных элементов для получения электрической энергии из водорода и т. д. Вопрос заключается в достижимости обеспечения ожидаемых потребностей в конструкционных и технологических материалах, особенно таких редких, как никель, кобальт, литий, кадмий, платина и т. п. Не исключено, что в своём стремлении уйти от газовой зависимости от России некоторые страны окажутся в зависимости от стран, монопольно владеющих упомянутыми редкими материалами, например от Китая.

3. Если даже допустить, что возобновляемые источники энергии не будут ограничены в своём развитии нехваткой конструкционных и технологических материалов и поэтому смогут обеспечить общемировую потребность в электрической энергии, остаётся под вопросом устойчивость или уязвимость глобальной энергетической системы, в которой источники электрической энергии зависят от количества осадков, силы ветра и суточных, сезонных и случайных колебаний инсоляции.

¹² Белая книга ядерной энергетики. Замкнутый ЯТЦ с быстрыми реакторами / под общ. ред. проф. Е.О. Адамова. М.: Изд-во АО «НИКИЭТ», 2020 // URL: https://www.nikiet.ru/file/Belaya_kniga.pdf

¹³ О реализуемом Госкорпорцией «Росатом» проекте «Прорыв» // URL: <https://proryv2020.ru/>

Многokратное резервирование возобновляемых источников энергии по установленной мощности эту проблему только сглаживает, но не решает, особенно с учётом более низкого коэффициента использования установленной мощности подобных источников. Также не исключена, хоть и маловероятна, возможность отказа по общей причине, например, из-за длительной засухи, извержения супервулканической системы или так называемой долгой ядерной зимы, вероятность которой, к сожалению, пока не совсем исключена.

Иными словами, для обеспечения безопасности и надёжности глобальной энергетической системы необходима диверсификация источников энергии с привлечением стабилизирующего источника.

4. В условиях соблюдения требований защитников климата об углеродной нейтральности на роль стабилизирующего источника глобальной электроэнергетики может претендовать только ядерная энергетика, по крайней мере на период до практического освоения термоядерной. Следует отметить, что тех скромных 10–12% мировой электроэнергетики, которые отведены ядерной энергетике Международным энергетическим агентством, далеко не достаточно для гарантированного обеспечения устойчивости и надёжности системы обеспечения мира электрической энергией.

5. Для мировой ядерной энергетики открывается просторная ниша, в которой достойное место может занять и Россия. После перехода на инновационную энерготехнологию с быстрыми реакторами в замкнутом ядерном топливном цикле Россия сможет вместо отвергнутых углеводородов экспортировать электрическую энергию и водород. Что касается углеводородов, то они найдут иное полезное предназначение.

6. Таким образом, ответ на вопрос, поставленный в названии статьи, отрицательный, т. е. возобновляемые источники бесспорно перспективны, но сами по себе не могут обеспечить устойчивости глобальной электроэнергетики.

Библиография • References

Белая книга ядерной энергетики. Замкнутый ЯТЦ с быстрыми реакторами / под общ. ред. проф. Е.О. Адамова. М.: Изд-во АО «НИКИЭТ», 2020. – 502 с. // URL: https://www.nikiet.ru/file/Belaya_kniga.pdf

[Belaya kniga yadernoj energetiki. Zamknutyj YATC s bystryimi reaktorami / pod obshch. red. prof. E.O. Adamova. M.: Izd-vo AO «NIKIET», 2020. – 502 s. // URL: https://www.nikiet.ru/file/Belaya_kniga.pdf]

Габараев Б.А., Лутовинов С.З. «Издавна долго текла когда-то Волга» – к вопросу об истинной цене волжской гидроэлектроэнергии и речных перевозок // Обозреватель–Observer. 2013. № 12. С. 64–72.

[Gabaraev B.A., Lutovinov S.Z. «Izdavna dolgo tekla kogda-to Volga» – k voprosu ob istinnoj cene volzhskoj gidroelektroenergii i rechnyh perevozok // Obozrevatel'–Observer. 2013. № 12. S. 64–72]

Господарчик М.И. Ядерная энергетика обеспечивала энергетическую безопасность за счёт повышенной выработки электроэнергии в 2021 году // Департамент атомной энергии МАГАТЭ. 10.08.2022 // URL: <https://www.iaea.org/ru/newscenter/news/yadernaya-energetika-obespechivalaenergeticheskuyu-bezopasnost-za-schet-povyshennoy-vyrabotki-elektroenergii-v-2021-godu>

- [Gospodarchik M.I. Yadernaya energetika obespechivala energeticheskuyu bezopasnost' za schyot povyshennoj vyrabotki elektroenergii v 2021 godu // Departament atomnoj energii MAGATE. 10.08.2022 // URL: <https://www.iaea.org/ru/newscenter/news/yadernaya-energetika-obespechivalaenergeticheskuyu-bezopasnost-za-schet-povyshennoy-vyrabotki-elektroenergii-v-2021-godu>]
- Китай запустил крупномасштабный проект по созданию солнечной и ветровой энергетики в пустыне Гоби // Научный портал «Атомная энергия». 2.0. 2022 г. 9 марта // URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2022/03/10/122638>
- [Kitaj zapustil krupnomasshtabnyj proekt po sozdaniyu solnechnoj i vetrovoj energetiki v pustyne Gobi // Nauchnyj portal «Atomnaya energiya». 2.0. 2022 g. 9 marta // URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2022/03/10/122638>]
- Мастепанов А., Сумин А. Энергетическая политика Индии в период энергетического перехода // URL: <https://energypolicy.ru/a-masterpanov-a-sumin-energeticheskaya/energetika/2020/16/10/>
- [Mastepanov A., Sumin A. Energeticheskaya politika Indii v period energeticheskogo perekhoda // URL: <https://energypolicy.ru/a-masterpanov-a-sumin-energeticheskaya/energetika/2020/16/10/>]
- О реализуемом Госкорпорцией «Росатом» проекте «Прорыв // URL: <https://proryv2020.ru/>
- [O realizuemom Goskorporciej «Rosatom» proekte «Proryv // URL: <https://proryv2020.ru/>]
- Саудовская Аравия построит крупнейшую в регионе солнечную электростанцию к 2025 году // ТАСС 30 ноября 2022 г. // URL: <https://tass.ru/ekonomika/1646453>
- [Saudovskaya Araviya postroit krupnejshuyu v regione solnechnuyu elektrostanciyu k 2025 godu // TASS 30 noyabrya 2022 g. // URL: <https://tass.ru/ekonomika/1646453>]
- Установленная мощность ВИЭ-электростанций в мире превысила 3000 ГВт по итогам 2021 г. // URL: <https://in-power.ru/news/alternativnayaenergetika/44930-ustanovlennaja-moschnost-vie-elektrostancii-v-mire-prevysila-3000-gvt.html>
- [Ustanovlennaya moshchnost' VIE-elektrostancij v mire prevysila 3000 GvT po itogam 2021 g. // URL: <https://in-power.ru/news/alternativnayaenergetika/44930-ustanovlennaja-moschnost-vie-elektrostancii-v-mire-prevysila-3000-gvt.html>]
- Amit Mishra. Madhya Pradesh Inks Contract for World's Largest Floating Solar Power Project. Aug. 4, 2022 // URL: <https://swarajyamag.com/infrastructure/madhya-pradesh-inks-contract-for-worlds-largest-floating-solar-power-project>
- China calls for global green revolution in the post-COVID era // China Global Television Network CGTN. 24 Sep 2020 // URL: <https://news.cgtn.com/news/2020-09-22/Xi-Jinping-China-aims-to-achieve-carbon-neutrality-by-2060-TZX22EfJiE/index.html>
- Global Electricity Review 2022 EMBER // URL: <https://ember2022/03/Report-GER22.pdf>
- Global Wind Report 2022 – Global Wind Energy Council // URL: <https://gwec.net/global-wind-report-2022/>
- Net Zero by 2050. A Road for the Global Energy Sector. IEA October 2021 // URL: https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf

Статья поступила в редакцию 22 марта 2023 г.