

DOI: 10.23932/2542-0240-2022-15-1-10

Пределы интеграции новых возобновляемых источников энергии в электроэнергетике стран Евросоюза: экономические аспекты

Станислав Вячеславович ЖУКОВ

доктор экономических наук, заместитель директора по науке
Национальный исследовательский институт мировой экономики и
международных отношений им. Е.М. Примакова РАН,
117997, Профсоюзная ул., д. 23, Москва, Российская Федерация
E-mail: zhukov@imemo.ru
ORCID: 0000-0003-2021-2716

Иван Александрович КОПЫТИН

кандидат экономических наук, руководитель Центра
энергетических исследований
Национальный исследовательский институт мировой экономики и
международных отношений им. Е.М. Примакова РАН,
117997, Профсоюзная ул., д. 23, Москва, Российская Федерация
E-mail: kopytin@imemo.ru
ORCID: 0000-0002-7824-2670

Артем Михайлович ПОПАДЬКО

младший научный сотрудник, Центр энергетических исследований
Национальный исследовательский институт мировой экономики и
международных отношений им. Е.М. Примакова РАН,
117997, Профсоюзная ул., д. 23, Москва, Российская Федерация
E-mail: apopadko@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3619-6538

ЦИТИРОВАНИЕ: Жуков С.В., Копытин И.А., Попадько А.М. (2022). Пределы интеграции новых возобновляемых источников энергии в электроэнергетике стран Евросоюза: экономические аспекты // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. Т. 16. № 1. С. 203–223.
DOI: 10.23932/2542-0240-2022-15-1-10

Статья поступила в редакцию 07.11.2021.
Исправленный текст представлен 25.12.2021.

АННОТАЦИЯ. В значительном числе работ подробно проанализированы возможности и пределы создания в странах ЕС электроэнергетики, основанной на новых возобновляемых источниках энергии (НВИЭ). Основное внимание при этом уделяется технологическим аспектам построения принципиально новой энергосистемы, которые открывают НВИЭ «зеленую дорогу». Настоящая статья концентрируется на экономических факторах и ограничениях перехода к полностью декарбонизированной электроэнергетике. Наш вклад в анализ этой проблематики заключается в следующем. Во-первых, мы показываем, что интенсивная перестройка электроэнергетики в странах ЕС разворачивается на фоне стагнирующего и даже в перспективе незначительно снижающегося спроса на электроэнергию. Вялая динамика европейской экономики на протяжении последних нескольких десятилетий, которая усугубилась экзогенным шоком глобальной коронавирусной инфекции, ставит под вопрос возможности значительного роста спроса на электроэнергию в среднесрочной и долговременной перспективе. Во-вторых, ценой перехода являются повышенные тарифы на электроэнергию для домохозяйств и компаний реального сектора. Эконометрические расчеты подтверждают, что цена на электроэнергию прямо пропорциональна доле НВИЭ в совокупной генерации и величине налога на эмиссию углерода. В-третьих, в ЕС выделились две группы стран, которые нацелены на реализацию разных стратегий декарбонизации электроэнергетики. Если страны с высоким уровнем среднедушевого дохода и длительной рыночной истори-

ей в основном делают ставку на внедрение НВИЭ, то располагающие ограниченными возможностями для экономического маневра страны сравнительно более низкого уровня развития пытаются декарбонизировать электроэнергетику за счет атомной энергетики, что объективно лимитирует продвижение новых возобновляемых источников энергии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экономика, электроэнергетика, новые возобновляемые источники энергии, атомная энергетика, системы хранения электроэнергии, декарбонизация, сквозная регрессия.

В 2020 г. доля новых возобновляемых источников энергии (НВИЭ) – ветровой, солнечной и биоэнергии – в совокупной генерации электроэнергии в странах Евросоюза достигла 25,5% по сравнению со всего 2% в 2000 г. В шести странах ЕС этот показатель превысил 35%, причем в Дании он достиг 78%, а в Германии – крупнейшей европейской экономике – 42%. Десятилетие 2030-х годов должно стать решающим с точки зрения реализации стратегической цели ЕС по полной декарбонизации экономики к 2050 г. При этом, согласно скорректированному по требованию Федерального Конституционного Суда Германии закону об изменении климата, страна должна достичь климатической нейтральности уже к 2045 г.¹, на пять лет ранее, чем Евросоюз в целом. Очевидно, что электроэнергетика останется главным сектором, который должен позволить ЕС добиться решения стратегической задачи по переходу к зеленой экономике.

1 Climate Change Act. Intergenerational contract for the climate. – 2021. – URL: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/climate-change-act-2021-1936846> (дата обращения: 25.10.2021).

Цель настоящей статьи – ответить на два взаимосвязанных вопроса: во-первых, насколько универсальной для стран Евросоюза окажется условная датско-германская модель построения энергетической системы на базе НВИЭ; во-вторых, в чем заключаются экономические ограничения построения электроэнергетического сектора, основанного на повышенной доле новых возобновляемых источниках энергии. Ответы на эти принципиальные вопросы позволяют составить аргументированную позицию по проблеме, вынесенной в заголовок статьи: каковы пределы интеграции НВИЭ в электроэнергетике стран Евросоюза. Эти пределы будут определены не инженерно-технологическими возможностями новых, пока не существующих технологий, а устойчивостью энергетической системы и экономического роста. Исследование концентрируется на пе-

риоде до 2030 г., так как из-за зашкаливающей неопределенности аргументированный анализ развития европейской электроэнергетики в более долгой перспективе не представляется возможным.

Динамика и отраслевая структура генерации электроэнергии в ЕС

Анализ динамики производства и потребления электроэнергии в странах – членах Евросоюза в исторической перспективе показывает, что спрос на электроэнергию достиг пика в 2008 г. и с тех пор стагнирует (см. рис. 1). Более того, в 2018 г. в очередной раз наметилась тенденция к медленному снижению спроса на электроэнергию, которая была подкреплена негативным влиянием экзогенного шока *COVID-19*.



Рисунок 1. Динамика генерации и потребления электроэнергии в ЕС-27, ТВт/ч
Figure 1. Dynamics of electricity generation and consumption in EU-27, TWh

Источник: составлено по [Agora Energiewende, 2020].

Среднегодовые темпы роста ВВП стран ЕС в 2000–2019 гг. составили всего 1,4%², но динамика спроса на электроэнергию представляется закономерной. По прогнозам МВФ, после постковидного восстановления в 2021–2022 гг. с 2023 г. темпы экономического роста в странах Евросоюза вернуться на низкую траекторию и в 2023–2026 гг. составят в среднем 1,8%³.

Германия, а также Нидерланды, Швеция и другие страны Евросоюза с высоким среднедушевым ВВП пытаются создать новые рынки для электроэнергии в теплоэнергетике и промышленности за счет ускорения электрификации этих двух секторов, а также стимулируя электрификацию дорожного транспорта. Для этого задействованы бюджетная, инвестиционная и

налоговая политика, но позволить себе отвлекать значительные ресурсы на нерыночное стимулирование электрификации экономики могут позволить себе далеко не все европейские страны [Stromgestehungskosten erneuerbare energien, 2018; Bundesnetzagentur, 2019]. К тому же в странах ЕС продолжает действовать универсальная тенденция к снижению удельного потребления энергии, в том числе электроэнергии. Все это в совокупности значительно повышает неопределенности перспективной динамики спроса на электроэнергию в масштабах Евросоюза в целом [Кавешников, 2015].

На фоне стагнирующего спроса и предложения наблюдается интенсивная перестройка электрогенерации по первичным источникам энергии. Осо-

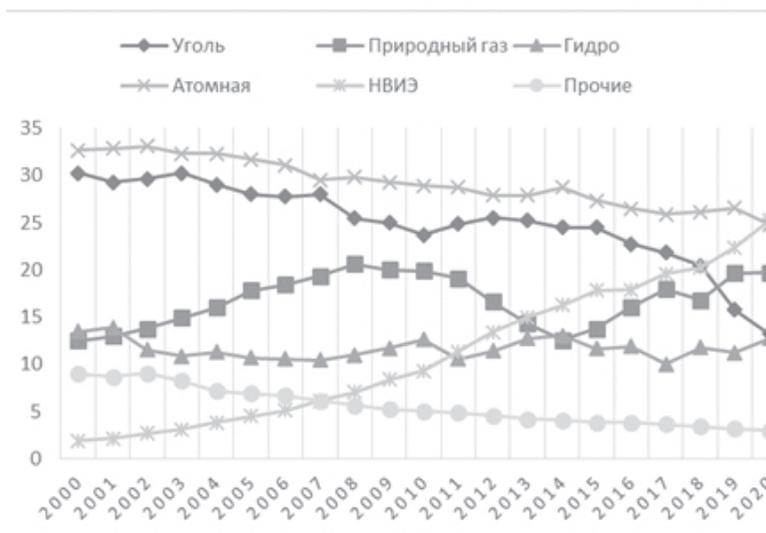


Рисунок 2. Структура генерации электроэнергии в ЕС-27 в разрезе первичных энергоисточников, %

Figure 2. Structure of electricity generation in the EU-27 by primary energy sources, %

Источник: составлено по [Agora Energiewende, 2020].

2 UN. GDP/breakdown at constant 2015 prices in US Dollars (all countries). – 2021. – URL: <https://unstats.un.org/unsd/snaama/Downloads> (дата обращения: 15.09.2021).

3 IMF. World Economic Outlook database: October 2021. – 2021. – URL: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2021/October/download-entire-database> (дата обращения: 15.10.2021).

бенно отчетливо выражена тенденция к снижению в структуре совокупной генерации атомной и угольной энергии, причем с 2015 г. снижение доли последней приняло обвальный характер. Доля гидроэнергетики остается стабильной. Вклад природного газа в совокупную генерацию, исключая провальное десятилетие 2010-х годов, пока стабилизировался на уровне 20–21%. Главным же драйвером структурных сдвигов стали НВИЭ, доля которых в общей генерации стремительно росла и в 2020 г. достигла 25% (см. рис. 2).

Модельные сценарии и условия создания сильно декарбонизированной электроэнергетики в ЕС

Существует достаточно большое число научных и прикладных работ, которые постулируют, что энергосистема ЕС, базирующаяся исключительно на возобновляемых источниках энергии, является практически реализуемой задачей. Большинство этих работ рассматривают ключевые проблемы энергоперехода, включая оптимальную структуру генерации по первичным энергоисточникам, требуемую цену на выбросы парниковых газов, масштабы развития систем хранения электроэнергии, требования к характеристикам сети электропередач внутри и между странами Евросоюза [Impact of CO₂ prices..., 2019].

В ряде работ проблема построения декарбонизированной энергосистемы на основе НВИЭ рассматривается детально. В статье [Zappa, Junginger, van den Broek, 2019] сформировано и проанализировано 7 сценариев построения 100%-декарбонизированной электроэнергетической системы в ЕС

к 2050 г. Они показали, что: во-первых, для достижения углеродной нейтральности в электроэнергетике ЕС потребуется в 1,9 раза нарастить мощности по генерации до почти 2 ТВт (в 2020 г. – 1 ТВт) [ENTSO-E..., 2021]; во-вторых, увеличить пропускную способность трансграничных узлов экспорта и импорта электроэнергии с имеющихся 60 до 200 ГВт; в-третьих, обеспечить надежную интеграцию в энергосистему гибко управляемой инфраструктуры по зарядке парка электромобилей и электронагревательного оборудования с целью сглаживания пиков спроса; в-четвертых, массово расширить использование биоэнергии. При этом ветровая и солнечная энергетика должны развиваться именно в тех странах и зонах, где для этого существуют наиболее подходящие климатические условия, что потребует создания единой системы управления перетоками электроэнергии между странами. Общим условием эффективного и надежного функционирования такой системы является наличие значительных генерирующих мощностей в гидроэнергетике и развертывание промышленных систем хранения электроэнергии для поддержки прерывистого энергетического потока, генерируемого НВИЭ.

Сценарное видение развития электроэнергетики ЕС в долгосрочной перспективе, представленное в последнем годовом обзоре мировой энергетики Международным энергетическим агентством, также предполагает значительное увеличение вклада НВИЭ в совокупную генерацию электроэнергетики. К 2030 г. в зависимости от сценария доля возобновляемых источников энергии в общей электрогенерации ЕС ожидается на уровне 60–66%, а к 2050 г. – на уровне 75–85% (см. табл. 1).

Таблица 1. ЕС-27: структура генерации электроэнергии в разрезе первичных энергоисточников, %

Table 1. EU-27: structure of electricity generation by primary energy sources, %

ВИЭ	2020 факт	2030 сценарный прогноз			2050 сценарный прогноз		
		I	II	III	I	II	III
Ветровая	14	27	32	32	38	54	54
Солнечная	5	13	15	21	15	10	14
Угольная	14	3	1	1	0	0	0
Газовая	20	17	13	13	10	1	1
Атомная	25	19	19	19	15	12	12
Другие ВИЭ	20	20	20	13	22	22	17
Прочие	2	1	0.3	0.3	0.2	1	1
Всего	100	100	100	100	100	100	100
Доля ВИЭ	39	60	66	66	75	85	85

* Сценарий I – заявленные политики; Сценарий II – ускорение декарбонизации; Сценарий III – устойчивое развитие.

Источник: составлено по: [International Energy Agency, 2021b].

Все отмеченные выше и другие сходные работы сконцентрированы на технологических аспектах перестройки энергетики и, как правило, мало уделяют внимания экономике зеленого перехода. Такие попытки предпринимались на относительно ранних стадиях перехода [Schmid, Knopf, 2013] и в основном ограничивались моделированием затрат в самом энергетическом секторе в отрыве и вне контекста экономического роста.

В имеющихся оценках преобладают оптимистические ожидания. Так, исследование [Flexible electricity generation..., 2019] приводит к выводу, что приведенная к годовому выражению стоимость электроэнергии в декарбонизированной энергосистеме снизится относительно текущих уровней, что, собственно, и является рациональным обоснованием для построения такой системы. По оценкам [Pietzcker, Osorio, Rodrigues, 2021], даже радикализация

сценария декарбонизации экономики Евросоюза, запущенная серией инициатив лета 2021 г., не сильно повысит издержки декарбонизации электроэнергетики, которая может быть реализована через ужесточение требований в европейской системе торговли разрешениями на выбросы парниковых газов. Издержки энергосистемы по сравнению с менее радикальным сценарием декарбонизации вырастут всего на 5%.

Справедливости ради следует отметить, что в работе [Zappa, Junginger, van den Broek, 2019] отмечают, что декарбонизированная энергосистема будет для ЕС существенно дороже в сравнении с традиционной. Международное энергетическое агентство не раскрывает стоимость зеленой трансформации европейской электроэнергетики, но, судя по приводимым общим оценкам, речь идет о ресурсах порядка нескольких триллионов долларов [International Energy Agency, 2021b].

Экономические аспекты углубления декарбонизации европейской электроэнергетики

С экономической точки зрения особое значение имеет вопрос о том, каким образом внедрение в энергосистему НВИЭ влияет на цену электроэнергии для конечных потребителей. В условиях, как это было продемонстрировано выше, стагнирующего, а в тенденции даже медленно снижающегося спроса на электроэнергию, на фоне вялого экономического роста этот вопрос становится особенно актуальным.

Для ответа на этот вопрос протестируем для стран членов ЕС панельную регрессию $Pr = f(X)$, где Pr – цена электроэнергии, X – набор объясняющих переменных. Мы используем аппарат панельной регрессии для того, чтобы установить, насколько динамика национальных рынков электроэнергии определяется общими для стран ЕС факторами, что, учитывая политику Еврокомиссии по построению интегрированной электроэнергетической системы, имеет принципиальное значение.

Все исходные показатели в годовом выражении почерпнуты из баз данных ООН⁴, Евростата⁵, МВФ⁶, *Bloomberg*⁷, а также ряда других источников [Agora Energiewende, 2020; ENTSO-E..., 2021]. Все показатели взяты в логарифми-

ческих приростах. Стандартные эконометрические тесты Бройша, Пагана и Хаусмана показали, что лучше всего для описания имеющейся выборки подходит простая сквозная регрессия (*pooled regression*). Для цены электроэнергии использовались следующие показатели: Pr_{ht} – полная цена электроэнергии для домохозяйств, включая налоги и дополнительные платежи, евро за 1 кВт/ч; Pr_{bt} – полная цена электроэнергии для бизнеса, включая налоги и дополнительные платежи, евро за 1 кВт/ч.

Полный набор регрессоров включает:

- *Hydro* – доля гидроэнергетики в совокупной генерации, %;
- *Coal* – доля угля в совокупной генерации, %;
- *Nuclear* – доля атомной энергетики в совокупной генерации, %;
- *Renewables* – доля возобновляемых источников энергии, исключая гидроэнергетику, в совокупной генерации, %;
- *GDPPC* – валовой внутренний продукт на душу населения в долларах 2015 г.;
- *ECPC* – потребление электроэнергии на душу населения, ТВт/ч;
- CO_2PR – цена фьючерсного контракта на выбросы одной тонны углекислого газа, долларов за тонну;
- *Dummy* – 1 – для стран с бывшим централизованным планированием, 0 – для исторически рыночных стран;
- *Constant* – константа в регрессии.

4 UN. Per Capita GDP at constant 2015 prices in US Dollars (all countries). – 2021a. – URL: <https://unstats.un.org/unsd/snaama/Downloads> (дата обращения: 15.09.2021).

5 Eurostat. Electricity prices for household consumers – bi-annual data (from 2007 onwards). – 2021. – (nrg_pc_204). – URL: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_pc_204&lang=en (дата обращения: 15.09.2021); Eurostat. Electricity prices for non-household consumers – bi-annual data (from 2007 onwards). – 2021. – (nrg_pc_205). – URL: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_pc_205&lang=en (дата обращения: 15.09.2021); Eurostat. Population on 1 January by age and sex. – 2021. – (demo_pjan). – URL: <https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/setupDownloads.do> (дата обращения: 15.09.2021);

Eurostat. Real GDP per capita. – 2021. – (SDG_08_10). – URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_08_10/default/table?lang=en (дата обращения: 15.09.2021).

6 IMF. World Economic Outlook database: October 2021. – 2021. – URL: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2021/October/download-entire-database> (дата обращения: 15.10.2021).

7 База данных Bloomberg. – 2021. – URL: <http://www.bloomberg.com> (дата обращения: 20.09.2021).

Интуитивно мы исходим из того, что высокая доля угольной, гидро- и атомной энергии в совокупной генера-

ции должна оказывать понижающее влияние на цену электроэнергии для конечных потребителей.

Первоначальная регрессия I для домохозяйств имеет вид:

$$\ln \left(\frac{Pr_{ht_t}}{Pr_{ht_{t-1}}} \right) = \text{Constant} + \ln \left(\frac{\text{Hydro}_t}{\text{Hydro}_{t-1}} \right) + \ln \left(\frac{\text{Coal}_t}{\text{Coal}_{t-1}} \right) + \ln \left(\frac{\text{Nuclear}_t}{\text{Nuclear}_{t-1}} \right) + \ln \left(\frac{\text{Renewables}_t}{\text{Renewables}_{t-1}} \right) + \ln \left(\frac{\text{GDPPC}_t}{\text{GDPPC}_{t-1}} \right) + \ln \left(\frac{\text{ECP}_t}{\text{ECP}_{t-1}} \right) + \ln \left(\frac{\text{CO2PR}_t}{\text{CO2PR}_{t-1}} \right) + \text{Dummy}$$

Первоначальная регрессия I для бизнеса имеет вид:

$$\ln \left(\frac{Pr_{bt_t}}{Pr_{bt_{t-1}}} \right) = \text{Constant} + \ln \left(\frac{\text{Hydro}_t}{\text{Hydro}_{t-1}} \right) + \ln \left(\frac{\text{Coal}_t}{\text{Coal}_{t-1}} \right) + \ln \left(\frac{\text{Nuclear}_t}{\text{Nuclear}_{t-1}} \right) + \ln \left(\frac{\text{Renewables}_t}{\text{Renewables}_{t-1}} \right) + \ln \left(\frac{\text{GDPPC}_t}{\text{GDPPC}_{t-1}} \right) + \ln \left(\frac{\text{CO2PR}_t}{\text{CO2PR}_{t-1}} \right) + \text{Dummy}$$

Результаты проведенного в статистическом пакете STATA регрессионного анализа обобщены в табл. 2. Интуитивная гипотеза о понижающем влиянии доли угольной, гидро- и атомной энергии в совокупной генерации на цену электроэнергии для конечных потребителей не подтвердилась. Несмотря на низкий R², коэффициенты при доле НВИЭ в совокупной генерации и уровне налога на выбросы CO₂ оказались значимыми и положительными. Это значит, что продвижение новых возобновляемых источников энергии и повышение платы за эмиссию углерода оказывает систематическое повышающее влияние на цену электроэнергии и для домохозяйств, и для бизнеса во всех странах ЕС, что отражает движение к формированию коинтегри-

рованных национальных рынков электроэнергии.

Следует также отметить, что специальное исследование по германским домохозяйствам за период 2010–2017 гг. показало, что бремя специальных налогов на домохозяйства, которые и являются главным источником для финансирования перехода к низкоуглеродной энергетике в Германии, неравномерно распределено между стратами населения с различным уровнем дохода. Сравнительная нагрузка на бедные домохозяйства выше, чем на домохозяйства с более высокими доходами, что усиливает социально-экономическое неравенство. К тому же более богатые домохозяйства в сравнительно большей степени пользуются выгодами от предустановленного тари-

Таблица 2. Оценка коэффициентов при регрессорах и их значимость
Table 2. Estimation of coefficients for regressors and their significance

	Спецификация регрессии	
	I	I(1)
Для домохозяйств		
Coal	0,017014	
Nuclear	-0,02151	
Hydro	-0,00366	
Renewables	0,028281*	0,023878*
ECPC	-0,16012	
GDPPC	0,021026	
CO ₂ PR	0,006043**	0,005728**
Dummy	-0,01305	
Constant	0,021629	0,013023***
R ²	0,0632	0,0289
Для бизнеса		
Coal	0,034858	
Nuclear	0,085132	
Hydro	-0,0011	
Renewables	0,0464**	0,028683**
GDPPC	0,255161	
CO ₂ PR	0,010391***	0,011784***
Dummy	-0,01923	
Constant	0,009095	0,001806
R ²	0,1827	0,1249

* – 10%-я значимость, ** – 5%-я значимость, *** – 1%-я значимость.

Источник: расчеты авторов.

фа на генерацию НВИЭ, так как могут позволить себе установить оборудование, позволяющее гибко регулировать потоки электроэнергии между домохозяйством и электросетью [Winter, Schlesewsky, 2019].

Таким образом, переход к зеленой энергетике в ЕС ведет к росту тарифов на электроэнергию для конеч-

ных потребителей, что могут позволить себе не все страны – члены Евросоюза. Доходы подавляющего числа домохозяйств в странах со сравнительно невысоким среднедушевым ВВП существенно ниже, чем в странах Западной и Северной Европы. Еще важнее то, что тарифы на электроэнергию являются одним из главных компонентов

производственных издержек для компаний реального сектора, поэтому рост цены электроэнергии ведет к потере глобальной конкурентоспособности национальных производителей.

Гипотетический сценарий полной деуглизации и частичной денуклеаризации электроэнергетики в Евросоюзе к 2030 г.

Оценить экономическую реалистичность радикального сценария декарбонизации электроэнергетики в ЕС можно и косвенным образом, используя упрощенные модельные сценарии. Опираясь на базу данных о действующих мощностях по генерации в разрезе первичных источников энергии [ENTSO-E..., 2021], а также используя информацию о заявленных планах стран ЕС по деуглизации и частичной денуклеаризации электроэнергетики (см. источники к табл. 3 ниже), параметризуем условный сценарий декарбонизации электроэнергетики в странах Евросоюза до 2030 г.⁸

Основные гипотезы такого сценария таковы: во-первых, из оборота выводятся все мощности по угольной генерации в объеме 142 ТВт (основная нагрузка выпадает на Германию, Польшу, Италию, Чехию и Испанию); во-вторых, Германия и Бельгия полностью, а Франция и Швеция частично выводят из оборота 30 ТВт мощностей в атомной энергетике; в-третьих, все выводимые мощности в угольной и атомной генерации компенсируются строительством новых мощностей в ветровой и солнечной энер-

гетике в той же пропорции, что и действующие мощности; в-четвертых, полагается, что все установленные мощности, кроме выводимых, продолжают функционировать. ИмPLICITно предполагается, что спрос на электроэнергию не растет. Также важно учесть, что в силу значительных различий в полезной нагрузке мощностей для компенсации 1 ТВт мощности в угольной и атомной энергетике требуются в несколько раз большие мощности в НВИЭ.

Итерационно расчет был выполнен следующим образом. На основе детализированной страновой статистики ENTSO-E по установленным мощностям генерации в разрезе первичных источников энергии определены среднегодовые объемы ввода в эксплуатацию мощностей в солнечной и ветровой, наземной и офшорной, энергетике за 2016–2021 гг. С учетом объявленных национальных планов по деуглизации и денуклеаризации электроэнергетики в странах ЕС были оценены генерирующие мощности в угольной и атомной электроэнергетике, выводимые из оборота к 2030 г. Опираясь на коэффициенты загрузки генерирующих станций, использующих различные виды топлива и первичные энергоносители, рассчитаны совокупные объемы мощностей солнечной и ветровой генерации, эквивалентные мощностям выводимых угольных и атомных энергостанций. При расчете использовались упрощающие предпосылки: во-первых, полагалось, что все установленные в 2021 г. генерирующие мощности, исключая угольную и атомную энергетiku, останутся в эксплуатации и в 2030 г.; во-вторых, доли ветровой и солнечной энергетики в структуре совокупных мощностей,

8 European Commission. Stepping up Europe's 2030 climate ambition. – 2020. – URL: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:749e04bb-f8c5-11ea-991b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF (дата обращения: 15.09.2021).

вводимых в этих двух секторах в 2022–2030 гг., останутся на усредненных уровнях 2016–2021 гг.; в-третьих, расчет выполнен для прогнозного периода в среднем без учета годовых колебаний; в-четвертых, полагалось, что объем установленных в 2021 г. мощностей будет достаточным для удовлетворения спроса на электроэнергию в 2030 г.

Выполненные по такому алгоритму расчеты показывают, что только для компенсации выводимых мощностей в угольной и атомной генерации странам

ЕС необходимо по сравнению с 2016–2021 гг. почти в 7 раз увеличить объем ввода мощностей в солнечной энергетике и почти в 3,5 раза – в ветровой (см. рис. 3). В Германии и Польше, на которые падает основная нагрузка по деуглизации и денуклеаризации, ввод солнечной генерации должен возрасти соответственно в 6 и 7 раз, ветровой генерации – в 2,5 и 7 раз. Очевидно, что ни у ЕС, ни у Польши и даже у Германии нет экономических ресурсов для столь существенного ускорения зеленого перехода.

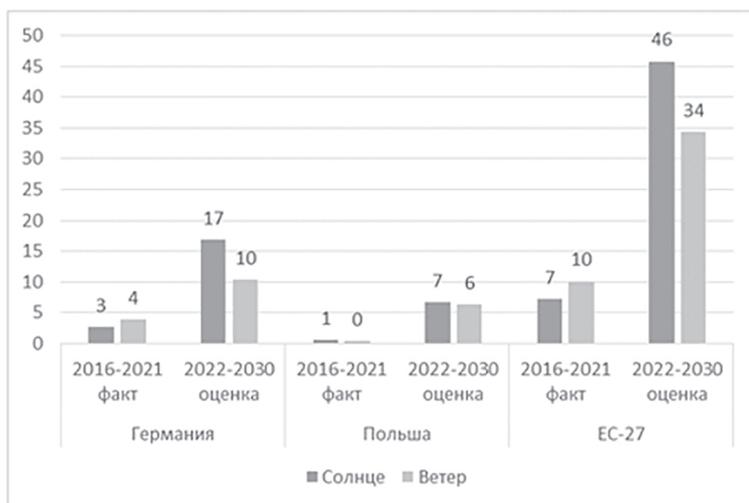


Рисунок 3. ЕС-27, Германия и Польша: грубые оценки мощностей по солнечной и ветровой генерации, которые необходимо вводить ежегодно в 2022–2030 гг. для замещения выбывающих мощностей в угольной и атомной генерации, ТВт

Figure 3. EU-27, Germany and Poland: raw estimates of solar and wind generation capacities which have to be built annually in 2022–2030 to replace the retiring capacities in coal and nuclear generation, TВт

Источники: рассчитано по: [ENTSO-E..., 2021].

В действительности для решения задачи о полной декарбонизации электроэнергетики Германии к 2030 г. потребуются существенно большие усилия, чем в нашем гипотетическом сценарии. Детальное моделирование полной декарбонизации электроэнергетики в Германии [Traber, Hegner, Fell, 2021] показывает, что для данного ре-

шения в период 2021–2030 гг. ежегодно необходимо вводить от 6 до 10 ТВт новых мощностей в ветровой энергетике, что в целом совпадает с нашими упрощенными расчетами, и от 71 до 119 ТВт новых мощностей в солнечной энергетике, размещаемых в значительных масштабах на крышах зданий и сооружений (см. рис. 4).

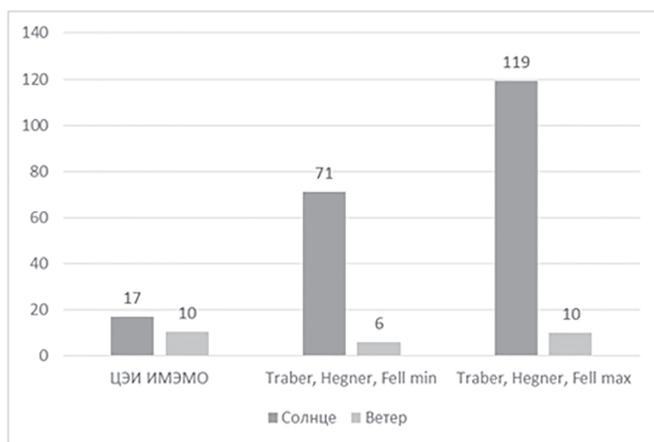


Рисунок 4. Германия: сравнение оценок мощностей по годовому вводу новой солнечной и ветровой генерации в сценарии ЦЭИ ИМЭМО и сценарии достижения 100%-декарбонизированной энергетики, ТВт

Figure 4. Germany: comparison of estimates of new solar and wind generation capacities to be constructed in the ERC IMEMO scenario and the scenario of achieving 100% decarbonized electricity, TW

Источник: расчеты авторов и [Traber, Hegner, Fell, 2021].

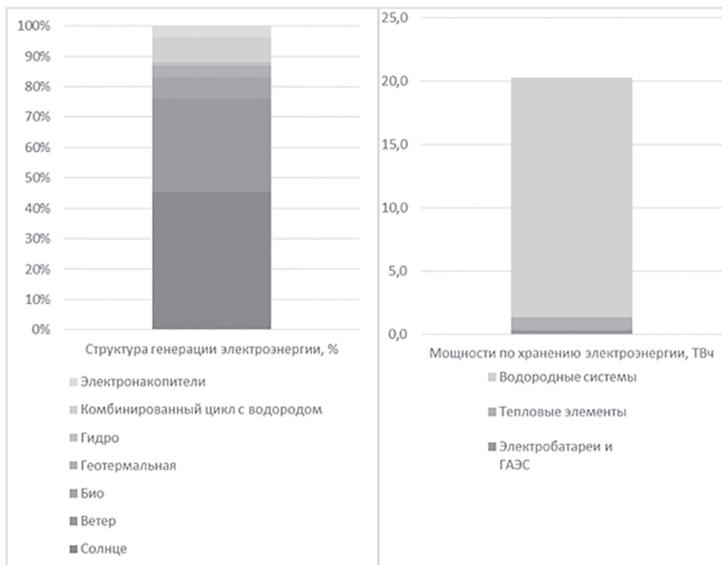


Рисунок 5. Германия: структура генерации (%) и потребность в мощностях по хранению электроэнергии (ТВт/ч) в модельном сценарии полностью декарбонизированной электроэнергетики

Figure 5. Germany: the structure of electricity generation (%) and the required storage capacity (TWh) in the model scenario of fully decarbonized power industry

Источник: составлено авторами по материалам [Traber, Hegner, Fell, 2021].

Для обеспечения стабильной работы такой энергосистемы потребуются создание 20 ТВт мощностей по хранению электроэнергии (см. рис. 5). Причем подавляющую часть мощностей по хранению должны обеспечить системы, базирующиеся на водороде. При том, что в мире еще не созданы коммерчески успешные водородные системы хранения электроэнергии, да и рыночные перспективы водорода в целом остаются под вопросом [Копытин, Попадько, 2021], релевантного понимания стоимости таких систем пока нет. Потенциал же Германии по созданию систем хранения электроэнергии на базе проверенной и работоспособной гидроаккумуляции оценивается всего в 0,007 ТВт [DNV, 2015].

Низкоуглеродный конкурент НВИЭ

Многие страны – члены Евросоюза делают ставку на развитие атомной энергетики. Как минимум они стремятся сохранить мощности действующих атомных реакторов на текущих уровнях. Речь идет не только о странах с бывшим централизованным планированием, для которых внедрение НВИЭ связано с особо высокими экономическими издержками. Например, Международное энергетическое агентство рекомендовало Испании рассмотреть возможность модернизировать атомную энергетику с целью достижения ее углеродной нейтральности

Таблица 3. Страны Евросоюза: цели по деугликации и денуклеаризации электроэнергетики*

Table 3. EU countries: goals for phasing out coal and nuclear electricity generation*

Страны	Целевой год выхода из угольной энергетики	Целевой год выхода из атомной энергетики
Австрия	2020 г.	неразвита и нет планов
Бельгия	вышла из угольной энергетики в 2016 г.	2025 г.
Болгария	2040 г.	планирует расширение использования атомной энергии (высокая неопределенность)
Хорватия	не определена	является совладельцем атомной станции в Словении, поддерживает расширение использования атомной энергии
Чехия	не определена, предварительно 2038 г.	планирует расширение использования атомной энергии
Дания	2028 г.	неразвита и нет планов
Финляндия	середина 2029 г.	планирует расширение использования атомной энергии
Франция	2022 г.	снижение доли атомной генерации с нынешних 75% до 50% к 2035 г. (высокая неопределенность)
Германия	2038 г., высоковероятно – 2030 г.	2022 г.
Греция	2025 г.	неразвита и нет планов
Венгрия	конец 2025 г.	планирует расширение использования атомной энергии
Ирландия	2025 г.	неразвита и нет планов
Италия	2025 г.	вышла в 1990 г.

Страны	Целевой год выхода из угольной энергетики	Целевой год выхода из атомной энергетики
Нидерланды	конец 2029 г.	изучает возможности строительства ядерных реакторов
Польша	до 2040 г.	изучает возможности строительства ядерных реакторов
Португалия	конец 2021 г.	неразвита и нет планов
Румыния	2032 г.	планирует расширение использования атомной энергии
Словакия	2030 г.	планирует расширение использования атомной энергии
Словения	не определена, предварительно в 2033–2042 гг.	планирует расширение использования атомной энергии
Испания	2030 г.	2035 г. (высокая неопределенность)
Швеция	вышла из угольной энергетики в 2020 г.	снижение мощностей на 50% к 2035 г. (высокая неопределенность)

* – на начало ноября 2021 г.

* – as stated at the beginning of November

Источники: составлено авторами по [Overview: National coal phase-out, 2021; Gross, 2021; Gillin, 2020; Trkanjec, 2021; International Energy Agency, 2021a; Energy Policy of Poland until 2040, 2021], а также следующим новостным материалам: Belgian nuclear phase out an 'irreversible loss', PM told // World Nuclear News. – 2021. – August 23 – URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Belgian-nuclear-phase-out-an-irreversible-loss-PM> (дата обращения: 15.09.2021); Czech support for nuclear becomes law // World Nuclear News. – 2021. – September 29. – URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Czech-support-for-nuclear-becomes-law> (дата обращения: 15.09.2021); Finland's Spent Fuel Repository a "Game Changer" for the Nuclear Industry, Director General Grossi Says // IAEA Office of Public Information and Communication. – 2020. – November 26. – URL: <https://www.iaea.org/newscenter/news/finlands-spent-fuel-repository-a-game-changer-for-the-nuclear-industry-director-general-grossi-says> (дата обращения: 15.09.2021); Dutch study finds commercial support for nuclear new build // World Nuclear News. – 2021. – July 8. – URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Dutch-study-finds-commercial-support-for-nuclear-n> (дата обращения: 15.09.2021); Energy permit granted for second Slovenian reactor // World Nuclear News. – 2021. – July 19. – URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Energy-permit-granted-for-second-Slovenian-reactor> (дата обращения: 15.09.2021); France to close 14 nuclear reactors by 2035: Macron // Phys.org. – 2018. – November 27. – URL: <https://phys.org/news/2018-11-france-nuclear-reactors-macron.html> (дата обращения: 15.09.2021); Hungary and Poland plan nuclear to replace coal // World Nuclear News. – 2021. – March 5. – URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Hungary-and-Poland-plan-nuclear-to-replace-coal> (дата обращения: 15.09.2021); Hungary watchdog withholds nuclear expansion permits, seeks further info // Reuters. – 2021. – October 1. – URL: <https://www.reuters.com/business/energy/hungary-watchdog-withholds-nuclear-expansion-permits-seeks-further-info-2021-10-01/> (дата обращения: 15.10.2021); New nuclear reactor will make Slovakia a power exporter // World Nuclear News. – 2021. – August 17. – URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/New-nuclear-reactor-will-make-Slovakia-a-power-exp> (дата обращения: 15.09.2021); Nuclear Power in Italy // World Nuclear News. – 2021. – January. – URL: <https://world-nuclear-news.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/italy.aspx> (дата обращения: 15.09.2021); Romanian energy policy will see nuclear double // World Nuclear News. – 2021. – October 5. – URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Romanian-energy-policy-will-see-nuclear-double> (дата обращения: 15.09.2021); Timmermans encourages Bulgaria to restart nuclear plant project // Euractiv Bulgaria. – 2021. – October 15. – URL: <https://www.euractiv.com/section/energy/news/timmermans-encourages-bulgaria-to-restart-nuclear-plant-project/> (дата обращения: 20.10.2021).

к 2050 г. [International Energy Agency, 2021a]. Целесообразность ставки на атомную энергетику усиливается по мере того, как растет цена на эмиссию углерода. Некоторые страны, в первую очередь Польша, стремятся к тому же замедлить выход из угольной генерации [Синицын, 2021].

Внутри ЕС нет единства относительно экономической целесообразности развития атомной энергетики. Для дальнейшего ее развития сторонникам атомной энергетики необходимо добиться ее включения в таксономию ЕС, что даст этой подотрасли энергетики статус природоустойчивой актив-

ности, не наносящей ущерба окружающей среде, что в свою очередь позволит проектам в атомной отрасли привлекать инвестиции и кредиты под приемлемые проценты. Лоббистами такого решения выступают Франция, Финляндия, Чехия, Польша, Венгрия, Словакия, Болгария, Румыния и Хорватия. Эта группа подчеркивает углеродную нейтральность атомной энергетики, развитие которой может стать важным вкладом в решение задачи декарбонизации [The World Nuclear..., 2021; The New Nuclear Watch Institute, 2020]. Германия, поддержанная Австрией, Данией и Люксембургом, выступает против включения атомной энергетики в список природоустойчивых видов экономической активности, указывая на нерешенность проблемы безопасности при захоронении ядерных отходов⁹.

Существенную поддержку атомная энергетика в Европе может получить в случае успеха политики Финляндии по решению проблемы ядерных отходов. В мае 2021 г. финская компания по управлению отходами *Posiva Oy*, являющаяся совместным предприятием финских атомных компаний *Fortum* и *Teollisuuden Voima Oyj*, начала работы на первом в мире проекте по глубокому геологическому захоронению отработанных ядерных отходов. Процесс захоронения был сертифицирован Службой по радиоактивной и атомной безопасности Финляндии. Технологию многослойных защитных барьеров разработала шведская компания по управлению ядерным топливом и отходами *SKB*. Отработанные топливные эле-

менты помещаются в канистру из бор-содержащей стали, а затем в газонепроницаемую и устойчивую к коррозии медную капсулу. Каждая канистра размещается в отдельном отверстии в подземных туннелях в скальной породе на глубине 400–450 метров. Канистры окружены бентонитовой глиной, которая защищает от любых возможных толчков в коренной породе и замедляет движение воды в непосредственной близости от канистры. Проект оценивается в 3,4 млрд долл. и начнет работать в 2023 г. [Conca, 2021] Финская технология¹⁰ может быть массово тиражирована в странах Евросоюза [Gil, 2020].

Проведенный анализ показал, что решающее влияние на скорость движения стран Евросоюза к заявленной цели полной декарбонизации электроэнергетики окажут экономические факторы. При сохранении и даже усилении политического курса на декарбонизацию в группе лидеров зеленой энергетики (Германия, Дания, Нидерланды, Испания, Италия, Португалия) скорость внедрения НВИЭ замедлится, возможно, временно как из-за эффекта базы, так и, главным образом, из-за растущей цены новых вероятных кризисов, имманентной причиной которых является стохастически непредсказуемый объем генерируемого энергетического потока, критически зависящего от погодных условия. Без массового развертывания промышленных систем

9 France, Czech Republic and others push for nuclear in EU's green investment rules // Reuters – 2021. – October 11. – URL: <https://www.reuters.com/business/energy/france-czech-republic-others-push-nuclear-eus-green-investment-rules-2021-10-11/>, дата обращения 11.10.2021; Germany, four others oppose classing nuclear as green in EU // Reuters. – 2021. – July 2. – URL: <https://www.reuters.com/business/energy/germany-four-others-oppose-classing-nuclear-green-eu-2021-07-02/> (дата обращения: 02.07.2021).
10 Foundation stone laid for Finnish encapsulation plant // World Nuclear News. – 2019. – September 25. – URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Foundation-stone-laid-for-Finnish-encapsulation-pl> (дата обращения: 15.09.2021).

хранения электроэнергии, что должно позволить поддерживать на должном уровне предложение электроэнергии в периоды непредсказуемых погодных провалов, эта критическая уязвимость энергосистемы, построенной на основе НВИЭ, не может быть устранена. При этом строительство промышленных аккумуляторов электроэнергии должно быть коммерчески оправданным, что обернется дополнительными экономическими издержками для энергосистемы в целом и неизбежно приведет к еще большему повышению цен на электроэнергию для конечных потребителей. Между тем начавшийся осенью 2021 г. и на момент завершения настоящей статьи еще не завершившийся энергетический кризис уже привел к осязаемому росту тарифов на электроэнергию для домохозяйств и компаний. Те страны Евросоюза, которые делают ставку не на НВИЭ, а на атомную энергетику, получили дополнительные аргументы в пользу, как минимум, ее сохранения в действующих объемах. Развитие атомной энергетики позволяет решать задачу декарбонизации, при этом не исключает внедрение НВИЭ. Экономика сопряжения НВИЭ с атомной энергетикой значительно отличается от модели «НВИЭ – природный газ». В качестве осторожного тезиса можно полагать, что в энергосистеме со значительной атомной базовой генерацией ниша для новых возобновляемых источников энергии сравнительно меньше.

Мы считаем, что несовпадение повестки декарбонизации в двух группах стран ЕС в перспективе нескольких лет не сильно скажется на климатической и энергетической политике Евросою-

за. К 2023 г. страны ЕС должны представить Еврокомиссии обновленные интегрированные национальные планы по энергетике и климату. К середине 2024 г. после согласования с Еврокомиссией эти планы должны вступить в силу¹¹. Высоковероятно, что именно к этому моменту лидеры ЕС постараются унифицировать повестку декарбонизации за счет продавливания продвижения НВИЭ.

Список литературы

Кавешников Н. Стратегия ЕС в области климата и энергетики // Современная Европа. – 2015. – № 1. – С. 93–103.

Копытин И., Попадько А. Водородные стратегии крупнейших европейских энергетических компаний // Современная Европа. – 2021. – № 4. – С. 83–94. – DOI: 10.15211/soveurope420218394.

Синицын М. Конец эпохи энергетического угля // Мировая экономика и международные отношения. – 2021. – Т. 65, № 11. – С. 40–48. – DOI: 10.20542/0131-2227-2021-65-11-40-48.

Agora Energiewende. The European Power Sector in 2020. – 2020. – URL: <https://www.agora-energiewende.de/en/publications/the-european-power-sector-in-2020-data-attachment/> (дата обращения: 20.09.2021).

Agora Energiewende. Only one road leads to Rome. To reach its new climate target, Germany must phase out coal and triple renewable power by 2030. – 2021. – URL: <https://www.agora-energiewende.de/en/blog/only-one-road-leads-to-rome/> (дата обращения: 20.09.2021).

11 European Commission. Governance of the Energy Union and Climate Action. – 2021. – URL: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/progress-made-cutting-emissions/governance-energy-union-and_en (дата обращения: 25.10.2021).

Bundesnetzagentur. Bedarfsermittlung 2019–2030 Bestätigung Netzentwicklungsplan Strom. – 2019. – 389 S. – URL: https://data.netzausbau.de/2030-2019/NEP/NEP2019-2030_Bestaetigung.pdf (дата обращения: 20.09.2021).

Conca J. Finland Breaks Ground on World's First Deep Geologic Nuclear Waste Repository // Forbes. – 2021. – URL: <https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2021/05/31/finland-breaks-ground-on-its-deep-geologic-nuclear-waste-repository/?sh=6f25181d6103> (дата обращения: 15.09.2021).

DNV. Overview of Potential Locations for New Pumped Storage Plants in EU 15, Switzerland and Norway. – 2015. – 77 p. – Seventh Framework Programme. – (eStorage_D4.2, 2015).

ENTSO-E Transparency Platform. Installed Capacity per Production Type. – 2021. – URL: <https://transparency.entsoe.eu/generation/r2/installedCapacityPerProductionUnit/show> (дата обращения: 01.09.2021).

Flexible electricity generation, grid exchange and storage for the transition to a 100% renewable energy system in Europe / M. Child, C. Kemfert, D. Bogdanov, C. Breyer // Renew Energy. – 2019. – Vol. 139. – P. 80–101. – DOI: 10.1016/j.renene.2019.02.077.

Gillin K. Sweden prepares for a decade of nuclear decommissioning // NS Energy. – 2020. – February 27. – URL: <https://www.nsenergybusiness.com/news/nuclear-decommissioning-sweden/> (дата обращения: 15.09.2021).

Gross A. France bets on more nuclear power in face of Europe's energy crisis // Financial Times. – 2021. – URL: <https://www.ft.com/content/d06500e2-7fd2-4753-a54b-bc16f1faadd8> (дата обращения: 15.10.2021).

Impact of CO₂ prices on the design of a highly decarbonised coupled electricity and heating system in Europe / K. Zhu,

M. Victoria, T. Brown, G. Andersen, M. Greiner // Applied Energy. – 2019. – Vol. 236. – P. 622–634. – DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.12.016.

International Energy Agency. Spain 2021 Energy Policy Review. Country report. – 2021a. – 214 p. – URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/2f405ae0-4617-4e16-884c-7956d1945f64/Spain2021.pdf> (дата обращения: 15.10.2021).

International Energy Agency. World Energy Outlook 2021. – 2021b. – 384 p. – URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4ed140c1-c3f3-4fd9-acae-789a4e14a23c/WorldEnergyOutlook2021.pdf> (дата обращения: 15.10.2021).

Ministry of Climate and Environment. Energy Policy of Poland until 2040. – Warsaw, 2021. – URL: <https://www.gov.pl/attachment/ce9897de-bfab-4590-b43c-405a931e7896> (дата обращения: 15.09.2021).

Overview: National coal phase-out // Europe Beyond Coal. – 2021. – URL: <http://beyond-coal.eu> (дата обращения: 15.09.2021).

Pietzcker R.C., Osorio S., Rodrigues R. Tightening EU ETS targets in line with the European Green Deal: Impacts on the decarbonization of the EU power sector // Applied Energy. – 2021. – Vol. 293. – DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.116914.

Schmid E., Knopf B. Quantifying the long-term economic benefits of European electricity system integration // Energy Policy. – 2015. – December. – Vol. 87. – P. 260–269. – DOI: 10.1016/j.enpol.2015.09.026.

Stromgestehungskosten erneuerbare energien / Ch. Kost, Sh. Shammugam, V. Jülch, H. Nguyen-T., Schlegl Th. – Freiburg: Fraunhofer ISE, 2018. – 41 S. – URL: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2018_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf (дата обращения: 11.10.2021).

The New Nuclear Watch Institute. On the Role of Nuclear Power in the Development of a European Hydrogen Economy. – 2020. – 28 p. – URL: https://e2418dea-885f-4b73-9d8e-51a90019407d.filesusr.com/ugd/2bb616_4b0047791cd84c8a84e-632fa6d0b72bd.pdf (дата обращения: 20.10.2021).

The World Nuclear Industry Status Report 2021. – Paris : A Mycle Schneider Consulting Project, 2021. – 409 p. – URL: <https://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/wnisr2021-hr.pdf> (дата обращения: 20.10.2021).

Traber T., Hegner F. S., Fell H.-J. An Economically Viable 100% Renewable Energy System for All Energy Sectors of Germany in 2030 // *Energies*. – 2021. – № 14. – P. 5230. – DOI: 10.3390/en14175230.

Trkanjec Z. Slovenian-Croatian commission pleased with operation of Krško nuclear power plant // *Euractiv Croatia*. – 2021. – URL: https://www.euractiv.com/section/politics/short_news/slovenian-croatian-commission-pleased-with-operation-of-krsko-nuclear-power-plant/ (дата обращения: 25.10.2021).

Winter S., Schlesewsky L. The German feed-in tariff revisited – an empirical investigation on its distributional effects // *Energy Policy*. – 2019. – September – Vol. 132. – P. 344–356. – DOI: 10.1016/j.enpol.2019.05.043.

Zappa W., Junginger M., van den Broek M. Is a 100% renewable European power system feasible by 2050? // *Applied Energy*. – 2019. – Vol. 233–234. – P. 1027–1050. – DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.08.109.

DOI: 10.23932/2542-0240-2022-15-1-10

The Limits of New Renewable Energy Sources Integration in Electricity Sector in the EU Countries: Economic Aspects

Stanislav V. ZHUKOV

DSc in Economics, Deputy Director for Science
Primakov National Research Institute of World Economy and International Relations
of the Russian Academy of Sciences, 117997, Profsoyuznaya St., 23,
Moscow, Russian Federation
E-mail: zhukov@imemo.ru
ORCID: 0000-0003-2021-2716

Ivan A. KOPYTIN

PhD in Economics, Head of Center for Energy Research
Primakov National Research Institute of World Economy and International Relations
of the Russian Academy of Sciences, 117997, Profsoyuznaya St., 23,
Moscow, Russian Federation
E-mail: kopytin@imemo.ru
ORCID: 0000-0002-7824-2670

Artem M. POPADKO

Junior Research Fellow, Center for Energy Research
Primakov National Research Institute of World Economy and International Relations
of the Russian Academy of Sciences, 117997, Profsoyuznaya St., 23,
Moscow, Russian Federation
E-mail: apopadko@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3619-6538

CITATION: Zhukov S.V., Kopytin I.A., Popadko A.M. (2022). The Limits of New Renewable Energy Sources Integration in Electricity Sector in the EU Countries: Economic Aspects. *Outlines of Global Transformations: Politics, Economics, Law*, vol. 15, no. 1, pp. 203–223 (in Russian). DOI: 10.23932/2542-0240-2022-15-1-10

Received: 07.11.2021.

Revised: 25.12.2021.

ABSTRACT. *In a large number of published works possibilities and limits of building an electricity power industry based on new renewable energy sources (NRESs) in the European countries have been analyzed in detail. As a rule, these works focus on technological aspects of building a principally new energy system, which pave*

the green road for NRESs penetration. The present article concentrates on economic factors and constrains in transition towards fully decarbonized electricity. Our input in the literature is the following. Firstly, we show that intensive restructuring of electricity sector in the EU is unfolding against the background of stagnation

and even slight decline of demand for electricity. Sluggish dynamics of the European economy for the two last decades, additionally accentuated by the exogenous shock of global coronavirus infection, put in question possibility of substantial growth of demand or electricity in the medium- and long-term perspective. Secondly, the price of transition is rising electricity tariffs for households and companies from the real sector. Econometric calculations prove that electricity price is directly proportional to the share of NRESs in the total electricity generation and to the level of tax on carbon emissions. Thirdly, two groups of countries have crystallized in the EU that aim at realization of two different strategies of electricity decarbonization. While countries with high per capita GDP and long market history mostly place a bet on NRESs promotion, countries of comparatively low level of development and limited capacities for economic maneuver try to decarbonize electricity by promoting nuclear energy and it objectively bounds NRESs penetration.

KEYWORDS: economy, electricity, new renewable energy sources, nuclear energy, systems of electricity storage, the European Union, decarbonization, pooled regression.

References

- Agora Energiewende (2020). *The European Power Sector in 2020*. Available at: <https://www.agora-energiewende.de/en/publications/the-european-power-sector-in-2020-data-attachment/>, accessed 20.09.2021.
- Agora Energiewende (2021). *Only one road leads to Rome. To reach its new climate target, Germany must phase out coal and triple renewable power by 2030*. Available at: <https://www.agora-energiewende.de/en/blog/only-one-road-leads-to-rome/>, accessed 20.09.2021.
- Bundesnetzagentur (2019). *Bedarfsermittlung 2019–2030 Bestätigung Netzentwicklungsplan Strom*, 389 S. Available at: https://data.netzausbau.de/2030-2019/NEP/NEP2019-2030_Bestaetigung.pdf, accessed: 20.09.2021.
- Conca J. (2021). Finland Breaks Ground On World's First Deep Geologic Nuclear Waste Repository. *Forbes*, May 5. Available at: <https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2021/05/31/finland-breaks-ground-on-its-deep-geologic-nuclear-waste-repository/?sh=6f25181d6103>, accessed 15.09.2021.
- DNV (2015). *Overview of Potential Locations for New Pumped Storage Plants in EU 15, Switzerland and Norway*, 77 pp. Seventh Framework Programme, eStorage_D4.2, 2015.
- ENTSO-E Transparency Platform (2021). *Installed Capacity per Production Type*. Available at: <https://transparency.entsoe.eu/generation/r2/installedCapacityPerProductionUnit/show>, accessed 01.09.2021.
- Europe Beyond Coal (2021) *Overview: National coal phase-out*. Available at: <http://beyond-coal.eu>, accessed 15.09.2021.
- Flexible electricity generation, grid exchange and storage for the transition to a 100% renewable energy system in Europe (2019). *Renew Energy*, vol. 139, pp. 80–101. DOI: 10.1016/j.renene.2019.02.077.
- Gillin K. (2020). *Sweden prepares for a decade of nuclear decommissioning*, NS Energy. Available at: <https://www.nsenenergybusiness.com/news/nuclear-decommissioning-sweden/>, accessed 15.09.2021.
- Gross A. (2021). France bets on more nuclear power in face of Europe's energy crisis. *Financial Times*. Available at: <https://www.ft.com/content/d06500e2-7fd2-4753-a54b-bc16f1faadd8>, accessed 15.10.2021.
- Impact of CO2 prices on the design of a highly decarbonised coupled electricity

and heating system in Europe (2019). *Applied Energy*, vol. 236, pp. 622–634. DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.12.016.

International Energy Agency (2021a). *Spain 2021 Energy Policy Review. Country report*, 214 pp. Available at: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/2f405ae0-4617-4e16-884c-7956d1945f64/Spain2021.pdf>, accessed 15.10.2021.

International Energy Agency (2021b). *World Energy Outlook 2021*, 384 pp. Available at: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4ed140c1-c3f3-4fd9-acae-789a4e14a23c/WorldEnergyOutlook2021.pdf>, accessed 15.10.2021.

Kaveshnikov N. (2015). EU Climate and Energy Strategy. *Sovremennaja Evropa*, no. 1, pp. 93–103 (in Russian).

Kopytin I., Popadko A. (2021). Hydrogen strategies of the largest European energy companies. *Sovremennaja Evropa*, no. 4, pp. 83–94 (in Russian). DOI: 10.15211/soveurope420218394.

Ministry of Climate and Environment (2021). *Energy Policy of Poland until 2040*, Warsaw: MCE. Available at: <https://www.gov.pl/attachment/ce9897de-bfab-4590-b43c-405a931e7896>, accessed 15.09.2021.

Pietzcker R.C., Osorio S., Rodrigues R. (2021). Tightening EU ETS targets in line with the European Green Deal: Impacts on the decarbonization of the EU power sector. *Applied Energy*, vol. 293. DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.116914.

Schmid E., Knopf B. (2015). Quantifying the long-term economic benefits of European electricity system integration. *Energy Policy*, vol. 87, December, pp. 260–269. DOI: 10.1016/j.enpol.2015.09.026.

Sinitsyn M. (2021). The end of the era of thermal coal. *World Economy and International Relations*, vol. 65, no. 11, pp. 40–48. DOI: 10.20542/0131-2227-2021-65-11-40-48.

Stromgestehungskosten erneuerbare energien (2018). Kost Ch. et. al. Freiburg: Fraunhofer ISE, 2018, 41 S. Available at: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2018_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf, accessed 11.10.2021.

The New Nuclear Watch Institute (2020). *On the Role of Nuclear Power in the Development of a European Hydrogen Economy*. 28 pp. Available at: https://e2418dea-885f-4b73-9d8e-51a90019407d.filesusr.com/ugd/2bb616_4b0047791cd84c8a84e632fa6d0b72bd.pdf, accessed 20.10.2021.

The World Nuclear Industry Status Report 2021 (2021). Paris: A Mycle Schneider Consulting Project, 409 pp. Available at: <https://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/wnisr2021-hr.pdf>, accessed 20.10.2021.

Traber T., Hegner F. S., Fell H.-J. (2021). An Economically Viable 100% Renewable Energy System for All Energy Sectors of Germany in 2030. *Energies* 2021, no. 14, pp. 5230. DOI: 10.3390/en14175230.

Trkanjec Z. (2021). *Slovenian-Croatian commission pleased with operation of Krško nuclear power plant*. Available at: <https://www.euractiv.com/section/politics/short-news/slovenian-croatian-commission-pleased-with-operation-of-krsko-nuclear-power-plant/>, accessed 25.10.2021.

Winter S., Schlesewsky L. (2019). The German feed-in tariff revisited – an empirical investigation on its distributional effects. *Energy Policy*, vol. 132, September 2019, pp. 344–356. DOI: 10.1016/j.enpol.2019.05.043.

Zappa W., Junginger M., van den Broek M. (2019). Is a 100% renewable European power system feasible by 2050? *Applied Energy*, vol. 233–234, pp. 1027–1050. DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.08.109.