

ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ И ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ СТРАН ЕС НА ДОЛГОСРОЧНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ РОССИЙСКОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ЭКСПОРТА

В. Ю. ПОТАШНИКОВ

А. А. ГОЛУБ

Д. А. ШОРИН

Солнечная и ветровая электроэнергетика вытесняет в ЕС электроэнергию на угле и газе. Электромобили вытесняют автомобили с бензиновыми двигателями. На основе высокодетальной модели репрезентативной энергетической системы безуглеродной электроэнергетики ЕС (365 дней на 24 часа, 200 регионов предложения и 8 регионов спроса), представленной в статье, сделан вывод, что, вероятно, рост доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ) продолжится, несмотря на сложности балансировки источников энергии с прерывистым режимом работы. А углеродное регулирование может лишь ускорить этот процесс.

Статья подготовлена в рамках выполнения научно-исследовательской работы государственного задания РАНХиГС при Президенте Российской Федерации.

Ключевые слова: энергетический переход, репрезентативная энергетическая модель, 100%-ная генерация электроэнергии, возобновляемые источники энергии (ВИЭ).

JEL: Q47, Q42, Q41.

Введение

Российская экономика существенным образом зависит от ресурсной ренты. Экспорт природных ресурсов, прежде всего газа и нефти, в европейские страны обеспечивает ей значительную часть рентных доходов и наполнения бюджета. Происходящий сегодня энергетический переход и глобальные усилия по предотвращению изменения климата могут значительно повлиять на экспортный спрос. Замещение ископаемых видов топлива, угля и природного газа для нужд электроэнергетики на солнечную и ветровую энергию является одним из наиболее важных каналов такого влияния. Замещение происходит не только и не сколько в результате политических усилий по предотвращению изменения климата, но, главным образом, из-за меньшей стоимости ВИЭ. Эти источники энергии уже сейчас являются самыми дешевыми [6], и, как следствие, распространение ВИЭ происходит по экономическим причинам. Так, в ЕС доля генерации электроэнергии на угле и природном газе сократилась с 47,3% в 1990 г. до

36,9% в 2019 г., доля генерации тепло- и электроэнергии на нефтепродуктах невелика, тогда как доля солнечной и ветровой электроэнергии, напротив, выросла за этот период практически с нуля до 17,6%¹.

Развитие ВИЭ может также, в результате структурных сдвигов в автопарке, привести к падению спроса на нефть. Электромобили вытесняют бензиновые и дизельные автомобили из-за лучших потребительских характеристик, запроса пользователей на чистый воздух в городе и более низких издержек на топливо. ЕС недавно принял новый стандарт по концентрации мелкодисперсных твердых частиц в атмосфере (PM2.5), нормы которого в 2,5 раза ниже по сравнению с ранее действовавшим стандартом. Переход на новый стандарт качества воздуха не только ускорит обновление автопарка, но и будет стимулировать реконструкцию и замену отопительных систем в зданиях и сооружениях.

Вместе с тем целесообразность массированного замещения угольной и газовой энер-

Поташников Владимир Юрьевич, старший научный сотрудник РАНХиГС при Президенте Российской Федерации (Москва), e-mail: potashnikov.vu@gmail.com; Голуб Александр Александрович, старший научный сотрудник РАНХиГС при Президенте Российской Федерации, д-р экон. наук (Москва), e-mail: alexander.a.golub@gmail.com; Шорин Дмитрий Александрович, младший научный сотрудник РАНХиГС при Президенте Российской Федерации (Москва), e-mail: shorin.da@phystech.edu

¹ Electricity production, consumption and market overview / Eurostat. 2021. URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data>

гетики на солнечную и ветровую ставится рядом специалистов под сомнение из-за стоимостных характеристик и переменчивого характера солнечной и ветровой генерации. Несмотря на нынешний уровень развития технологий, связанных с возобновляемыми источниками энергии, для их продвижения необходимо не только применение новейших достижений в ряде материальных областей (таких, как производство, хранение водорода и проч.), но и их поддержка политическими и законодательскими инициативами [5; 7; 8].

В статье анализируется возможность построения системы электрогенерации посредством ВИЭ, ГЭС и АЭС с помощью репрезентативной модели энергетической системы и не рассматривается генерация тепла, доля которого в конечном потреблении энергии составляет всего 5,4% против 26,3% электроэнергии². В первом разделе описывается методология построения системы, во втором — оценивается экономическая эффективность такой системы и делается вывод о конкурентоспособности ископаемого топлива в электрогенерации и дорожном транспорте. (Потребление электроэнергии и нефтепродуктов в дорожном транспорте охватывает 53% конечного потребления энергии в ЕС³, и, соответственно, от этих секторов в значительной степени зависит импорт Евросоюзом природного газа, нефти и нефтепродуктов.)

Цель статьи — определить, могут ли солнечные (СЭС) и ветровые (ВЭС) электростанции вытеснить углеводороды в долгосрочной перспективе или прерывистость их действия может ограничить рост их использования. В заключительном разделе даны выводы и рекомендации.

Модель безуглеродной электрогенерации ЕС

Для оценки влияния развития возобновляемой энергетики в Европе на сокращение экспорта

Россией ископаемого топлива авторами построена детальная модель репрезентативной энергетической системы (РЭС) (365 дней на 24 часа, 200 регионов генерации и 8 регионов спроса) для Евросоюза и Швейцарии на основе реальных погодных данных (MERRA2 NASA с разрешением 0.625° x 0.5°, с временным шагом в один час) и спроса. С помощью этой модели были оценены стоимость и техническая осуществимость 100%-ной генерации электроэнергии из безуглеродных источников с учетом затрат на балансировку и передачу электроэнергии. РЭС решает задачу центрального планировщика по удовлетворению конечного спроса с применением технологических опций и ресурсов. Для построения модели РЭС использовался пакет energyRt⁴.

В модели рассматривались следующие технологии: солнечные (СЭС), ветровые (ВЭС), гидро- (ГЭС) и атомные (АЭС). Так как цель работы заключалась не в прогнозировании конкретной структуры будущих мощностей Евросоюза, а в анализе технических возможностей и целесообразности построения системы электрогенерации с большой долей ВИЭ в долгосрочной перспективе, то современная структура генерации не учитывалась, за исключением АЭС и ГЭС, мощности которых считались постоянными. Основные предпосылки модели о ключевых технологиях представлены в табл. П1 приложения. Страны ЕС сгруппированы в 8 регионов (см. табл. П2 приложения). Между регионами возможна передача электроэнергии за счет эндогенных веток 500 кВ HVDC (основные параметры приведены в табл. П1 и П3 приложения).

Конечный спрос на электроэнергию задается экзогенно. В настоящее время нельзя с уверенностью утверждать, вырастет на нее спрос или снизится. С одной стороны, экономический рост и развитие электротранспорта увеличивают спрос на электроэнергию, с другой стороны, он может снизиться в результате

² Electricity production, consumption and market overview / Eurostat. 2021. URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data>

³ Там же.

⁴ URL: <https://energyrt.org/>

роста энергоэффективности. Изменение спроса в разумных пределах не изменит основные выводы, поэтому в качестве величины спроса в модели используются значения почасового потребления энергии для стран пропорционально часовым данным за 2017 г.⁵, обновленным пропорционально фактическому потреблению электроэнергии в 2019 г. (На рис. 1 в качестве примера показано потребление электроэнергии во Франции.) Такой подход соответствует предположению о том, что темпы повышения энергоэффективности в европейской экономике будут соответствовать темпам роста в ней валового продукта. В этом случае общий объем потребления энергии останется неизменным.

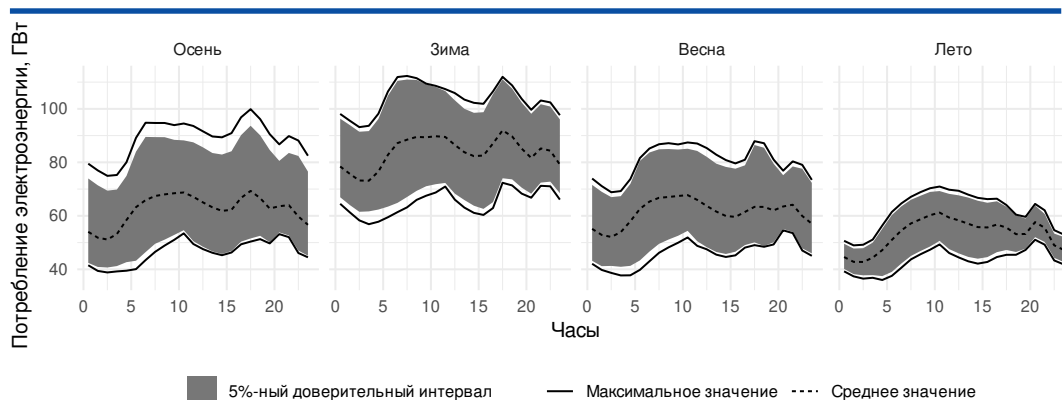
На рис. 1 явно прослеживаются утренние и вечерние пики потребления, а также сезонная составляющая: в холодное время года потребление электроэнергии выше, чем в теплое. Это может быть объяснено двумя факторами – затратами на отопление и освещение в условиях более короткого светового дня. Если бы вторые преобладали над первыми, то днем потребление энергии было бы ниже, чем ночью, – однако наблюдается обратная картина. По этой причине, как минимум, существенная часть затрат электроэнергии может быть объяснена за-

тратами на отопление, которые могут варьироваться в течение суток без заметного снижения качества удовлетворения потребностей в тепле. Задействование этого потенциала гибкости помогает сгладить пики в потреблении и лучше «адаптировать» динамику спроса к динамике производства электроэнергии.

Например, спрос на электроэнергию может регулироваться с помощью «умных» сетей: потребитель сам может выбрать, стоит ли ему использовать электроэнергию на отопление прямо сейчас или подождать, когда она станет дешевле. Применение «умных» сетей, как минимум для нужд отопления, может значительно снизить требования по соответствию кривой предложения кривой спроса. В настоящей работе это учитывается путем разделения спроса на две компоненты: критическую, которая должна быть удовлетворена в любом случае, и переменную, которая может быть удовлетворена при избытке относительно дешевой электроэнергии.

Для решения поставленной задачи не предполагается балансирование производства и потребления электроэнергии в каждой отдельной стране, поскольку это не имеет практического смысла при существующих алгоритмах оптимизации электроэнергетики. Во-первых,

Рис. 1. Кривая потребления электроэнергии во Франции



Источник: URL: <https://www.entsoe.eu/data/power-stats/>

⁵ URL: <https://www.entsoe.eu/data/power-stats/>

в настоящее время электросети стран Евросоюза сильно интегрированы между собой и в будущем интеграция, вероятно, будет только усиливаться. Во-вторых, развитие электросетей, особенно с большой долей ВИЭ, позволяет увеличить отказоустойчивость электросети за счет большего резерва мощностей, а также снизить общие издержки генерации за счет использования локальных профицитов перегруженных, наиболее дешевых мощностей и усиления конкуренции между компаниями-производителями. По этим причинам Евросоюз был разделен на 8 регионов вместо деления по странам.

В процессе анализа предполагалось, что электростанции устанавливаются только на суше. Использовались три варианта ВЭС с характерной скоростью работы, соответствующей высоте 50, 100 и 150 м, а также три варианта СЭС: с фиксированным наклоном и с одно- и двухосевым трекером. При этом не учитывались объекты, расположенные на средней высоте более 1 км.

Оценка экономической эффективности замещения ископаемого топлива возобновляемыми источниками энергии

Потенциал генерации, осуществляемой СЭС и ВЭС, значительно превосходит текущее потребление электроэнергии и, теоретически, может полностью заместить ее выработку. Однако следует принимать во внимание факторы, которые могут препятствовать такому замещению.

Во-первых, речь идет о стоимости подобной генерации. Если она превышает разумные пределы или источники, способные генерировать электроэнергию, находятся далеко от потребителей, то применимость солнечной и ветровой генерации в некоторых местах может быть затруднена. Кривые предложения солнечной и ветровой электроэнергии при разных предпосылках показаны на рис. 2 для разных регионов по сравнению с их текущим потреблением. Кривые ограничены ценой в

0,10 долл./кВт·ч. В каждом из 8 регионов возможно обеспечить потребление электроэнергии, увеличенное относительно текущего в 10 раз, по низкой цене. Во-вторых, необходимо, чтобы СЭС и ВЭС — источники энергии с непостоянной генерацией, работа которых зависит от погодных условий, обеспечивали критически важный спрос на электроэнергию.

Например, в работе [5] рассматривается оптимизационная модель, в которой учитываются 20 регионов Европы. Авторы предлагают три сценария полной или частичной декарбонизации за счет солнечной (48–63% от общей электрогенерации) и ветровой (28–33%) генерации до 2050 г., реализация которых в среднем потребует 1 трлн евро ежегодно (что составляет примерно 6–7% номинального ВВП ЕС). В отчете WWF [8] на основе глобальной модели оптимизации электроэнергетики делается вывод, что уже к 2030 г. удастся в значительной мере (от 28 до 48% в зависимости от параметров модели) перейти на возобновляемые источники энергии с акцентом на переработку биомассы.

Для снижения размерности модели РЭС была проведена кластеризация производственных мощностей ветровой и солнечной энергии. Для каждого вида энергии было определено 100 кластеров, объединяющих производственные площадки со сходными природно-климатическими условиями. Кластеры для ветровой и солнечной энергии, как правило, не совпадают. При расчетах предполагалось, что только 5% площади может использоваться для генерации солнечными электростанциями, 40% — ветровыми.

Для оценки перспективности солнечной и ветровой электроэнергетики были рассмотрены 9 сценариев при различных предпосылках о доступности трекеров солнечной энергии и высоте ветряков. В таблице приведена мощность ВЭС и СЭС в зависимости от предпосылок о применяемых технологиях. Из нее видно, что при использовании ВЭС с высотой 150 м достигается наиболее высокий КИУМ (коэффициент использования установленной мощ-

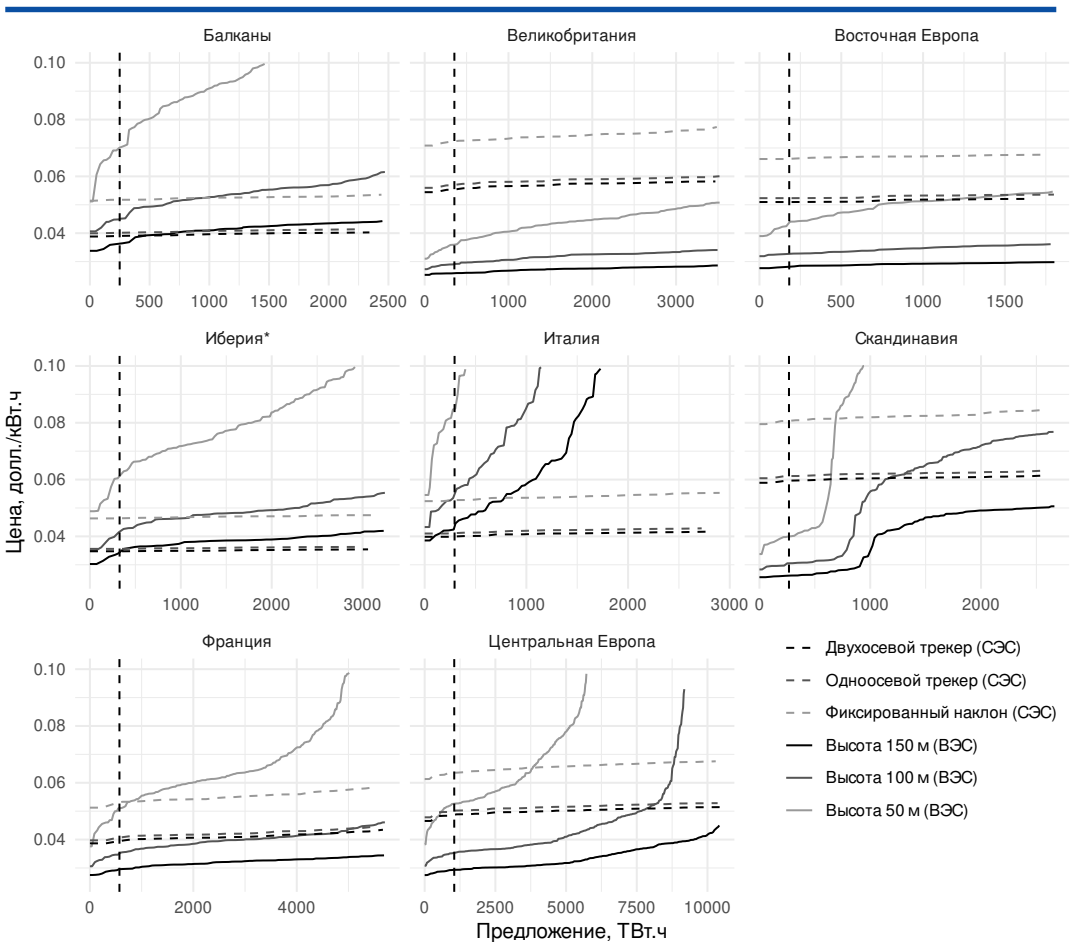
ности). И ветровые электростанции в целом оказываются более экономически привлекательными по сравнению с СЭС, в первую очередь из-за высокого значения КИУМа и более равномерного распределения электроэнергии. При использовании ВЭС с высотой 50 м более целесообразно использовать СЭС.

На рис. 3 показан профиль потребления и генерации электроэнергии в разных регионах ЕС. Для каждого из них продемонстрировано

достижение баланса производства и потребления электроэнергии в почасовом режиме и дана разбивка по видам первичной энергии. На рисунке видно, что СЭС занимают значительную долю генерации в Италии, на Балканах и в Иберии, в остальных регионах преобладают ВЭС.

В полученных результатах стоимость генерации, хранения и передачи электроэнергии до региональных сетей варьируется от 0,022 до 0,036 долл./кВт·ч, что существенно ниже

Рис. 2. Кривые предложения солнечной и ветровой электроэнергии по сравнению с текущим потреблением (увеличенным в 10 раз – вертикальная линия) в регионах ЕС



* — Одно из названий Иберийского (Пиренейского) п-ва, т.е. имеются в виду Испания и Португалия.

Источник: расчеты авторов на основе [3; 4]⁶.

⁶ URL: <https://www.nrel.gov/analysis/tech-size.html>

текущей средней цены на электричество в ЕС (от 0,12 до 0,36 долл./кВт·ч)⁷. Баланс между спросом и производством энергии достигается путем использования АЭС и ГЭС, но их доля в общем энергобалансе не превышает 36%. Франция и Скандинавия, обладающие значительными мощностями для генерации с помощью АЭС и ГЭС, имеют стратегическое преимущество, позволяющее им активно экспортировать электроэнергию.

Для построения сбалансированной системы производства и потребления электроэнергии требуется установить мощности, используемые для ее накопления и хранения. В Центральной Европе, Иберии и Восточной Европе они составляют 677, 470 и 459 ГВт·ч соответственно. Франция, у которой имеются разветвленные связи с соседними регионами, практически не нуждается в мощностях для накопления и хранения электроэнергии. Мощность линий транспортировки варьируется от 1 ГВт между Восточной Европой и Скандинавией до 18 ГВт между Францией и Центральной Европой. (См. рис. 4.)

Текущая структура генерации электроэнергии с использованием, в том числе, природного газа и угля обходится существенно дороже предложенной структуры с преобладанием ВИЭ. В долгосрочном периоде генерация с помощью ВИЭ будет доминировать с учетом наблюдаемых сегодня колебаний цен на при-

родный газ и планов ЕС по снижению выбросов парниковых газов (ПГ) в атмосферу. На рис. 5 приведена стоимость генерации электроэнергии в зависимости от предпосылок о доступности технологий и доли критического спроса. Чем больше доля критического спроса, тем выше издержки генерации. Однако стоимость генерации электроэнергии в странах ЕС все еще значительно ниже, чем текущая стоимость реализации электроэнергии в них.

Полученные оценки стоимости электроэнергии ставят под сомнение перспективность экспорта как природного газа, так и нефти и нефтепродуктов в страны ЕС. Так, при цене электроэнергии в 0,035 долл./кВт·ч 100 км пути для модели Tesla M обойдутся в 0,58 долл., что значительно меньше 4–8 долл. при расходе на тот же путь 4 л бензина. Но даже при текущей стоимости электроэнергии расходы на электромобили, без учета субсидий, ниже, чем на автомобили с бензиновыми и дизельными двигателями.

Стоимость природного газа в энергетическом эквиваленте, но без учета разной эффективности его использования, составляет 0,01–0,02 долл./кВт·ч (при цене 100–200 долл./1000 м³). Перспективы экспорта российского природного газа в ЕС низки при таком соотношении цен (с учетом большей энергетической эффективности использования электроэнергии) и желании ЕС обеспечить себе энергетиче-

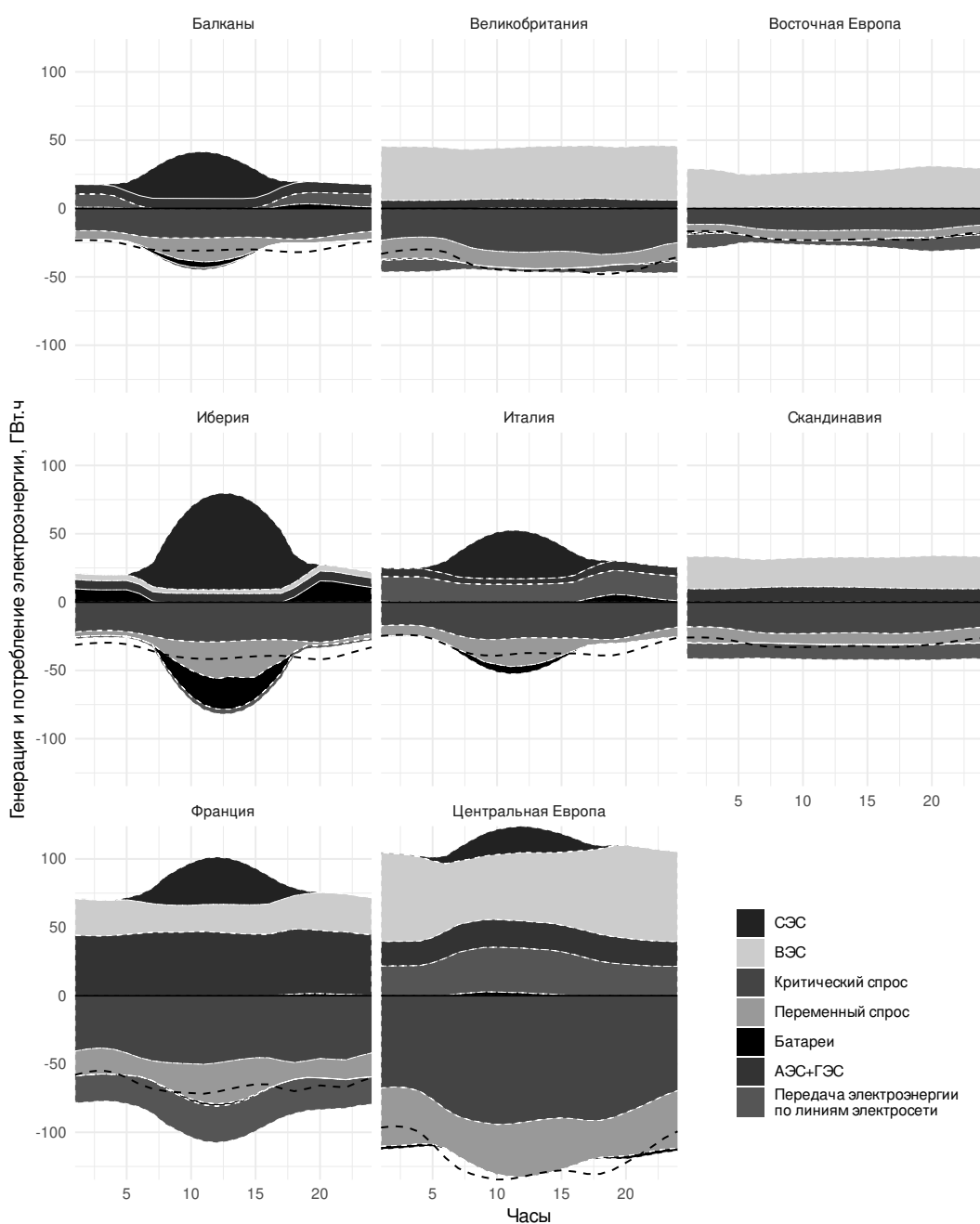
Мощность ВЭС и СЭС в зависимости от предпосылок об используемых технологиях, ГВт

Характерная высота ВЭС	Тип трека СЭС	Мощность ВЭС	Мощность СЭС
150 м	Фиксированный наклон	444,6	0
	Одноосевой трека	400,1	65
	Двухосевой трека	392,8	75,2
100 м	Фиксированный наклон	507,5	11,7
	Одноосевой трека	388	177
	Двухосевой трека	381,6	182,2
50 м	Фиксированный наклон	405,6	396,7
	Одноосевой трека	150,9	652,3
	Двухосевой трека	130,7	661,6

Источник: расчеты авторов.

⁷ Electricity production, consumption and market overview / Eurostat. 2021. URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data>

Рис. 3. Профиль генерации и потребления электроэнергии в регионах ЕС

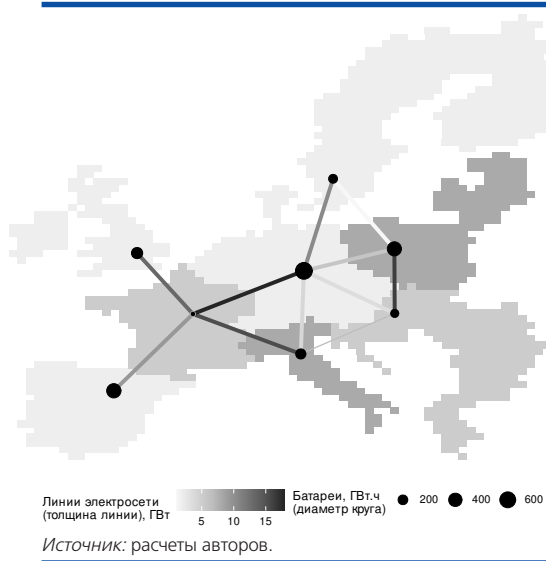


Источник: расчеты авторов.

ческую независимость. При цене квот на выбросы ПГ в 50 евро на 1 т CO₂ цена электроэнергии, выработанной с помощью газа, возрастет на дополнительные 0,01 долл./кВт·ч, что сделает экспорт природного газа еще менее целесообразным для ЕС.

Ограниченность земельных ресурсов и относительно высокая стоимость земли, отводимой на строительство ветряков и размещение солнечных батарей, могут стать препятствиями при создании энергосистемы с большой долей ВИЭ. Для реализации таких планов необходимо выделение от 81 тыс. км² под ВЭС согласно сценарию, при котором использовать СЭС не имеет экономического смысла, до 49 тыс. км² согласно сценарию с самой большой площадью под СЭС (16 тыс. км², тогда как для ВЭС она составляет 23 тыс. км²). При этом следует учитывать, что, когда речь идет о площади, занимаемой ВЭС, лишь небольшая ее доля физически занята ветряками. (Площади, используемые для установки ВЭС и СЭС в странах ЕС, показаны на рис. 6.)

Рис. 4. Необходимые линии электропередачи и батареи для балансировки транспортирования электроэнергии в ЕС



Выводы

Имеющаяся на сегодня структура генерации электроэнергии с использованием, в том числе, природного газа и угля обходится существенно дороже предложенной структуры с большой долей ВИЭ: 0,1–0,4 долл./кВт·ч против 0,02–0,035 долл./кВт·ч. Согласно полученным оценкам использование природного газа на нужды электроэнергетики и, как следствие, экспорт российского природного газа в страны ЕС для целей электрогенерации в долгосрочной перспективе маловероятны. При расчете таких поставок не учитывалась климатическая политика стран ЕС. Вместе с тем следует иметь в виду, что, во-первых, полученные оценки не учитывают издержки доставки электроэнергии от мест производства до конечного потребителя внутри конкретного региона ЕС. Во-вторых, проведенные расчеты не касаются использования газа для теплоэнергетики и для нужд домохозяйств, составляющих существенную долю потребителей газа в ЕС. Тепловые насосы могут являться альтернативой природному газу в отоплении —

Рис. 5. Стоимость генерации электроэнергии в ЕС в зависимости от предпосылок о доступности технологий и доли критического спроса

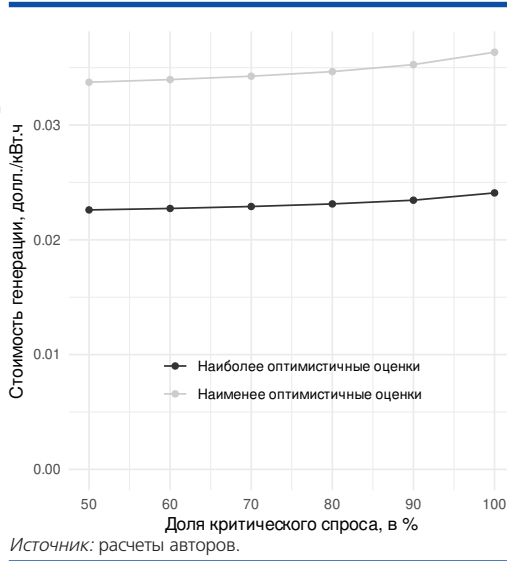
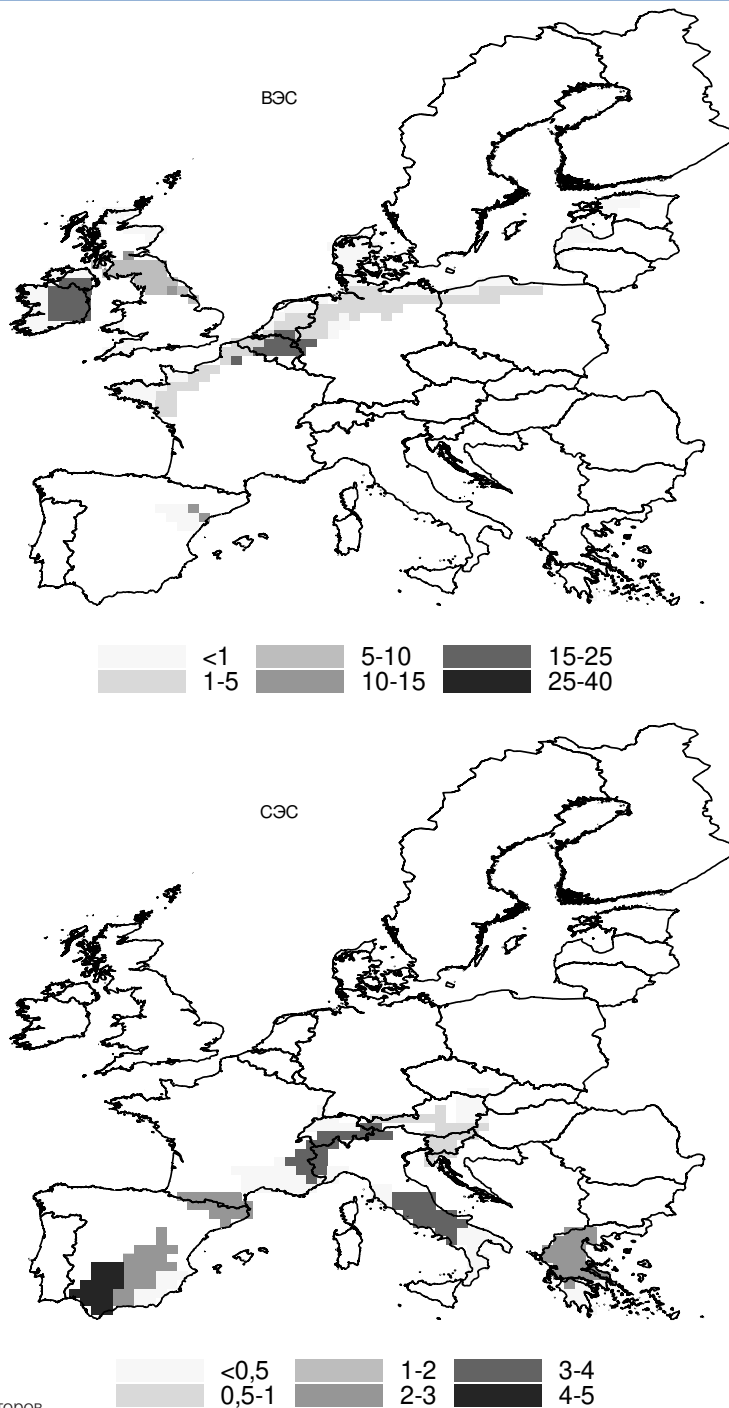


Рис. 6. Доли площади, используемой под генерацию электроэнергии ВЭС и СЭС в ЕС, в %



Источник: расчеты авторов.

однако анализ их использования выходит за рамки нашего исследования.

Долгосрочные перспективы прибыльного для России экспорта нефти и нефтепродуктов для нужд дорожного транспорта ЕС также невелики. Отметим, что дорожный транспорт — основной конечный потребитель нефти и нефтепродуктов в ЕС. Между тем электромобили уже выигрывают конкуренцию у бензинового и дизельного транспорта. И с учетом полученных нами оценок, вероятно, спрос на последний будет снижаться еще больше. В то же время следует учитывать, что на пути дальнейше-

го развития электротранспорта может встать проблема недостатка редкоземельных металлов, используемых при производстве аккумуляторов. Выходом из этой ситуации может стать, например, прогресс в налаживании выпуска натрий-ионных аккумуляторов или развитие водородного транспорта.

Вопрос об экспорте угля в ЕС вообще не стоит. Потребление угля в Европе, в том числе на нужды электрогенерации, устойчиво снижалось на протяжении последних 30 лет. И эта тенденция усиливается, особенно в связи с принятием нового стандарта качества воздуха. ■

Литература / References

1. Assessing HVDC Transmission for Impacts of Non Dispatchable Generation / U.S. Energy Information Administration. 2018. URL: <https://www.eia.gov/analysis/studies/electricity/hvdc/transmission/pdf/transmission.pdf>
2. Electricity storage. Technology Brief / International Renewable Energy Agency. 2021.
3. Lugovoy O., Shuo G. MERRA-2 subset for evaluation of renewables with merra2ools R-package: 1980-2020 hourly, 0.5° lat x 0.625° lon global grid. March 29, 2021. URL: <https://doi.org/10.5061/dryad.v41ns1rtt>
4. PV Performance Modeling Collaborative / Sandia National Laboratories. 2021. URL: <https://pvpmc.sandia.gov/>
5. Ram M., Bogdanov D. 100% Renewable Europe: How to Make Europe's Energy System Climate-Neutral Before / SolarPower Europe. 2020.
6. Renewable Power Generation Costs in 2020 / International Renewable Energy Agency. Abu Dhabi. 2021.
7. Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070 // Applied Energy. 2020. Vol. 266. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114848>
8. White A., Anderson J. Re-energising Europe Putting the EU on Track for 100% Renewable Energy. 11th. ed. / WWF. 2013. URL: https://awsassets.panda.org/downloads/res_report_final_1_1.pdf

Impact of Solar and Wind Energy In the EU Countries on the Long-Term Prospects of Russian Hydrocarbon Exports

Vladimir Yu. Potashnikov — Senior Researcher of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Moscow, Russia). E-mail: potashnikov.vu@gmail.com

Alexander A. Golub — Senior Researcher of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Doctor of Economic Sciences (Moscow, Russia). E-mail: alexander.a.golub@gmail.com

Dmitry A. Shorin — Junior Researcher of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Moscow, Russia). E-mail: shorin.da@phystech.edu

Solar and wind are forcing out coal and gas-fired power in the EU. Electric cars will edge out gasoline powered cars. Based on the highly detailed model of the representative energy system of the EU carbon-free electric power industry (365 days for 24 hours, 200 supply regions and 8 demand regions) presented in the article, it has been concluded that the share of renewable energy sources (RES) is likely to continue to grow, despite the difficulties of balancing energy sources with intermittent operation. And carbon regulation can only accelerate this process.

The article was prepared in the framework of execution of state order by RANEPА.

Key words: energy transition, representative power model, 100% electricity generation, renewable energy sources (RES).

JEL-codes: Q47, Q42, Q41.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П1

Предпосылки модели РЭС о ключевых технологиях

Технология	Издержки	Технические параметры
СЭС [3; 4] ⁸	Инвестиционные затраты на фотоэлектрическую энергию – 825 долл./кВт. Фиксированная эксплуатация и техническое обслуживание (O&M) – 9,5 долл./кВт в год	КИУМ варьируется в пределах 9–28% в зависимости от местоположения станции. Срок эксплуатации – 30 лет
ВЭС [3; 4] ⁹	Инвестиционная стоимость – 1050 долл./кВт. Фиксированный O&M – 27 долл./кВт в год	КИУМ варьируется в пределах 13–57% в зависимости от местоположения станции. Срок эксплуатации – 20 лет
Lilon [2]	Инвестиционные затраты – 250 долл./МВт.ч	10%-ные потери при зарядке. Срок эксплуатации – 15 лет
Двухполюсная линия электропередачи 500 кВ HVDC [1]	367 млн долл. за преобразовательную станцию HVDC в одном направлении; 0,87 млн долл. на 1 км; потери – 2,4 ГВт	Потери варьируются в пределах 2,5–7,2% в зависимости от расстояния между регионами

Источник: составлено авторами.

Таблица П2

Распределение стран ЕС по регионам

Регион	Страны
Центральный	Австрия, Бельгия, Чехия, Германия, Люксембург, Нидерланды, Швейцария
Балканы	Болгария, Кипр, Греция, Хорватия, Венгрия, Словения, Словакия, Румыния
Скандинавия	Дания, Финляндия, Швеция
Восточная Европа	Эстония, Литва, Латвия, Польша
Иберия	Испания, Португалия
Франция	Франция
Великобритания	Великобритания, Ирландия
Италия	Италия

Источник: составлено авторами.

Таблица П3

Высоковольтные линии постоянного тока в ЕС, их стоимость и эффективность

Линия		Расстояние, км	Эффективность, в %	Стоимость, млн долл./ГВт
Регион	Регион			
Иберия	Франция	799	97,1	292
Великобритания	Франция	595	97,7	217
Центральная Европа	Франция	699	97,4	255
Центральная Европа	Италия	704	97,5	257
Восточная Европа	Балканы	547	97,8	200
Центральная Европа	Восточная Европа	498	98	182
Восточная Европа	Скандинавия	660	97,5	241
Скандинавия	Центральная Европа	792	97,1	289
Балканы	Италия	637	97,6	232
Франция	Италия	703	97,4	256
Центральная Европа	Балканы	607	97,6	221

Источник: расчеты авторов на основе табл. П1.

⁸ URL: <https://www.nrel.gov/analysis/tech-size.html>, URL: <https://www.lazard.com/media/451419/lazards-levelized-cost-of-energy-version-140.pdf>

⁹ Там же.