

DOI: 10.31249/kgt/2022.02.02

Долговременные сценарии развития мировой электроэнергетики: основные тенденции и неопределенности

Оксана Бениаминовна РЕЗНИКОВА

кандидат исторических наук, старший научный сотрудник 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: rezxana@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-9742-5026

Михаил Владимирович СИНИЦЫН

научный сотрудник 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: sinitsyn@imemo.ru

ORCID: 0000-0001-5630-0799

Ирине Зурабовна ГАХОКИДЗЕ

младший научный сотрудник 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: irinagakh@imemo.ru

ORCID: 0000-0001-5901-5993

ЦИТИРОВАНИЕ: Резникова О.Б., Синицын М.В., Гахокидзе И.З. (2022).

Долговременные сценарии развития мировой электроэнергетики: основные тенденции и неопределенности // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. Т. 15. № 2. С. 33–48.

DOI: 10.31249/kgt/2022.02.02

Статья поступила в редакцию 15.11.2021.

Исправленный текст представлен 01.02.2022.

АННОТАЦИЯ. Анализ сценариев развития мировой электроэнергетики в долгосрочной перспективе в общем контексте глобального экономического развития позволил ав-

торам заключить, что перспективная динамика развития электроэнергетики в главных центрах мирового производства и потребления определяется сложным комплексом разнород-

ных факторов, из которых решающее значение имеют: во-первых, наделенность первичными энергоресурсами; во-вторых, уровень и тип экономического развития; в-третьих, возможности государства мобилизовать финансовые и инвестиционные ресурсы для развития новых возобновляемых источников энергии; в-четвертых, стратегии национального экономического и энергетического развития. В зависимости от этих факторов в обозримой перспективе страны останутся на очень разных стадиях энергетического перехода. Универсальной модели энергетического перехода не существует.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергетический переход, электроэнергетика, развитые страны, развивающиеся страны, США, Евросоюз, Китай, Индия, НВИЭ, цена энергетического перехода, декарбонизация, налог на эмиссию углерода.

Важнейшим долгосрочным трендом современного мирового развития является энергетический переход – снижение критической зависимости энергетики от ископаемых топлив и ее диверсификация за счет опережающего развития новых возобновляемых источников энергии [Smil, 2017; Smil, 2016; Smil, 2005]. В центре энергетического перехода находится электроэнергетика. При этом крупнейшие экономики мира находятся на разных стадиях трансформации электроэнергетики и выбирают отраслевые приоритеты перестройки этого сектора в зависимости от своих экономических возможностей и интересов. В силу этих и сопутствующих факторов скорость энергетического перехода и формирующаяся структура электроэнергетики будут сильно различаться в разрезе стран и регионов.

Мир: динамика и структура генерации электроэнергии в 1971–2020 гг.

За последние 50 лет мировая генерация электроэнергии увеличилась в 5 раз (см. табл. 1). Экзогенный шок глобальной коронавирусной инфекции затормозил неуклонный рост потребления электроэнергии, но только временно. Динамика производства электроэнергии в разрезе групп стран разного уровня и типа развития была неравномерной. Если опираться на исторические тенденции, развитые страны прошли или близки к тому, чтобы пройти пик спроса на электроэнергию. В 2011 г. на страны ОЭСР впервые пришлось менее половины мировой генерации, и этот показатель продолжает снижаться в среднем на 1 процентный пункт в год. В 2018 г. страны-экспортеры промышленных изделий по объему генерации обогнали страны ОЭСР. Тенденция опережающего роста производства электроэнергии (и спроса на нее) в быстро растущих развивающихся странах органично вписывается в корпус теоретических представлений о закономерностях современного экономического роста.

В экономической литературе давно выделено несколько основных каналов, по которым потребление энергии, в том числе электроэнергии, связано с динамикой экономического роста. В рамках неоклассического подхода Д. Джоргенсон, опираясь на эконометрический анализ расширенной производственной функции, показал, что совокупная производительность тесно связана с электрификацией производства и особенно расширением использования энергии в целом [Jorgenson, 1984]. Экономисты, работающие в русле структуралистской традиции, показали, что потребление

Таблица 1. Динамика генерации электроэнергии в 1990–2020 гг. в разрезе групп стран, ТВт·ч***Table 1.** Electricity generation in 1990–2020 by country groups, TWh

	1990	2000	2010	2015	2018	2019	2020**
Страны ОЭСР	7,7	9,8	10,9	10,5	10,8	10,7	10,3
США	3,2	4,0	4,2	4,1	4,1	4,4	4,2
ЕС-27 + Великобритания	2,6	3,0	3,3	3,2	3,2	3,2	3,1
Япония	0,9	1,1	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0
ЭПИ***	1,5	3,1	7,1	9,4	10,8	11,2	11,4
Китай	0,6	1,4	4,2	5,8	7,1	7,5	7,8
Индия	0,3	0,6	1,0	1,4	1,4	1,6	1,6
Прочие страны	2,7	2,6	3,5	4,0	4,2	4,2	4,2

* – показатели за 2019–2020 гг. не строго сопоставимы с предыдущими;

** – оценки;

*** – здесь и далее в группу стран-экспортеров промышленных изделий включены Бангладеш, Китай, Гонконг, Индия, Южная Корея, Малайзия, Мексика, Марокко, Пакистан, Филиппины, Сингапур, Тайвань, Таиланд, Турция, Вьетнам.

Источники: [IEA World Energy Balances, 2019; OECD Electricity generation, 2021; Global Electricity Review Dataset, n/y] и расчеты авторов.

энергии прямо и положительно влияет на производительность живого труда [Taylor, 2008; von Arnim, Rada, 2011]. Н. Розенберг [Rosenberg, 1998], суммируя выводы большого числа экономистов, сделал вывод о неразрывной связи индустриализации в развитых странах, в первую очередь развития обрабатывающей промышленности, с потреблением электроэнергии. При этом согласно одному из законов Н. Калдора, чем выше темпы роста обрабатывающей промышленности, тем выше темпы роста ВВП [Kaldor, 1967].

Динамичный рост спроса на электроэнергию сопровождался интенсивной перестройкой ее генерации в разрезе первичных энергоисточников. Хотя и сейчас почти две трети выработки электроэнергии приходится на ископаемые виды топлива, их совокупная доля в генерации снизилась с 74% в 1971 г. до 61% в 2020 г. (см. табл. 2). При этом нефть и нефтепродукты все меньше используются для производства электроэнергии. Вклад природного газа в мировую электрогенерацию достиг 23%, а доля угля медлен-

но снижается и в предковидный год составила 37%. Исторический пик вклада атомной электроэнергетики был зарегистрирован в 1996 г., с середины прошедшего десятилетия ее доля в глобальной генерации стабилизировалась на уровне 10%. Вклад гидроэнергетики в мировую электрогенерацию с 1990 г. стабилизировался в коридоре 16–18%. Самым динамичным сектором в мировой электроэнергетике являются новые возобновляемые источники энергии (НВИЭ), доля которых в совокупной генерации начала быстро возрастать на рубеже тысячелетий и в настоящее время достигла 12%.

Анализ структуры электрогенерации в разрезе первичных энергоисточников показывает, что ведущие экономические центры современного мира находятся на различных стадиях перехода к зеленой энергетике. В США, богато наделенных практически всеми первичными источниками энергии, главными тенденциями перестройки генерации в последние два десятилетия стали возрастание доли природного газа на фоне ускоряющейся деуглизации, а также медлен-

Таблица 2. Мир: структура генерации электроэнергии по видам энергоресурсов в 1971–2020 гг., %*

Table 2. World: energy mix in electricity generation in 1971–2020, %

	1971	1980	1990	2000	2010	2018	2019	2020
Уголь	40	38	37	39	40	38	37	34
Нефть	21	20	11	8	5	3	3	4
Природный газ	13	12	15	18	22	23	23	23
Атомная энергия	2	9	17	17	13	10	10	10
Гидроэнергия	23	21	18	17	16	16	16	17
НВИЭ	1	1	2	2	4	10	11	12
Электрогенерация, млрд МВт·ч	5,3	8,3	11,8	15,4	21,5	26,6	27,0	26,8

* – показатели за 2019–2020 гг. не строго сопоставимы с предыдущими.

Источники: [IEA World Energy Balances, 2019; Global Electricity Review Dataset, n/y], а также IEA Global electricity generation mix, 2010–2020. – IEA, 2021. – URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-electricity-generation-mix-2010-2020> (дата обращения: 01.02.2022) и расчеты авторов.

ное возрастание вклада НВИЭ, главным образом ветровой и солнечной энергии (см. рис. 1). В странах Евросоюза и Великобритании – мировых лидерах перехода к зеленой энергетике – главной тенденцией стало увеличение вклада НВИЭ, на долю которых в 2020 г. пришлось 27% всей произведенной электроэнергии. Усиление позиций НВИЭ наблюдается на фоне ускорившейся деуглизации электроэнергетики и снижения вклада атомной энергетики.

Крупнейшие развивающиеся страны – экспортеры промышленных изделий находятся в иной энергетической эпохе. Китай только приступил к деуглизации электроэнергетики, а в Индии вклад угля в общую генерацию пока даже не демонстрирует устойчивой тенденции к снижению (см. рис. 2).

Долговременные сценарные прогнозы динамики электроэнергетики: скрытые неопределенности

Долгосрочные сценарии электрогенерации ведущих энергетических агентств и крупнейших мировых энергетических компаний отличаются высокой неопределенностью. В одиннадцати авторитетных сценарных прогнозах мировой спрос на электроэнергию в 2030 г. оценивается в пределах 29–37 ТВт·ч, причем, если исключить самый консервативный прогноз *ExxonMobil* (2019), то ожидаемый разброс спроса сужается до 34–37 ТВт·ч (см. табл. 3). Однако уже для 2040 г. этот разброс расширится до 35–58 ТВт·ч.

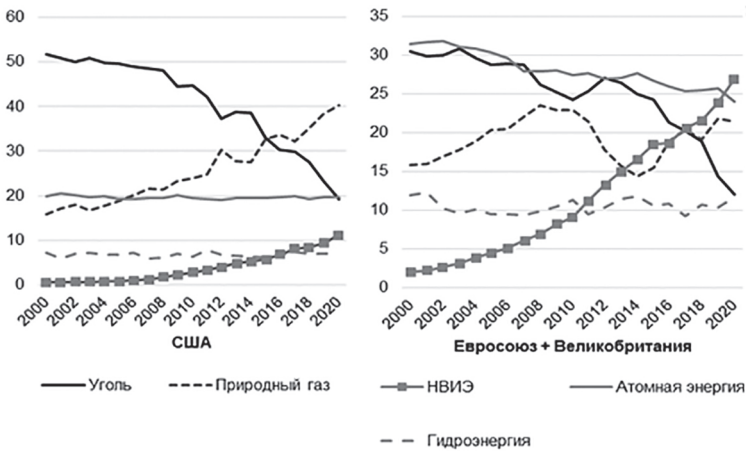


Рисунок 1. США, Евросоюз и Великобритания: структура электрогенерации в разрезе первичных источников энергии, %

Figure 1. US, EU and United Kingdom: structure of electricity generation by primary energy sources, %

Источник: [IEA World Energy Balances, 2019; IEA World Energy Outlook, 2021], а также EIA Monthly Energy Review U.S. – U.S. Energy Information Administration, 2021. – URL: <https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly> (дата обращения: 01.02.2022) и расчеты авторов.

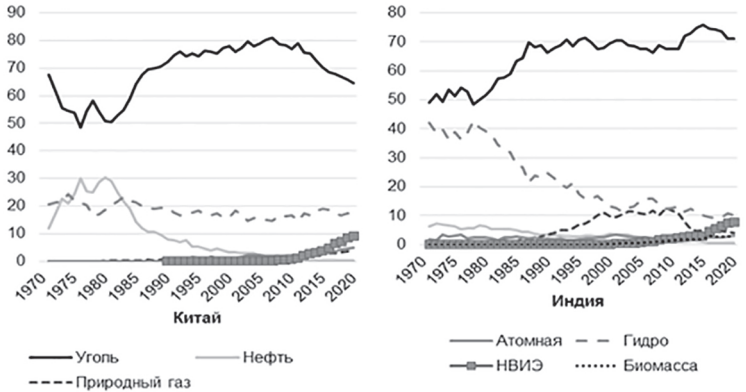


Рисунок 2. Индия и Китай: структура электрогенерации в разрезе первичных источников энергии, %

Figure 1. India and China: structure of electricity generation by primary energy sources, %

Источники: [IEA World Energy Balances, 2019; IEA World Energy Outlook, 2021] и расчеты авторов.

Таблица 3. Мир: сценарные прогнозы генерации электроэнергии, ТВт·ч
Table 3. World: electricity generation forecasts, TWh

Сценарии	2020, факт	Прогноз	
		2030	2040
IEA Sustainable Development Scenario (2021)	27	34	58
IEA Stated Policies Scenario (2021)	27	34	47
ExxonMobil (2019)	27	29	35
BP Business-as-usual scenario (2020)	27	34	42
BP Rapid scenario (2020)	27	35	44
BP Net Zero scenario (2020)	27	36	48
IIASA Current Policies (2021)	27	36	42
IIASA Below 2°C(2021)	27	35	45
IIASA Net Zero 2050 (2021)	27	34	49
Total Momentum (2021)	27	35	47
Total Rupture (2021)	27	37	54

Источники: [IEA World Energy Outlook, 2021; Total Energy Outlook, 2021], а также BP Energy Outlook. – BP, 2020. – URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/news-and-insights/press-releases/bp-energy-outlook-2020.html> (дата обращения: 01.02.2022); NGFS Scenario Explorer: REMIND-MAGPIE 2.1–4.2 IntegratedPhysicalDamages (95th). – IIASA, 2021. – URL: <https://data.ene.iiasa.ac.at/ngfs/#/workspaces> (дата обращения: 01.02.2022); ExxonMobil Outlook for Energy: A perspective to 2040. – ExxonMobil, 2019. – URL: <https://corporate.exxonmobil.com/Energy-and-innovation/outlook-for-energy/Outlook-for-Energy-A-perspective-to-2040> (дата обращения: 01.02.2022).

Не вдаваясь в детальный анализ различий в методологии, отметим несколько принципиальных моментов. Во-первых, во всех прогнозах, за исключением сценариев Международного института прикладного системного анализа (IIASA), обратные взаимосвязи между энергопотреблением и экономикой не рассматриваются.

Во-вторых, практически все сценарии исходят из существенного ускорения спроса на электроэнергию в текущем

десятилетии в развитых странах по сравнению с 2011–2020 гг. Международное энергетическое агентство (МЭА) ожидает в 2021–2030 гг. очень значительного ускорения роста спроса на электроэнергию в странах Евросоюза (12% мировой электрогенерации в 2020 г.) после десятилетия стагнации этого спроса в 2011–2020 гг. (см. табл. 4). Заметно, особенно в сценариях «Обещанные политики» и «Устойчивое развитие», что должен возрасти спрос на электроэнергию и в США.

Таблица 4. Среднегодовые темпы роста генерации электроэнергии, %
Table 4. Electricity generation average annual growth rates, %

	Факт		Сценарий		
			Текущие политики	Обещанные политики	Устойчивое развитие
	2001–2010	2011–2020	2021–2030	2021–2030	2021–2030
Мир	3,4	2,3*	2,3	2,5	2,5
США	0,5	0,5*	0,6	1,4	1,4
ЕС-27	1,2	0,0*	1,3	2,2	2,2
Китай	11,6	6,4	2,8	2,7	2,8
Индия	5,2	4,8	4,7	4,7	4,9

* – для элиминирования негативного экзогенного шока коронавирусной инфекции расчеты выполнены за 2011–2019 гг.

Источники: [IEA World Energy Balances, 2019; IEA World Energy Outlook, 2021; Global Electricity Review Dataset, n/y] и расчеты авторов.

И в случае США, и особенно Евросоюза существенное ускорение роста спроса на электроэнергию ожидается на фоне вялого трендового экономического роста. Ожидаемое ускорение роста спроса на электроэнергию является статистическим отражением ускоренного перехода на прямое потребление электроэнергии, вырабатываемых «чистыми», «зелеными» первичными энергоисточниками. Однако вопросы долгосрочной устойчивости, ограничений и рисков новой экономической модели, в которую имплицитно заложена иная, чем прежде, форма взаимозависимости между экономикой и энергетикой, в предлагаемых сценариях практически не рассматриваются, а потому остаются открытыми.

**Прогнозы структуры
электрогенерации в разрезе
первичных энергоисточников**

Сценарные прогнозы структуры генерации электрогенерации в разрезе первичных источников энергии еще бо-

лее неопределенны. Анализ самых авторитетных прогнозов позволяет констатировать, что в настоящее время ни государственные регуляторы, ни международные энергетические агентства, ни крупнейшие энергетические компании не обладают целостным и непротиворечивым видением будущей динамики и структуры мировой электроэнергетики даже на горизонте 10 лет.

Особенно заметно неопределенность проявляется при оценках ожидаемого вклада в совокупную генерацию НВИЭ, угля и природного газа (см. табл. 5). Даже в базовых сценариях расхождения в оценках доли НВИЭ в 2030 г. достигают 21 п.п. для Индии, 20 п.п. – для США, 14 п.п. – для Евросоюза и Китая. Расхождения в оценках на 2040 г., особенно для США и Индии, становятся еще значительнее. Кардинальные расхождения по доле НВИЭ предопределяют высокую степень вариативности оценок по вкладам в совокупную генерацию угля и природного газа.

Таблица 5. Базовые сценарные прогнозы диапазонов долей НВИЭ, угля и природного газа в совокупной электрогенерации, %

Table 5. Base scenario forecasts of the ranges of new renewables, coal and natural gas in total electricity generation, %

	2020, факт	2025	2030	2040
НВИЭ				
Китай	9	12–22	13–27	16–34
США	11	15–22	11–31	15–48
Евросоюз	27	29–39	37–51	47–68
Индия	8	15–31	24–45	16–54
Уголь				
Китай	65	50–58	42–52	36–52
США	20	15–25	11–20	6–19
Евросоюз	12	8–13	4–10	1–5
Индия	71	48–64	35–55	31–62
Природный газ				
Китай	4	5–8	5–11	6–12
США	40	36–44	35–45	34–45
Евросоюз	21	19–21	17–20	14–16
Индия	4	4–6	3–6	1–9

Источники: IPEA World Energy Outlook, 2021; Total Energy Outlook, 2021; IEEJ Outlook 2020, 2019], а также BP Energy Outlook. – BP, 2020. – URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/news-and-insights/press-releases/bp-energy-outlook-2020.html> (дата обращения: 01.02.2022); NGFS Scenario Explorer; REMIND-MAGPIE 2.1-4.2 IntegratedPhysicalDamages (95th). – IIASA, 2021. – URL: <https://data.ene.iiasa.ac.at/ngfs/#/workspaces> (дата обращения: 01.02.2022) и расчеты авторов.

Мы считаем, что повысить определенность в оценке перспектив развития мировой электроэнергетики до 2030 г. можно за счет: во-первых, более полного учета при анализе интересов и возможностей стран – крупнейших потребителей и производителей электроэнергии; во-вторых, реалистичной оценки цены перехода к зеленой энергетике; в-третьих, оценки эффектов от введения глобальной платы за выбросы парниковых газов. Все эти факторы в конечном счете упираются в экологию.

Наделенность первичными энергоресурсами и императивы экономического роста

Среди крупнейших мировых экономик только США обладают богатыми запасами углеводородов (угля, нефти и природного газа), достаточными для удовлетворения потребностей национальной экономики в энергии на протяжении многих десятков лет. Страны Евросоюза и Великобритания, Индия и Китай находятся в критической зависимости от импорта нефти и природного газа, причем эта зависимость быстро усиливается.

Наличие огромных запасов газа и тенденции перестройки отраслевой структуры электрогенерации за последние два десятилетия (см. рис. 1 выше) позволяют уверенно утверждать, что США продолжают массово использовать природный газ в качестве топлива для производства электроэнергии. С учетом более рыночного в сравнении с Евросоюзом подхода США к продвижению ветровой и солнечной энергетиче-

ки доля газа в генерации электроэнергии, скорее всего, даже немного возрастет. В американской электроэнергетике ожидается острая конкуренция между газом и НВИЭ за ту нишу в генерации, которая высвобождается из-за прогрессирующей деуглизации последней.

Иная ситуация сложилась в электроэнергетике Евросоюза и Великобритании. Быстрое снижение собственной добычи природного газа и неоднократно подтвержденный политический выбор в пользу форсированного развития солнечной и ветровой энергетике ведут к быстрому повышению доли НВИЭ в совокупной электрогенерации. В рамках политико-экономической матрицы импортируемый природный газ не может полноценно участвовать в конкуренции за ниши в генерации, высвобождающиеся в результате последовательной деуглизации и денуклеаризации электроэнергетики. Другое дело, что вклад НВИЭ в совокупную генерацию электроэнергии в странах Евросоюза и Великобритании уже достиг 27%. Дальнейшее повышение этой доли должно быть подкреплено надежной генерацией, которую в условиях деуглизации и денуклеаризации может обеспечить только природный газ.

При этом значительное число стран – членов ЕС, во-первых, сопротивляются попыткам навязать им ускоренную деуглизацию; во-вторых, планируют реализовать стратегию декарбонизации через развитие не НВИЭ, а расширение атомной энергетики [Жуков, Копытин, Попадько, 2022]. В самом конце 2021 г. Еврокомиссия рекомендовала на определенных условиях включить газовую и атомную генерацию в зеленую таксономию¹. Эти рекомен-

1 UPDATE 3-EU drafts plan to label gas and nuclear investments as green // Reuters. – 2022. – January 1. – URL: <https://www.reuters.com/article/eu-regulations-finance-idAFL1N2TH051> (дата обращения: 01.02.2022).

дации встретили сопротивление ряда ведущих членов ЕС и влиятельного «зеленого лобби». Предсказать результаты политической борьбы за продвижение той или иной отрасли электроэнергетики крайне трудно, но при любом развитии событий природный газ как минимум до 2030 г. сохранит свои относительные позиции в структуре электрогенерации.

Находящиеся на высоком уровне социально-экономического развития и располагающие избыточными генерирующими мощностями США и европейские страны могут позволить себе эксперименты с развитием электроэнергетики. Наиболее динамично развивающиеся страны находятся в принципиально другой ситуации. Национальные экономические стратегии развивающихся стран – экспортеров промышленных изделий исходят из абсолютного приоритета поддержания высоких темпов экономического роста и удовлетворения быстро растущего спроса на электроэнергию со стороны промышленности и населения.

Перспективная динамика и перестройка отраслевой структуры мировой электроэнергетики решающим образом зависят от развития ситуации в Китае и Индии, на которые приходится соответственно 29 и 6% мировой электрогенерации. Общим для двух этих очень разных гигантов современного мира является не только предельно прагматичный подход к энергетическому сектору, но и критическая и продолжающаяся усиливаться зависимость

от импорта нефти и природного газа. При этом обе страны достаточно богато наделены запасами угля, хотя и не самого высокого качества. К тому же Китай обладает одними из самых передовых в мире технологий сжигания угля и улавливания вредных выбросов его сжигания в атмосферу [Синицын, 2021]. Госсовет Китая обнародовал стратегию развития энергетики до 2030 г. в конце октября 2021 г. Правительство КНР считает, что к 2020 г. страна перевыполнила взятые на себя обязательства по снижению выбросов углерода в расчете на единицу ВВП². Китай начнет снижать потребление угля и вывод из эксплуатации угольной генерации, но только после 2030 г.³ Продолжит опираться на сравнительно дешевую угольную генерацию и Индия, тем более что использование собственного угля не создает дополнительный нагрузки на торговый и платежный баланс страны.

Устойчивость платежного баланса для поддержания макроэкономической стабильности и глобальной конкурентоспособности является абсолютным императивом для всех стран – экспортеров промышленных изделий. Как в свое время индустриализация в Великобритании и Западной Европе опиралась на уголь, так и в группе развивающихся стран – экспортеров промышленных изделий индустриализация и урбанизация в значительной мере будут поддержаны сравнительно более дешевой угольной генерацией на собственном сырье [Азиатские энергетические сценарии 2030, 2012].

2 China's policies and actions in response to climate change = 中国应对气候变化的政策与行动 // XINHUA. – 2021. – October 27. – URL: http://www.news.cn/politics/2021-10/27/c_1128001009.htm (дата обращения: 01.02.2022).

3 Action Plan for Carbon Dioxide Peaking Before 2030 // XinhuaNet. – 2021. – October 27. – URL: http://www.news.cn/english/2021-10/27/c_1310270985.htm (дата обращения: 01.02.2022); Working Guidance For Carbon Dioxide Peaking And Carbon Neutrality In Full And Faithful Implementation Of The New Development Philosophy // XinhuaNet, The Communist Party of China Central Committee and the State Council. – 2021. – October 24. – URL: http://www.news.cn/english/2021-10/24/c_1310265726.htm (дата обращения: 01.02.2022).

Экономическая цена энергетического перехода

Значительное влияние на темпы и направление отраслевой перестройки электроэнергетики окажут финансово-экономические ограничения. Вопросы цены энергетического перехода начали предметно обсуждаться в мировой научной литературе только в самое последнее время.

Оценки Института мировых ресурсов (*World Resources Institute*) показывают, что для достижения к 2050 г. нулевых глобальных выбросов ежегодные мировые расходы на энергетический переход должны достигнуть к 2030 г. 5 трлн долл. в год и оставаться на этом уровне вплоть до 2050 г. В 2020 г. такие расходы составляли только 640 млрд долл. Из 5 трлн ежегодных вложений 1,25 трлн долл. должны обеспечить государства (в 2020 г. – 300 млрд) и 3,75 трлн долл. – частные инвесторы (340 млрд) [State of Climate Action 2021..., 2021]. По оценкам *Climate Policy Initiative*, энергетический переход обойдется миру в 5,1–11,3 трлн долл. ежегодно, из которых в перестройку электроэнергетики необходимо направлять от 1,5 до 6,6 трлн долл. [Global Landscape of Climate Finance, 2021].

Нижняя граница этих новейших оценок цены перехода в электроэнергетике примерно соответствует модельным расчетам сценария *IIASA Net Zero 2050* и прогнозу *IRENA* [World Energy Transitions Outlook..., 2021], верхняя – в разы превосходит прежние оценки.

Но даже эти новые оценки, судя по всему, существенно занижают объем ресурсов, необходимых для обеспечения зеленого перехода. По расчетам *Boston Consulting Group*, только Германии для реализации климатических целей до 2030 г. необходимо найти дополнительные средства в объеме около 1 трлн долл. [Climate Paths 2.0..., 2021], то есть примерно 100 млрд долл. в год.

Значительная часть этих гипотетических расходов должна быть произведена развивающимися странами. Африканские страны оценили свои потребности в 1,3 трлн долл. в год начиная с 2025 г.⁴ Индия объявила о готовности достичь климатической нейтральности к 2070 г. при условии получения внешней помощи в объеме 1 трлн долл. до 2030 г.⁵ Очевидно, что у развивающихся стран, исключая Китай, нет возможностей мобилизовать столь масштабные ресурсы.

Не состоятельны и расчеты на получение необходимых ресурсов от развитых стран. Еще в 2009 г. развитые страны дали обещание ежегодно направлять на цели климатического развития в развивающихся странах 100 млрд долл. [Copenhagen Accord, 2009], которое не было выполнено. По расчетам ОЭСР, в среднем за 2013–2019 гг. на эти цели, включая займы и инвестиции частного сектора, направлялось всего 67 млрд долл. [Climate Finance..., 2021]. *Oxfam*, анализируя ту же статистику, показала, что в 2017–2018 гг. только пятая часть климатической помощи развивающимся странам была представлена в форме грантов, остальные

4 Africa Wants \$1.3 Trillion Annual Climate Finance as Rich Nations Miss Target // Bloomberg. – 2021. – November 4. – URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-11-04/africa-wants-climate-finance-boost-as-rich-nations-miss-target> (дата обращения: 01.02.2022).

5 India Wants \$1 Trillion Before It Raises Targets to Cut Emissions // Bloomberg. – 2021. – November 10. – URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-11-10/india-holds-back-on-climate-pledge-until-rich-nations-pay-1-trillion> (дата обращения: 01.02.2022).

ресурсы поступили в виде займов и в других непреференциальных формах [Carty, Kowalzig, Zagema, 2020].

Очевидно, что развитым странам непросто аккумулировать ресурсы для финансирования собственно энергетического перехода. Достаточные ресурсы для стимулирования такого перехода в развивающихся странах в мировой экономической системе в настоящее время отсутствуют.

Налог на выбросы парниковых газов – негативный шок для экономического роста

В научной литературе и мировом политическом дискурсе широко обсуждается вопрос о введении глобального обязательного налога на выбросы парниковых газов. Введение налога могло бы подтолкнуть энергетический переход и одновременно стать источником ресурсов для его финансирования. При этом очевидно, что углеродный налог, как и другие механизмы платы за эмиссию парниковых га-

зов, получит массовое распространение и даст ожидаемый положительный эффект только в том случае, если он не окажет сильного негативного воздействия на экономический рост.

Модельные расчеты показывают, что для достижения целей в декарбонизации в соответствии с требованиями устойчивого развития к 2030 г. не менее 51% глобальных эмиссий парниковых газов должны облагаться налогом на уровне не менее 135 долл. за тонну CO_2 -эквивалента. Между тем в 2021 г. налогом в 135 долл. за тонну выбросов облагались только 0,08% мировых эмиссий парниковых газов [State of Climate Action 2021..., 2021].

Сценарное моделирование повышения налога на эмиссию углерода к 2030 г. только до 100 долл. за тонну с целью выполнения целей Парижского соглашения по климату, как это рекомендует Комиссия высокого уровня по ценам на углерод [Report of the High-Level Commission on Carbon Prices, 2017], показывает, что самый сильный негативный шок испытает Китай, который потеряет более 7% роста ВВП (см. рис. 3).

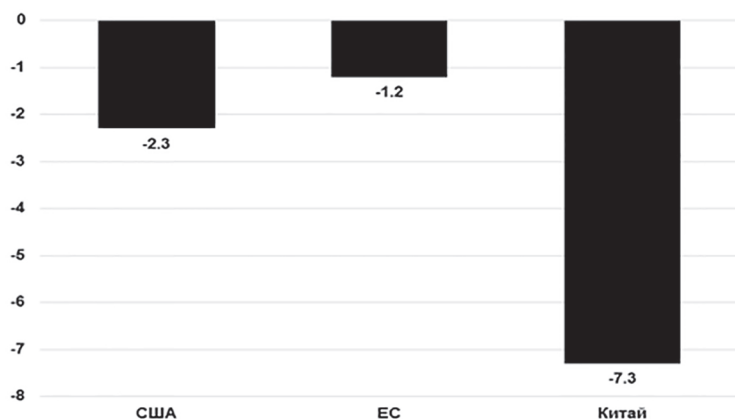


Рисунок 3. Глубина снижения ВВП к 2030 г. относительно базового сценария в случае введения налога на выбросы углерода в 100 долл. за тонну, процентные пункты

Figure 3. Depth of GDP decline by 2030 relative to the business-as-usual scenario if carbon tax of 100 dollars per ton of CO_2 is introduced

Источник: [Amiot, Bovino, 2021].

Учитывая негативное влияние на экономический рост, введение налога на выбросы парниковых газов по ставке, достаточной для стимулирования энергетического перехода, остается пока невыполнимой задачей.

Проведенный анализ экономических факторов, обуславливающих трансформацию сектора электроэнергетики, позволяет уверенно прогнозировать, что в перспективе до 2030 г. развитие этого сектора будет определяться уровнем развития, наделенностью первичными энергоресурсами и национальными стратегиями экономического развития. Ведущие мировые экономики останутся на очень разных стадиях перехода к зеленой энергетике. В развитых странах газовая генерация может даже усилить свои позиции. Динамичные развивающиеся страны сделают выбор в пользу сравнительно более дешевых видов генерации и постараются избежать негативного для экономического роста шока из-за введения налога на выбросы углерода. Высоковероятные технологические прорывы, особенно в создании конкурентоспособных промышленных систем хранения электроэнергии [Масленников, 2022] и введение значительным числом стран налога на эмиссии парниковых газов, тем более на уровне, который позволил бы достичь целей Парижского соглашения по климату, могут привести к существенной трансформации энергетических рынков и оказать решающее влияние на структуру электрогенерации в разрезе первичных энергоисточников. Вероятность таких изменений в период после 2030 г. постоянно возрастает.

Список литературы

Азиатские энергетические сценарии 2030 / ред. С.В. Жуков. – Москва : Магистр, 2012. – 336 с.

Жуков С.В., Копытин И.А., Попадько А.М. Пределы интеграции НВИЭ в электроэнергетике стран Евросоюза // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. – 2022. – Т. 15, № 1. – С. 203–223. – DOI: 10.23932/2542-0240-2022-15-1-10.

Масленников А.О. Аккумуляторные системы хранения энергии как *game changer* в перестройке мировой электроэнергетики // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. – 2022. – Т. 15, № 1. – С. 102–127. – DOI: 10.23932/2542-0240-2022-15-1-5.

Синицын М.В. 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.

Amiot M., Bovino B.A. Economic Research: Green Spending Or Carbon Taxes (Or Both): How To Reach Climate Targets, And Grow Too, By 2030? // SPglobal, 2021. – URL: <https://www.spglobal.com/ratings/en/research/articles/211104-economic-research-green-spending-or-carbon-taxes-or-both-how-to-reach-climate-targets-and-grow-too-by-2-12175385> (дата обращения: 01.02.2022).

Carty T., Kowalzig J., Zagema B. Climate Finance Shadow Report 2020. – Oxford : Oxfam International, 2020. – 31 p. – DOI: 10.21201/2020.6621.

Climate Finance Provided and Mobilised by Developed Countries: Aggregate Trends Updated with 2019 Data. – Paris : OECD Publishing, 2021. – 21 p. – DOI: 10.1787/03590fb7-en.

Climate Paths 2.0. A Program for Climate and Germany's Future Development // Boston Consulting Group, 2021. – URL: <https://www.bcg.com/de-at/climate-paths> (дата обращения: 01.02.2022).

Copenhagen Accord // UNFCCC. December 18, 2009. – URL: <https://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/107.pdf> (дата обращения: 01.02.2022).

Global Electricity Review Dataset // EMBER, n/y. – URL: <https://ember-climate.org/data/global-electricity> (дата обращения: 01.02.2022).

Global Landscape of Climate Finance // Climate Policy Initiative. December 14, 2021. – URL: <https://www.climatepolicyinitiative.org/publication/global-landscape-of-climate-finance-2021> (дата обращения: 01.02.2022).

IEA World Energy Balances // International Energy Agency. September 12, 2019. – 793 p. – DOI: 10.1787/3a876031-en. – URL: https://www.oecd-ilibrary.org/energy/world-energy-balances_25186442 (дата обращения: 01.02.2022).

IEA World Energy Outlook // International Energy Agency, 2021. – URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021/overview> (дата обращения: 01.02.2022).

IEEJ Outlook 2020 // The Institute of Energy Economics, Japan, October 15, 2019. – URL: <https://eneken.iej.or.jp/en/press/press191011.pdf> (дата обращения: 01.02.2022).

Jorgenson D.W. The Role of Energy in Productivity Growth // The Energy Journal, International Association for Energy Economics. – 1984. – Vol. 74, N 2, – P. 26–30. – URL: <https://ideas.repec.org/a/aen/journal/1984v05-03-a02.html> (дата обращения: 01.02.2022).

Kaldor N. Strategic factors in economic development. – Ithaca : New York State School of Industrial and Labor Relations, Cornell University, 1967. – 83 p. – DOI: 10.2307/2520980.

OECD Electricity generation // OECD Data, 2021. – URL: <https://data.oecd.org/energy/electricity-generation.htm> (дата обращения: 01.02.2022).

Report of the High-Level Commission on Carbon Prices // Carbon Pricing Leadership Coalition. May, 2017. – URL: <https://www.carbonpricingleadership.org/report-of-the-high-level-commission-on-carbon-prices>

(дата обращения: 01.02.2022).

Rosenberg N. The Role of Electricity in Industrial Development // The Energy Journal, International Association for Energy Economics. – 1998. – Vol. 19, № 2. – P. 7–24. – URL: <https://ideas.repec.org/a/aen/journal/1998v19-02-a02.html> (дата обращения: 01.02.2022).

Smil V. Energy and Civilization: A History. – Cambridge (Mass.) : The MIT Press, 2017. – 562 p.

Smil V. Energy at the Crossroads: Global Perspectives and Uncertainties. – Cambridge (Mass.) ; London : The MIT Press, 2005. – 444 p.

Smil V. Energy Transitions: Global and National Perspectives (Second expanded and updated edition). – S. l. : Praeger, 2016. – 297 p.

State of Climate Action 2021: Systems Transformations Required to Limit Global Warming to 1.5°C / Boehm S. [et al.]. – 2021. – Washington, DC : World Resources Institute. – 240 p. – DOI: 10.46830/wri.rpt.21.00048.

Taylor L. Energy Productivity, Labor Productivity, and Global Warming // Twenty-first Century Macroeconomics: Responding to the Climate Challenge. – 2008. – January.

Total Energy Outlook // TotalEnergies, 2021. – URL: https://totalenergies.com/system/files/documents/2021-09/2021_TotalEnergies_Energy_Outlook.pdf (дата обращения: 01.02.2022).

Von Arnim R., Rada C. Labour Productivity and Energy Use in a Three-Sector Model: An Application to Egypt // Working Paper Series, Department of Economics, University of Utah. – 2011. – Vol. 42, № 6. – P. 1323–1348. – DOI: 10.1111/j.1467-7660.2011.01741.x

World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway // IRENA, June, 2021. – URL: <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook> (дата обращения: 01.02.2022).

DOI: 10.31249/kgt/2022.02.02

Long-term Scenarios of Global Power Industry Development: Main Tendencies and Uncertainties

Oksana B. REZNIKOVA

PhD in History, Senior 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: rezxana@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-9742-5026

Mikhail V. SINITSYN

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: sinitsyn@imemo.ru
ORCID: 0000-0001-5630-0799

Irine Z. GAKHOKIDZE

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: irinagakh@imemo.ru
ORCID: 0000-0001-5901-5993

CITATION: Reznikova O.B., Sinitsyn M.V., Gakhokidze I.Z. (2022). Long-term Scenarios of Global Power Industry Development: Main Tendencies and Uncertainties. *Outlines of Global Transformations: Politics, Economics, Law*, vol. 15, no. 2, pp. 33-48 (in Russian). DOI: 10.31249/kgt/2022.02.02

Received: 15.11.2021.

Revised: 01.02.2022.

ABSTRACT. Scenario analysis of world electricity in the long-term perspective within the general context of global economic growth allowed the authors to conclude that perspective dynamics of electricity in the world leading production and consumption centers will be decisively in-

fluenced by complex and heterogeneous factors, including: first, primary energy resources endowment; second, level and type of economic development; third, countries capacities to mobilize financial and investment resources necessary for promotion of new renewable energy sources; fourth, na-

tional economic and energy strategies. Depending on these factors countries will remain at very different stages of energy transition at the foreseeable future. There is no a universal model of energy transition.

KEYWORDS: *energy transition, electricity, developed countries, developing countries, the USA, the European Union, China, India, renewables, cost of energy transition, decarbonization, carbon emission tax.*

References

Amiot M., Bovino B.A. (2021). *Economic Research: Green Spending Or Carbon Taxes (Or Both): How To Reach Climate Targets, And Grow Too, By 2030?* SPglobal. Available at: <https://www.spglobal.com/ratings/en/research/articles/211104-economic-research-green-spending-or-carbon-taxes-or-both-how-to-reach-climate-targets-and-grow-too-by-2-12175385> (accessed 01.02.2022).

Asian Energy Scenarios 2030 (2012). Zhukov S. (ed.). Moscow: Magistr, 336 p. (in Russian).

Carty T., Kowalzig J., Zagma B. (2020). *Climate Finance Shadow Report 2020*. Oxford: Oxfam International, 31 p. DOI: 10.21201/2020.6621.

Climate Finance Provided and Mobilised by Developed Countries: Aggregate Trends Updated with 2019 Data (2021). Paris: OECD Publishing, 21 p. DOI: 10.1787/03590fb7-en

Climate Paths 2.0. A Program for Climate and Germany's Future Development (2021). Boston Consulting Group. Available at: <https://www.bcg.com/de-at/climate-paths> (accessed 01.02.2022).

Copenhagen Accord (2009). UNFCCC, December 18. Available at: <https://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/l07.pdf> (accessed 01.02.2022).

Global Electricity Review Dataset (n/y). EMBER. Available at: <https://ember-climate.org/data/global-electricity> (accessed 01.02.2022).

Global Landscape of Climate Finance (2021). Climate Policy Initiative, December 14. Available at: <https://www.climatepolicyinitiative.org/publication/global-landscape-of-climate-finance-2021> (accessed 01.02.2022).

IEA World Energy Balances (2019). International Energy Agency, September 12, 793 p. DOI: 10.1787/3a876031-en. Available at: https://www.oecd-ilibrary.org/energy/world-energy-balances_25186442 (accessed 01.02.2022).

IEA World Energy Outlook (2021). International Energy Agency. Available at: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021/overview> (accessed 01.02.2022).

IEEJ Outlook 2020 (2019). The Institute of Energy Economics, Japan, October 15. Available at: <https://enen.iej.or.jp/en/press/press191011.pdf> (accessed 01.02.2022).

Jorgenson D.W. (1984). The Role of Energy in Productivity Growth. *The Energy Journal*, International Association for Energy Economics, vol. 74, no. 2, pp. 26–30. Available at: <https://ideas.repec.org/a/aen/journal/1984v05-03-a02.html> (accessed 01.02.2022).

Kaldor N. (1967). *Strategic factors in economic development*. Ithaca: New York State School of Industrial and Labor Relations, Cornell University, 83 p. DOI: 10.2307/2520980

Maslennikov A. (2022). Battery energy storage systems as a game changer in the restructuring of the global electric power industry. *Outlines of Global Transformations: Politics, Economics, Law*, vol. 15, no. 1, pp. 102–127. DOI: 10.23932/2542-0240-2022-15-1-5.

OECD Electricity generation (2021). OECD Data. Available at: <https://data.oecd.org>

oecd.org/energy/electricity-generation.htm (accessed 01.02.2022).

Report of the High-Level Commission on Carbon Prices (2017). Carbon Pricing Leadership Coalition, May. Available at: <https://www.carbonpricingleadership.org/report-of-the-highlevel-commission-on-carbon-prices> (accessed 01.02.2022).

Rosenberg N. (1998). The Role of Electricity in Industrial Development. *The Energy Journal*, International Association for Energy Economics, vol. 19, no. 2, pp. 7–24. Available at: <https://ideas.repec.org/a/aen/journl/1998v19-02-a02.html> (accessed 01.02.2022).

Sinit'syn M. (2021). End of Energy Coal Era. *Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnye otnosheniya*, vol. 65, no. 11, pp. 40–48 (in Russian). DOI: 10.20542/0131-2227-2021-65-11-40-48.

Smil V. (2005). *Energy at the Crossroads: Global Perspectives and Uncertainties*. The MIT Press, 444 pp.

Smil V. (2016). *Energy Transitions: Global and National Perspectives (Second expanded and updated edition)*. Praeger, 297 pp.

Smil V. (2017). *Energy and Civilization: A History*. The MIT Press, 562 pp.

State of Climate Action 2021: Systems Transformations Required to Limit Global Warming to 1.5°C (2021). Washington,

DC: World Resources Institute, 240 pp. DOI: 10.46830/wri.rpt.21.00048.

Taylor L. (2008). *Energy Productivity, Labor Productivity, and Global Warming*. Twenty-first Century Macroeconomics: Responding to the Climate Challenge, January.

Total Energy Outlook (2021). TotalEnergies. Available at: https://totalenergies.com/system/files/documents/2021-09/2021_TotalEnergies_Energy_Outlook.pdf (accessed 01.02.2022).

Von Arnim R., Rada C. (2021). *Labour Productivity and Energy Use in a Three-Sector Model: An Application to Egypt*. Working Paper Series, Department of Economics, University of Utah, 2011, vol. 42, no. 6, pp. 1323–1348. DOI: 10.1111/j.1467-7660.2011.01741.x.

World Energy Transitions Outlook... (2021). *World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway*. IRENA, June. Available at: <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook> (accessed 01.02.2022).

Zhukov S., Kopytin I., Popad'ko A. (2022). Limits of integration of renewable energy sources in the electric power industry of the EU countries. *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.