

УДК 620.92

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В БЛИЖАЙШИЕ ДВАДЦАТЬ ЛЕТ

Бульба Елена Евгеньевна¹,
bulba@tpu.ru

Кузнецов Гений Владимирович¹,
kuznetsovgv@tpu.ru

Швайбович Марина Ивановна¹,
marisha@tpu.ru

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Актуальность. Проблемы в энергоснабжении большой группы стран Европы и рост стоимости газа осенью и зимой 2021 г. показали трудности перехода от традиционной энергетики к нетрадиционным возобновляемым источникам энергии. Актуальной стала задача оценки максимально возможной степени замещения электроэнергии, вырабатываемой атомными и тепловыми электростанциями, электроэнергией, вырабатываемой нетрадиционными возобновляемыми источниками энергии (ветер, солнце).

Цель: сравнение на примере Германии объемов вырабатываемой нетрадиционными возобновляемыми источниками энергии (НВИЭ), которая реально используется, и общих объемов потребления электрической энергии во всех секторах экономики этой страны.

Методы: анализ статистических данных по нетрадиционной возобновляемой энергетике на примере Германии за 1990–2018 гг. и Евросоюза в целом за последние 7 лет.

Результаты. Анализ энергетической статистики Евросоюза и Германии за достаточно длительный период времени показал, что максимальная доля электрической энергии развитого государства, полученная в результате работы нетрадиционных возобновляемых источников энергии, не может быть выше 15–18 % от общего объема потребляемой электроэнергии без использования крупных накопителей энергии. Отсутствие в настоящее время информации по использованию накопителей электрической энергии, вырабатываемой нетрадиционными возобновляемыми источниками электроэнергии, дает основания для вывода, что предприятия промышленности, железнодорожный транспорт, предприятия коммунального хозяйства пока не могут использовать вырабатываемую нетрадиционными возобновляемыми источниками электроэнергию. Публикуемая в средствах массовой информации и в интернет-источниках информация об объемах вырабатываемой нетрадиционными возобновляемыми источниками электроэнергии не отражает реальные объемы используемой электроэнергии, вырабатываемой нетрадиционными возобновляемыми источниками.

Ключевые слова:

Традиционные и нетрадиционные возобновляемые источники энергии, электроснабжение, ресурсоэффективность, накопители энергии, ветрогенераторы, солнечные батареи.

Введение

Первые два десятилетия двадцать первого века ознаменовались активным введением в эксплуатацию нетрадиционных возобновляемых источников энергии – ветроустановок и солнечных электростанций [1, 2] (гидроэнергетика и биомасса являются, можно сказать, традиционными возобновляемыми источниками энергии). Но в 2021 г. стали проявляться все более отчетливо определенные проблемы в работе нетрадиционных возобновляемых источников энергии (например, масштабные аварии ветроустановок на юге США зимой 2021 г.). Кроме этого, осенью 2021 г. возникли проблемы энергоснабжения в ряде стран Европы, которые ряд обозревателей назвал энергетическим кризисом [3, 4]. К вышеизложенному следует добавить тенденцию роста цен на электроэнергию в странах Европы, интенсивно вводящих в эксплуатацию нетрадиционные ВИЭ [5, 6].

Энергетический кризис 2021 г. в Европе является следствием целого ряда объективных причин. Но, скорее всего, основная – преждевременный вывод из эксплуатации ряда тепловых и атомных электростан-

ций (или отдельных блоков таких станций). Потери в производстве электроэнергии, вырабатываемой такими станциями, не удалось компенсировать вводом в эксплуатацию ветрогенераторов и солнечных электростанций. Пока трудно сказать о том, как Европа будет выходить из энергетического кризиса в краткосрочной перспективе (2022–2023 гг.). Но целесообразно, по крайней мере, проанализировать основные аспекты непростых (можно даже сказать, очень непростых) процессов замены традиционной генерации (ТЭС и АЭС) на нетрадиционную (ветрогенераторы и солнечные электростанции) в период ближайших 20 лет [7, 8]. Логичной является постановка вопроса о том, в какой степени нетрадиционные ВИЭ могут заменить традиционную электроэнергетику. Или, другими словами, какова максимально-возможная доля электроэнергии, поступающей от нетрадиционных ВИЭ, в общем балансе электрогенерации развитого государства. Ответ на такой вопрос может быть получен только в результате анализа статистических данных за два–три последних десятилетия по вкладу каждого вида электрогенерации в общий энергоба-

ланс развитого государства. Наиболее высокие цифры (в рамках мирового сообщества) характерны для ветрогенерации и солнечных электростанций Германии [9–11]. Поэтому энергетику этой страны целесообразно выбрать для оценки ресурсоэффективности нетрадиционных ВИЭ в среднесрочной перспективе. Необходимость такой оценки обусловлена также и тем, что осенью 2021 г. в энергоснабжении значительной части государств Европы возникли проблемы не только недостатка электроэнергии, но и существенного повышения ее стоимости.

Следует отметить, что в литературе по проблеме возобновляемых (в начале двадцать первого века был популярен термин альтернативных) источников энергии происходит достаточно устойчивая смена смысла основных терминов. Если двадцать лет назад гидроэнергетика, существующая уже более ста лет, квалифицировалась как отдельная отрасль энергетики, а к возобновляемым источникам энергии относили ветер, солнце и биомассу, то в последние годы смысл основного термина (ВИЭ) изменился. Теперь в отчеты по вырабатываемой ВИЭ электроэнергии включают, как правило, и выработку гидроэлектростанций. Зачем это делается однозначно квалифицировать трудно, но самая простая гипотеза – ветер и солнце не оправдывают возлагавшихся на них в конце прошлого века надежд.

Второе замечание – биомассу (чаще всего древесину) человечество использует для выработки энергии (в основном тепловой, но также в последние сто лет и электрической) уже много веков. Но вследствие ее более низкой теплотворной способности по сравнению с газом и углем она до последних лет используется в относительно малых объемах. В то же время биомасса, так же как гидроресурс, обладает одним, как в последнее время становится очевидным, глобальным достоинством [12]. И гидроэнергетика (крупные электростанции) и, можно сказать, биоэнергетика не зависят от времени года, скорости ветра, времени суток, места расположения электростанции. Поэтому их присутствие в одном ряду с ветрогенераторами и солнечными панелями нелогично. Последние в любых условиях и на любых территориях не являются гарантированными источниками электрической энергии. Соответственно, вода и биомасса могут квалифицироваться как традиционные возобновляемые источники энергии, а ветер и солнце – как нетрадиционные.

Проводя анализ перспектив использования ВИЭ, также необходимо отметить, что в литературе по этой проблеме практически нет достоверной информации об использовании (не о выработке, а именно об использовании) электроэнергии, вырабатываемой ветрогенераторами и солнечными панелями для обеспечения стабильного во времени электроснабжения. Складывается впечатление, что многих авторов не интересует проблема использования вырабатываемой, например, солнечной панелью, электроэнергии для обеспечения работы, например, насосов для перекачки воды в системах водоснабжения. Во всех доступных источниках речь почему-то идет только о выра-

ботке электроэнергии в каком-то конкретном варианте условий и технологий (например, [13]).

Материалы и методики исследования

Анализ перспектив НВИЭ возможен с использованием разных подходов и методов. Например, первый – сравнение общих объемов электроэнергии, вырабатываемой нетрадиционными ВИЭ конкретного государства, и объемов потребления электроэнергии на территории этого государства. Второй подход – сравнение поступившей к потребителям электроэнергии, вырабатываемой нетрадиционными ВИЭ, и общего объема потребления электроэнергии. Такие подходы были бы обоснованы, а результаты их использования объективными, если бы не фактор неопределенности в работе НВИЭ, обусловленный нестационарностью процесса выработки электроэнергии ветрогенераторами и солнечными электростанциями. Но многие потребители энергии (в первую очередь промышленные предприятия и железнодорожный транспорт) не могут работать в режиме нестационарного электроснабжения. Накопителей же электроэнергии, обеспечивающих возможность работы, например, электрического железнодорожного транспорта, пока нет. Поэтому возникает объективная необходимость оценки объемов электроэнергии, вырабатываемой НВИЭ, которые могут быть использованы в развитом государстве, по отношению к общему объему потребления электроэнергии во всех сферах жизнедеятельности таких государств.

Цель работы – сравнение на примере Германии объемов вырабатываемой НВИЭ этой страны электроэнергии, которая реально используется, и общих объемов потребления электрической энергии во всех секторах экономики этой страны.

Германия является лидером ЕС не только по объему капиталовложений в НВИЭ. Это государство, безусловно, – локомотив Евросоюза в экономике. Поэтому Германия является наиболее представительным объектом для анализа, цель которого сформулирована выше [14].

Результаты и обсуждение

На рис. 1 приведены тренды выработки электроэнергии Германии за достаточно длительный период – 1990–2018 гг. – по отраслям энергетики (ТЭС, АЭС и др.) [15]. Следует отметить, что при всей условности любой статистики и возможных погрешностях в оценках и интерпретациях тех или иных показателей немецкая статистика, скорее всего, является по известным причинам самой надежной в мире. Этот фактор также учитывался при выборе Германии как объекта анализа.

Хорошо видно (рис. 1), что за двадцать восемь лет почасовая выработка электроэнергии ветроустановками практически не изменилась. При этом необходимо учитывать ежегодный прирост числа ветрогенераторов на территории Германии [15]. Их общее число выросло от 10000 (1999 г.) до 28000 (2021 г.). Рис. 1 показывает, что от общего максимально возможного в год числа часов работы ветроустановок (8760 ча-

сов) реальный показатель составляет менее 25 %, т. е. ветрогенераторы работают с передачей в сеть электроэнергии не более четверти общего времени суток. Такой коэффициент «полезного использования» ветрогенерации можно интерпретировать по-разному, но один вывод очевиден – такого рода генерацию использовать в промышленности и на транспорте нереально. Сомнительной является ее роль и в обеспече-

нии электроснабжения крупных и средних (по численности населения) городов, в которых энергоснабжение также должно быть стабильным (городской транспорт, водоснабжение, водоотведение, лифтовое хозяйство, работа медицинских учреждений). Максимально возможный вклад нетрадиционных ВИЭ в энергобаланс страны можно оценить по данным рис. 2 [14].

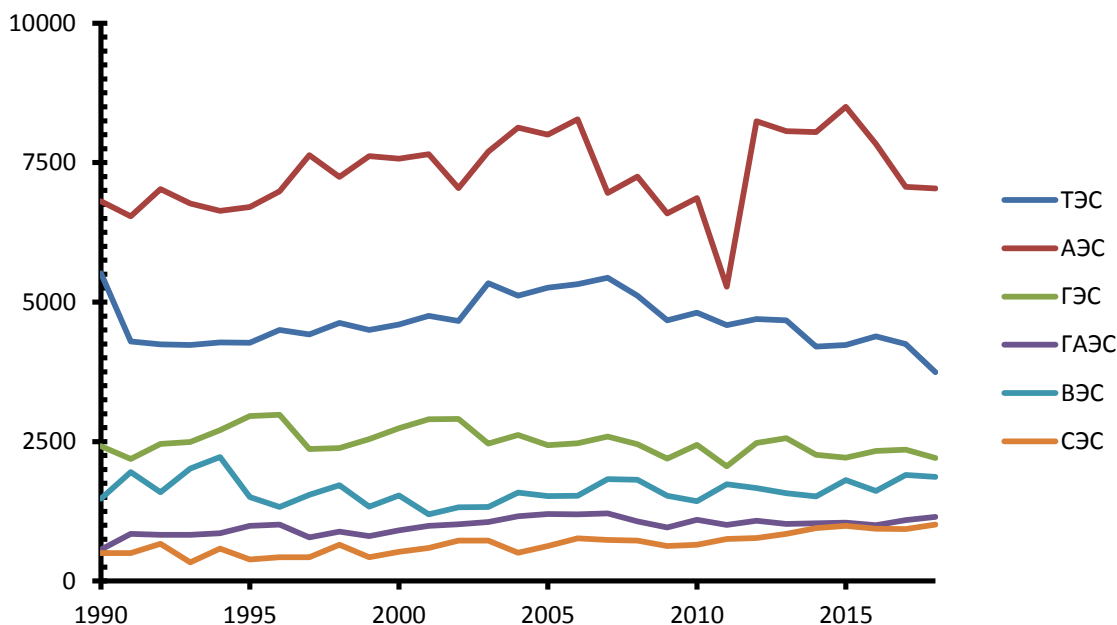


Рис. 1. Динамика числа часов использования-брутто по типам электростанций, 1990–2018, часы [15]

Fig. 1. Dynamics of the number of hours of use-gross by type of power plants, 1990–2018, hours [15]

Рис. 2 иллюстрирует распределение энергопотребления Германии по отраслям. Хорошо видно, что промышленность, транспорт, торговля, бытовое обслуживание составляют не менее 70 % от общего объема потребления электроэнергии. На домохозяйства приходится не более 30 % от общего объема.

При этом целесообразно уточнение. Домохозяйства Германии можно разделить на две основные группы: городские и сельские. На рис. 3 приведен рост численности населения в городах по состоянию на 2020 г. Можно сделать вывод, что не более трети домохозяйств расположены за пределами больших и средних агломераций, энергоснабжение которых осуществляется централизованно.

Оценка доли хозяйств, которые могут использовать электроэнергию из возобновляемых источников, может быть уточнена по данным [16] о распределении населения Германии по видам муниципалитетов (города с населением более 100000 человек; города с населением от 2000 до 100000 человек; поселения численностью до 2000 человек). Статистика [16] показывает, что в крупных и средних городах проживает более 70 % населения Германии (рис. 3). Поэтому сделанная выше оценка доли домохозяйств, которые могут (с определенными, конечно ограничениями) использовать вырабатываемую нетрадиционными ВИЭ электроэнергию, является, безусловно, завы-

шенной и гарантирует надежность сформулированных на ее основе выводов.

Приведенная на рис. 1–3 официальная статистика является базой для нескольких важных выводов. Первый – нетрадиционные возобновляемые источники энергии, исходя из оценки современного состояния энергетических систем, могут обеспечить электроэнергией не более 15 % потребителей на территории Германии (промышленные предприятия, так же как и электрический железнодорожный транспорт, не могут работать в условиях нестационарной подачи электроэнергии). Аналогично, население более или менее крупных городов не готово пользоваться электроэнергией только в солнечную или ветреную погоду. Второй вывод – нетрадиционные возобновляемые источники энергии не могут обеспечить более 85 % традиционных потребителей электроэнергии без ее накопителей большой емкости. Последних пока нет.

В этой связи необходимо отметить, что в последние годы неоднократно в общедоступном информационном пространстве появлялись сведения о работе по созданию таких накопителей энергии и о строительстве (и даже эксплуатации) на территориях США и Австралии таких мощных накопителей [17]. Но отсутствие в выступлениях на международных форумах лидеров государств с развитой сетью НВИЭ (Германия, Дания, США, Нидерланды) утверждений об экс-

плуатации мощных накопителей электрической энергии, вырабатываемой НВИЭ, дает основания для вывода, что пока таких накопителей нет [18]. Более того, вполне вероятно, что нет даже опытных образцов та-

ких накопителей (или систем накопителей). Возможно, что нет и теоретических основ создания таких накопителей. Поэтому есть основания и для третьего вывода, о котором следует сказать более подробно.

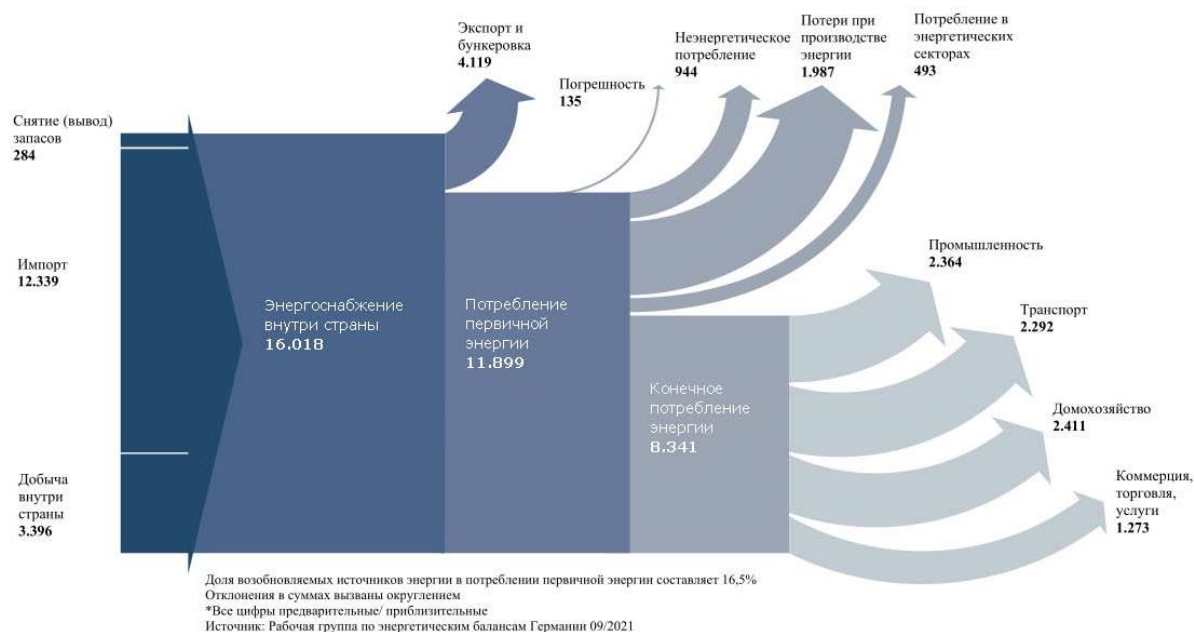


Рис. 2. Диаграмма потока энергии 2020 для Германии, в петаджоулях [14]

Fig. 2. Energy flow chart 2020 for Germany, in petajoules [14]

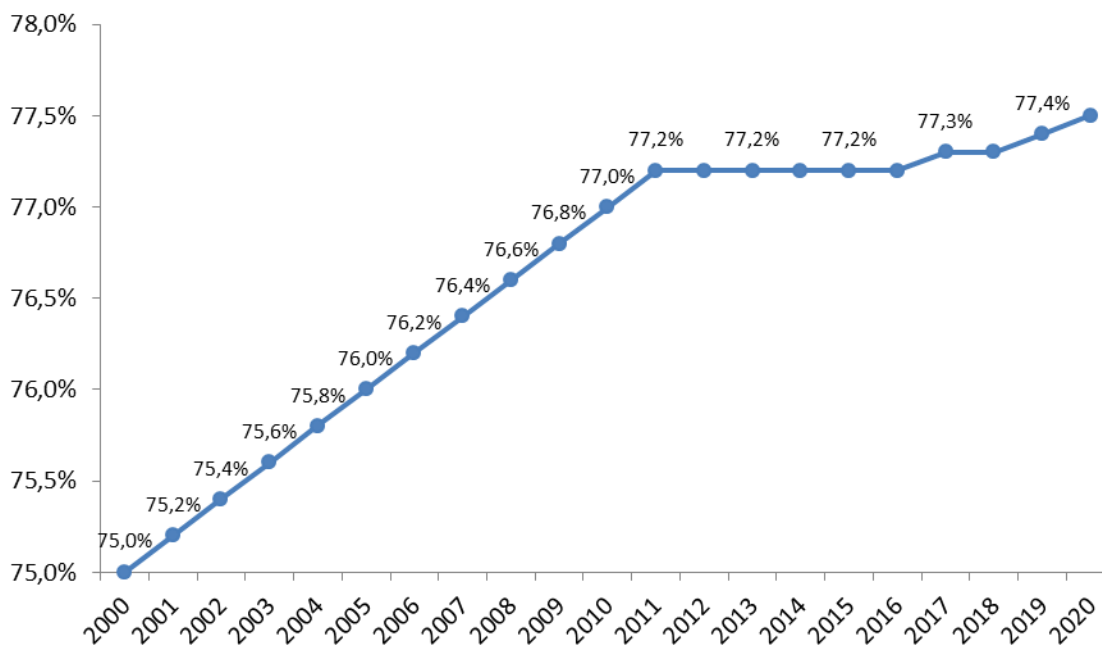


Рис. 3. Доля городских жителей в общей численности населения Германии в период с 2000 по 2020 гг. [16]

Fig. 3. Proportion of urban dwellers in the total population in Germany from 2000 to 2020 [16]

В интернет-пространстве регулярно появляются информационные сообщения о новых рубежах, достигнутых НВИЭ (особенно ветроустановками). Так, например, по сообщениям [19] Science Alert «Германия в воскресенье... В 13 часов по местному времени закрыла потребность электроэнергии, поступающей из ВИЭ, на 95 %». Если учесть, что даже теоретически этот показатель не может быть выше 15 % (как

показано выше), можно сделать вывод об использовании в этой информации данных не об используемой электроэнергии (полученной ВИЭ), а, возможно (если авторы этой информации системно не заблуждаются), вырабатываемой в какие-то отдельные моменты времени суток (яркое солнце и сильный ветер). Остается открытым вопрос о том, куда сбрасывается эта избыточная энергия (если она действительно вырабатыва-

ется). Скорее всего, она реально не используется. Можно отметить, что сделанный вывод подтверждает информация Eurostat (данные на апрель 2020 г.), приведенная на рис. 1. Хорошо видно, что если проводить оценку использования электроэнергии, вырабатываемой нетрадиционными ВИЭ, то становится очевидным, что за 28 лет непрерывного увеличения числа ветрогенераторов и их мощности доля используемой вырабатываемой ветроустановками электроэнергии практически не увеличилась – как составляла в 1990 г. 28 % от выработки АЭС, так и осталась практически на этом уровне в 2018 г. [1].

При этом необходимо отметить, что по планам Правительства Германии все атомные электростанции должны были быть остановлены в 2021 г. Поэтому новые атомные станции не строились. Но даже если не пытаться объяснить неправдоподобную информацию [19], есть все основания утверждать, что основное государственное агентство, целью работы которого является развитие нетрадиционных ВИЭ, использует не имеющую практического смысла в настоящее время информацию. Скорее всего, данные по выработке электроэнергии нетрадиционными ВИЭ не будут нести никакой смысловой нагрузки еще не одно десятилетие.

С целью обоснования последнего вывода целесообразно дополнительно привести общедоступную информацию по динамике изменения вырабатываемой нетрадиционными ВИЭ электроэнергии в Европейском союзе [20].

На рис. 4, 5 приведены данные по объемам электроэнергии, вырабатываемой НВИЭ в 2014 и в 2020 гг. [20]. Хорошо видно, что во всех развитых странах

Европы (с крупными промышленными производствами) прирост электроэнергии, вырабатываемой НВИЭ, составляет за 15 лет в общем энергетическом балансе в период с 2004 по 2019 гг. 9,6–19,7 % [21], т. е. фактически промышленно развитые страны за 2004–2019 гг. по существу не смогли сколько-нибудь значительно изменить свой энергобаланс (при этом надо учитывать, как отмечено выше, и «условность» статистики по вырабатываемой НВИЭ электроэнергии).

Сравнение рис. 4 и 5 дает основания для нескольких выводов.

Первый – все страны ЕС можно разделить на несколько групп. По большей группе государств (наиболее представительны Австрия, Словения, Словакия, Хорватия, Италия, Швеция, Чехия) можно сказать, что при представлении информации о выработке электроэнергии ВИЭ в 2014 г. использовались данные не только по ветроустановкам и солнечным электростанциям, а также выработки гидроэлектростанциями и, скорее всего, каким-то другим источникам (возможно, биомасса). Иначе объяснить такие объемы выработки электроэнергии ВИЭ в 2014 г. невозможно. Этот вывод дает основание для сравнения и заключения о том, что, скорее всего, во многих статистических данных двадцать первого века гидроэнергетика переведена в категорию источников, в которой находятся ветрогенераторы и солнечные электростанции. Такой подход очевидно неправомерен, т. к. он искажает реальную картину. Современные гидроэлектростанции по существу не зависят от погоды (в отличие от ветрогенераторов и солнечных панелей) и вырабатывают электроэнергию в любое время суток и при любом ветре.

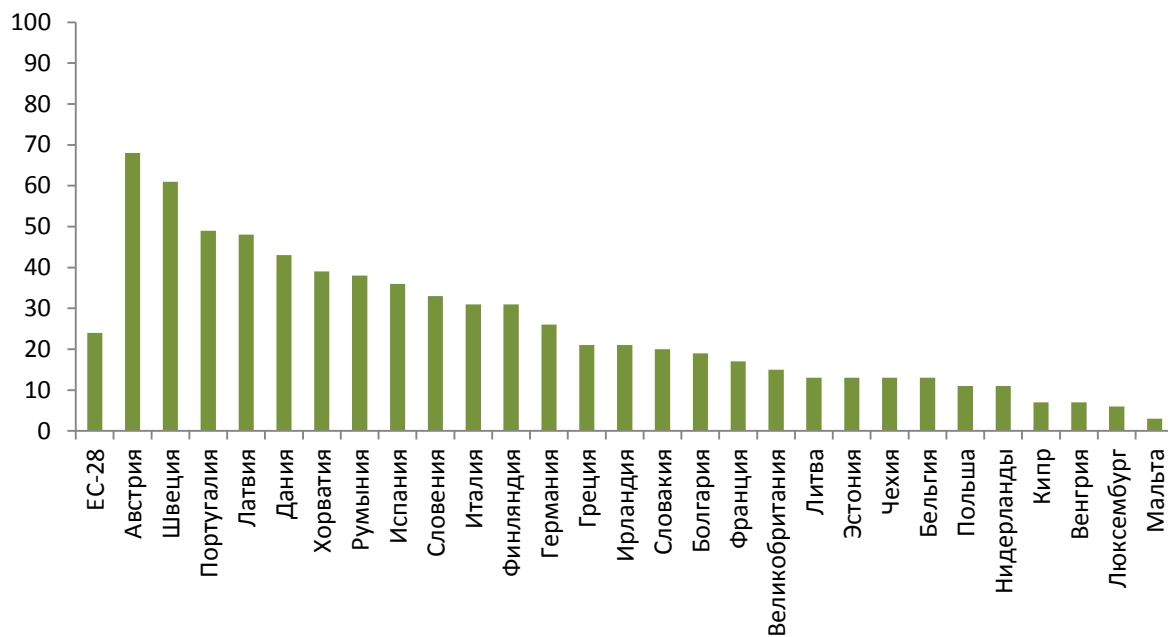


Рис. 4. Доля электроэнергии, произведенной из возобновляемых источников энергии, по странам Евросоюза (%), 2014 г. [18]

Fig. 4. Share of electricity produced from renewable energy sources by EU countries (%), 2014 [18]

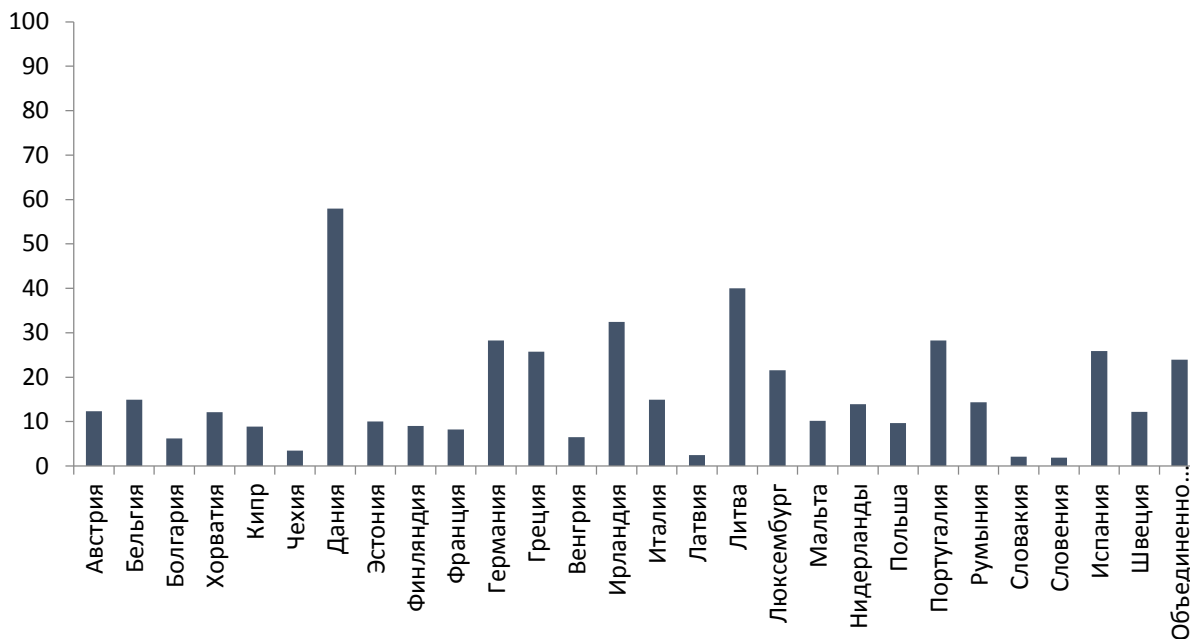


Рис. 5. Доля электроэнергии, произведенной из нетрадиционных возобновляемых источников энергии (ветроустановки и СЭС), по странам Евросоюза (%), 2020 г. [15]

Fig. 5. Share of electricity produced from unconventional renewable energy sources (wind turbines and SES), by country (%), 2020 [15]

Второй вывод – есть группа стран (Мальта, Люксембург, Кипр, Венгрия), в которых достигнут за шесть лет относительно небольшой прирост доли электроэнергии, вырабатываемой нетрадиционными ВИЭ. Но этот прирост далек от декларируемых Евросоюзом показателей.

Третий – есть группа промышленно развитых стран (Германия, Бельгия, Нидерланды, Греция), в которых этот показатель за шесть лет по существу не изменился (или изменился на единицы процентов).

Особое положение в этой статистике занимают три прибалтийских государства Латвия, Литва и Эстония. Последняя иллюстрирует в своих показателях сохранение (с небольшим снижением) уровня выработки ВИЭ в 2020 г., соответствующего 2014 г. Показатели Латвии 2014 и 2020 гг. показывают, скорее всего, недостоверность данных 2014 г. Очень большой подъем (почти в четыре раза) вырабатываемой нетрадиционными ВИЭ электроэнергии обусловлен, вполне вероятно, недостоверностью представляемой этими государствами информацией. Аналогичный вывод можно сделать и по статистике Дании. Промышленность этого государства не могла бы существовать, если бы почти 60 % электроэнергии вырабатывалось только в ветреную и солнечную погоду.

В целом же при всей условности приводимых на рис. 4, 5 официальных статистических данных и большим разбросам в их достоверности можно сделать обоснованный вывод, что через двадцать лет борьбы с атомной и теплоэнергетикой большая половина государств ЕС не смогла довести долю вырабатываемой нетрадиционными ВИЭ электроэнергии даже до 15 % от общего объема потребления. Скорее всего, этот уровень является предельным, и это необ-

ходимо учитывать при анализе реальных перспектив нетрадиционных ВИЭ, пока не будут созданы надежные накопители электроэнергии.

Но проблема загрязнения окружающей среды объективно существует, и какие-то реальные действия мировое сообщество должно осуществлять с целью снижения антропогенной нагрузки, оказываемой пока тепловыми электростанциями. Проведенный анализ показывает, что ни ветрогенераторы, ни солнечные панели в обозримом будущем (скорее всего, лет 20–25), пока не будут разработаны реальные накопители больших объемов электрической энергии, не смогут внести сколько-нибудь значимый вклад в электроснабжение промышленности, транспорта и больших городов. Единственным реальным перспективным вариантом является биомасса, использование которой в энергетике в больших объемах может решить проблемы энергетической и экологической безопасности нашей планеты. Так, например, большие по площади плантации быстрорастущих деревьев лиственных пород (например, тополя в России) могут обеспечить решение нескольких актуальнейших задач: поглощение углекислого газа, производство кислорода и выработка электрической энергии с многократно более низким выбросом антропогенных оксидов в атмосферу по сравнению, например, не только с угольными, но и с работающими на мазуте электростанциями.

Заключение

1. В настоящее время в литературе нет ни одного источника, в котором приводились бы данные о прямом использовании вырабатываемой нетрадиционными возобновляемыми источниками электроэнергии в промышленности, на транспорте, в

торговле и бытовом обслуживании, а также при электроснабжении крупных (с населением более 2000 человек) поселений.

- Отсутствие в настоящее время информации по использованию накопителей электрической энергии, вырабатываемой нетрадиционными возобновляемыми источниками электроэнергии, дает основания для вывода, что предприятия промышленности, железнодорожный транспорт, предприятия коммунального хозяйства пока не могут использовать вырабатываемую нетрадиционными возобновляемыми источниками электроэнергию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Renewable energy in numbers. National and international development in 2018. –Berlin: Federal Ministry of Economics and Energy (BMWi), 2018. – 80 p.
- On the use of thermal energy storage in solar – aided power generation systems / Chang Huang, Rafal Madonski, Qi Zhang, Yixian Yan, Nan Zhang, Yongping Yang // *Applied Energy*. – 2022. – V. 310. – 118532.
- Strunz S., Lehmann P., Havel E. Analysis of renewable energy policy ambitions in the EU and its member states // *Energy Policy*. – 2021. – V. 156. – 112447.
- Ruiz P., Nijss W., Thrane D. ENSPRESO – an open, EU-28 wide, transparent and coherent database of wind, solar and biomass energy potentials// *Energy Strategy Reviews*. – 2019. – V. 26. – 100379.
- Electricity prices in Europe. Electricity report // Eurostat. URL: <https://strom-report.de/strompreise-europa/> (дата обращения 15.01.2022).
- Energy cost-benefit analysis and accounting of renewable and non-renewable electricity generation: an overview / T.G. Walmsley, M.R.W. Walmsley, P.S. Varbanov, J.J. Klemeš // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2018. – V. 98. – № 11. – P. 328–345.
- Recent policies and trends in renewable energy for sustainability – an overview / C.M. Vivek, P. Ramkumar, P.K. Srividhya, M. Sivasubramanian // *Proceedings to date: Proceedings*. – 2021. – V. 46. – P. 17. – P. 8204 8208.
- Is renewable electricity supply in line with energy demand? Spatio-temporal analysis for the German case / Ch. Kockel, L. Nolting, J. Prismatic, A. Praktik // *Applied Energy*. – 2022. – V. 308. – 118226.
- Relationship of renewable energy consumption to economic, environmental and institutional factors in Europe / I.V. Filimonova, V.Y. Nemov, V.D. Kozhevnikov et al. // *Energy Reports*. – 2021. – V. 7. – Supplement 5. – P. 358–365.
- Adedoyin F.F., Bekun F.V., Alola A.A. The impact of the transition from non-renewable to renewable energy on economic growth in the EU: the role of research and development spending // *Renewable Energy*. – 2020. – V. 159. – P. 1139–1145.

Информация об авторах

Бульба Е.Е., кандидат технических наук, доцент Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Кузнецов Г.В., доктор физико-математических наук, профессор Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Швайбович М.И., инженер Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики Национального исследовательского Томского политехнического университета.

- Публикуемая в средствах массовой информации и в интернет-источниках информация об объемах вырабатываемой нетрадиционными возобновляемыми источниками электроэнергии не отражает реальные объемы используемой электроэнергии, вырабатываемой нетрадиционными возобновляемыми источниками.
- Доля используемой нетрадиционными возобновляемыми источниками электроэнергии может составлять не более 16 % от общего потребления развитого государства без использования крупных накопителей энергии.

- Energy Transition Report 2020 of the Lower Saxony Ministry of the Environment, Energy, Building and Climate Protection. – Berlin: Federal Ministry of Economics and Energy (BMWi), 2020. – 102 p.
- Thermal enrichment of different types of biomass by low-temperature pyrolysis / R. Tabakaev, K. Ibraeva, A. Astafiev, Yu. Dubinin, N. Yazikov, A. Zavorin, V. Yakovlev // *Fuel*. – 2019. – V. 245. – P. 29–38.
- Reichenberg L., Hedenus F., Johnsson F. Adapting large-scale power generation from variable renewables to provide baseload generation in Europe // *Renewable Energy*. – 2018. – V. 129. – P. A. – P. 334–346.
- Selected performance indicators for the German energy mix. Data from 1990 to 2020 // Federal Environment Agency (AGEB). URL: <https://ag-energiebilanzen.de/> (дата обращения 15.01.2022).
- EES EAEC. Global energy. URL: <https://www.eeseaec.org/> (дата обращения 15.01.2022).
- World Population Prospects 2019. V. II: Demographic Profiles. – New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019. – 1238 p.
- Abbott M., Cohen B. Issues related to the possible contribution of battery energy storage to the provision of a stable electricity system // *Journal of Electricity*. – 2020. – V. 33. – Iss. 6. – 106771.
- Golombek R., Lind A. The role of decarbonisation energy transmission and storage in Europe by 2050 // *Energy*. – 2022. – V. 239. – P. C. – 122159.
- EU Renewable Energy Adoption Factors: analysis of past trends and projections / A. Shivakumar, A. Dobbins, U. Phal, A. Singh // *Energy Strategy Reviews*. – 2019. – V. 25. – 100402.
- Справочник по возобновляемой энергетике Европейского союза / Г.В. Ермоленко, И.С. Толмачева, И.Ю. Ряпин и др. – М.: Институт энергетики НИУ ВШЭ, 2016. – 96 с.
- Lowe R.J., Drummond P. Solar, wind and logistic substitution in global energy supply to 2050 – barriers and implications // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2022. – V. 153. – 111720.

Поступила: 19.01.2022 г.

UDC 620.92

ASSESSMENT OF THE PROSPECTS FOR USING UNCONVENTIONAL RENEWABLE ENERGY SOURCES IN THE NEXT TWENTY YEARS

Elena E. Bulba¹,
bulba@tpu.ru

Geniy V. Kuznetsov¹,
kuznetsovgv@tpu.ru

Marina I. Shvaybovich¹,
marisha@tpu.ru

¹ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

The relevance of the research. The energy supply problems in a large group of European countries and the rising cost of gas in autumn and winter 2021 showed the difficulties of switching from conventional energy to non-conventional renewables. The task of assessing the maximum possible degree of substitution of electricity generated by nuclear and thermal power plants with electricity generated by non-conventional renewable energy sources (wind, solar) has become relevant.

The aim of the research is to compare, using Germany as an example, the amount of electricity generated by the country's renewables that is actually used and the total amount of electricity consumption in all sectors of the country's economy.

Methods: analysis of statistical data on unconventional renewable energy using the example of Germany from 1990 to 2018 and the EU as a whole for the last 7 years.

Results. Analysis of EU and German energy statistics over a sufficiently long period of time has shown that the maximum share of developed country electricity generated from unconventional renewables cannot be higher than 15–18 % of total electricity consumption without the use of large energy storage facilities. The current lack of information on the use of electrical energy storage devices generated by non-traditional renewable energy sources gives grounds for the conclusion that industrial enterprises, railway transport, public utilities cannot yet use the electricity generated by non-traditional renewable energy sources. The information published in the media and in Internet sources on the volumes of electricity generated by non-traditional renewable sources does not reflect the actual volumes of electricity used, generated by non-traditional renewable sources.

Key words:

Conventional and non-conventional renewable energy sources, electricity supply, resource efficiency, energy storage, wind turbines, solar panels.

REFERENCES

1. *Renewable energy in numbers. National and international development in 2018.* Berlin, Federal Ministry of Economics and Energy (BMWi), 2018. 80 p.
2. Chang Huang, Rafal Madonski, Qi Zhang, Yixian Yan, Nan Zhang, Yongping Yang. On the use of thermal energy storage in solar – aided power generation systems. *Applied Energy*, 2022, vol. 310, 118532.
3. Strunz S., Lehmann P., Havel E. Analysis of renewable energy policy ambitions in the EU and its member states. *Energy Policy*, 2021, vol. 156, 112447.
4. Ruiz P., Nijs W., Thran D. ENSPRESO – an open, EU-28 wide, transparent and coherent database of wind, solar and biomass energy potentials. *Energy Strategy Reviews*, 2019, vol. 26, 100379.
5. Electricity prices in Europe. *Electricity report. Eurostat*. Available at: <https://strom-report.de/strompreise-europa/> (accessed 15 January 2022).
6. Walmsley T.G., Walmsley M.R.W., Varbanov P.S., Klemeš J.J. Energy cost-benefit analysis and accounting of renewable and non-renewable electricity generation: an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, vol. 98, no. 11, pp. 328–345.
7. Vivek C.M., Ramkumar P., Srividhya P.K., Sivasubramanian M. Recent policies and trends in renewable energy for sustainability – an overview. *Proceedings to date: Proceedings*, 2021, vol. 46, P. 17, pp. 8204–8208.
8. Kockel Ch., Nolting L., Prisma J., Praktik A. Is renewable electricity supply in line with energy demand? Spatio-temporal analysis for the German case. *Applied Energy*, 2022, vol. 308, 118226.
9. Filimonova I.F., Nemov V.Y., Kozhevin V.D. Interrelation of renewable energy consumption with economic, environmental and institutional factors in Europe. *Energy Reports*, 2021, vol. 7, Supplement 5, pp. 358–365.
10. Adedoyin F.F., Bekun F.V., Alola A.A. The impact of the transition from non-renewable to renewable energy on economic growth in the EU: the role of research and development spending. *Renewable Energy*, 2020, vol. 159, pp. 1139–1145.
11. *Energy Transition Report 2020 of the Lower Saxony Ministry of the Environment, Energy, Building and Climate Protection.* Berlin: Federal Ministry of Economics and Energy (BMWi), 2020. 102 p.
12. Tabakaev R., Ibraeva K., Astafiev A., Dubinin Yu., Yazikov N., Zavorin A., Yakovlev V. Thermal enrichment of different types of biomass by low-temperature pyrolysis. *Fuel*, 2019, vol. 245, pp. 29–38.
13. Reichenberg L., Hedenus F., Johnsson F. Adapting large-scale power generation from variable renewables to provide baseload generation in Europe. *Renewable Energy*, 2018, vol. 129, P. A, pp. 334–346.
14. Selected performance indicators for the German energy mix. Data from 1990 to 2020. *Federal Environment Agency (AGEB)*. Available at: <https://ag-energiebilanzen.de/> (accessed 15 January 2022).
15. *EES EAEC. Global energy.* Available at: <https://www.eeseaec.org/> (accessed 15 January 2022).
16. *World Population Prospects 2019. Vol. II: Demographic Profiles.* New York, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019. 1238 p.
17. Abbott M., Cohen B. Issues related to the possible contribution of battery energy storage to the provision of a stable electricity system. *Journal of Electricity*, 2020, vol. 33, Iss. 6, 106771.
18. Golombek R., Lind A. The role of decarbonisation energy transmission and storage in Europe by 2050. *Energy*, 2022, vol. 239, P. C, 122159.
19. Shivakumar A., Dobbins A., Phal U., Singh A. EU Renewable energy adoption factors: analysis of past trends and projections. *Energy Strategy Reviews*, 2019, vol. 25, 100402.

20. Ermolenko G.V., Tolmacheva I.S., Ryapin I.Y. Handbook on Renewable Energy in the European Union. *Moscow: Institute of Energy, National Research University Higher School of Economics*, 2016, 96 p.
21. Lowe R.J., Drummond P. Solar, wind and logistic substitution in global energy supply to 2050 – Barriers and implications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2022, vol. 153, 111720.

Received: 19 January 2022.

Information about the authors

Elena E. Bulba, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

Geniy V. Kuznetsov, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

Marina I. Shvaybovich, engineer, National Research Tomsk Polytechnic University.