

ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ВИДОВ ЭНЕРГИИ (05.14.08)

УДК 620.92

DOI: 10.24160/1993-6982-2020-4-21-28

О балансах производства электроэнергии в мире и России

П.П. Безруких, П.П. Безруких (мл), С.М. Карабанов

Рассмотрен баланс производства электроэнергии в США, Европе, России и в мире в 2017 г. Показаны основные тенденции мирового развития энергетики, рассчитаны среднегодовые темпы роста, а также установленной мощности четырех видов электростанций на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), определены средневзвешенные значения коэффициентов использования установленной мощности. Получены следующие основные результаты.

Ввод мощности в 2018 г. на фотоэлектрических станциях (ФЭС) составил 100 ГВт (25,1% к 2017 г.), ветряных электростанциях (ВЭС) — 51 ГВт (9,5%), электростанциях на биомассе (БиоЭС) — 9 ГВт (9,8%), геотермальных электростанциях (ГеоЭС) — 0,5 ГВт (1,6%). Общая установленная мощность электростанций на базе ВИЭ в 2018 г. достигла 1246 ГВт, в том числе: ВЭС — 591 ГВт, ФЭС — 505 ГВт, БиоЭС — 130 ГВт, ГеоЭС — 13,3 ГВт.

Средневзвешенные значения коэффициентов использования установленной мощности на электростанциях по видам ВИЭ и странам существенно различаются, и в целом по миру по состоянию на конец 2016 г. равны: ГеоЭС — 0,79, БиоЭС — 0,75, ВЭС — 0,3, ФЭС — 0,165 (при этом в большинстве развитых стран данный коэффициент составляет 0,2).

Наименьшая нормированная себестоимость производства электроэнергии (LCOE) на ВЭС достигнута в США, Китае и Азии и находится в пределах от 0,055 до 0,06 \$/кВт·ч, т.е. она стала ниже, чем на угольных станциях в этих же странах.

Наименьшая нормированная себестоимость производства электроэнергии (LCOE) на ФЭС достигнута в Южной Америке (0,08 \$/кВт·ч), Индии (0,08 \$/кВт·ч) и Китае (0,1 \$/кВт·ч), т.е. примерно совпадает с себестоимостью производства электроэнергии в указанных странах.

Ожидаемая доля ВИЭ в производстве электроэнергии в 2020, 2025 и 2030 гг. соответственно равна: 14,25, 20,43 и 27,11%, а с учётом ГЭС — 30,18, 36,18 и 42,7%.

В России за 2014 — 2019 гг. обозначился значительный прогресс в использовании ВИЭ. По данным совета рынка по состоянию на 17.10.2019 г. на объектах, функционирующих на основе фотоэлектрического преобразования, в эксплуатации находятся 72 солнечных станции общей установленной мощностью 982,173 МВт. При этом общая мощность солнечных станций в Оренбургской области составила 260 МВт, в Астраханской области — 220 МВт. В реестре находится 8 генерирующих объектов, работающих на основе использования энергии ветра общей установленной мощностью 97,265 МВт, включая Ульяновскую ВЭС-1 (35 МВт) и Ульяновскую ВЭС-2 (50,4 МВт — два этапа по 25,2 МВт). Группой компаний «Хевел» построен завод по производству фотоэлектрических модулей производительностью 300 МВт в год. Создаётся отечественная производственная база по ветроэнергетике.

Ключевые слова: баланс, ветровые, фотоэлектрические, геотермальные, биоэнергетические электростанции, нормированная себестоимость производства электроэнергии.

Для цитирования: Безруких П.П., Безруких П.П. (мл), Карабанов С.М. О балансах производства электроэнергии в мире и России // Вестник МЭИ. 2020. № 4. С. 21—28. DOI: 10.24160/1993-6982-2020-4-21-28.

On the Electricity Generation Balances Worldwide and in Russia

P.P. Bezrukikh, P.P. Bezrukikh (Jr.), S.M. Karabanov

The electricity generation balance in the United States, Europe, Russia, and worldwide as of 2018 is considered. The main trends in the development of energy around the world are shown; the average annual growth rates of installed capacities at four types of power plants on the basis of renewable energy sources (RES) are calculated, and the weighted average values of the capacity utilization factors are determined for these power plants. The following main results are obtained.

The capacities commissioned in 2018 amounted to 100 GW (25.1% with respect to 2017) at photovoltaic power plants (PVPP), 51 GW (9.5%) at windmill farms (WMF), 9 GW (9.8%) at biomass fired power plants (BioPP), and 0.5 GW (1.6%) at geothermal power plants (GeoPP). The total installed capacity of RES-based power plants in 2018 reached 1246 GW, including 591 GW at WMFs, 505 GW at PVPPs, 130 GW at BioPPs, and 13.3 GW at GeoPPs.

The weighted average values of capacity utilization factors at power plants differ significantly by the RES types and in different countries, and as of late 2016, their weighted average values were as follows on the whole over the world: 0.79 for GeoPPs, 0.75 for BioPPs, 0.3 for WMFs, and 0.165 at PVPPs (in the majority of developed countries, this factor is equal to 0.2).

The lowest levelized cost of electricity (LCOE) at WMFs has been achieved in the USA, China and Asia, and ranges from \$0.055 to \$0.06 for kWh; i.e., it has become lower than it is at coal fired power plants in these countries.

The lowest LCOE at PVPPs has been achieved in South America (\$0.08/kWh), India (\$0.08/kWh), and China (\$0.1/kWh); i.e., it is approximately equal to the net cost of electricity generation in these countries.

The expected share of renewable energy sources in the electricity generation in 2020, 2025, and 2030 is equal to 14.25%, 20.43%, and 27.11%, respectively, and taking into account hydroelectric power plants, it is equal to 30.18%, 36.18%, and 42.7%, respectively.

In Russia, significant progress in the use of RES has been made for the period 2014 — 2019. According to the Market Council data as of 17.10.2019, 72 solar power plants with a total installed capacity of 982.173 MW are in operation at facilities operating on the basis of photovoltaic conversion. The total capacity of solar power plants in the Orenburg region amounted to 260 MW, and that in the Astrakhan region, 220 MW. The register also contains eight windmill farms with the total installed capacity equal 97.265 MW, including the Ulyanovsk WMF-1 (35 MW) and the Ulyanovsk WMF-2 (50.4 MW — two stages of 25.2 MW each). The «Hevel» group of companies has built a plant for manufacturing photovoltaic modules with an output of 300 MW a year. A domestic complex for producing wind power equipment is under development.

Key words: balance, wind, photovoltaic, geothermal, bioenergy power plants, levelized cost of electricity.

For citation: Bezrukikh P.P., Bezrukikh P.P. (Jr.), Karabanov S.M. On the Electricity Generation Balances Worldwide and in Russia. Bulletin of MPEI. 2020;4:21—28. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2020-4-21-28.

Введение

В начале XXI в. проблемой функционирования энергосистемы исключительно на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) занимались учёные разных стран. На высоком техническом уровне данный вопрос был проработан для фотоэлектрических станций, установленных в Северной Африке, и высоковольтных линий электропередач постоянного тока, проложенных через Средиземное море в Европу [1].

В виде дорожной карты проанализированы технические, экономические и организационные вопросы перехода к подобной энергосистеме к 2050 г. Предложено сохранение всех европейских электрических станций, работающие на базе ВИЭ.

Наиболее радикально ответили специалисты в [2]. По их мнению: «...глобальный переход к возобновляемой энергетике возможен на каждый час в течение года с эффективностью большей, чем у существующей энергосистемы, базирующей на ископаемом топливе и атомной энергии. Энергетический переход больше не вопрос технической возможности или экономической целесообразности, а политической воли...». По мнению авторов, ускоряющееся падение стоимости фотоэлектрических станций и аккумуляторных батарей ускоряет переход к 2050 г. к энергосистеме, в которой доля фотоэлектрических станций достигнет 69%, ветростанций (ВЭС) — 18%, гидростанций (ГЭС) — 8%, биоэнергетических станций (БиоЭС) — 2%, геотермальных станций (ГеоЭС) — 1% и станций существующих видов — 2%. С другой стороны, в реальности перехода к возобновляемой энергетике убеждает постоянно увеличивающееся количество стран, штатов, провинций, устанавливающих государственные или региональные цели по использованию ВИЭ в производстве электрической и тепловой энергии [3 — 9].

Называются разные доли ВИЭ (от 10 до 100%) в балансе производства электроэнергии, разные сроки достижения этой доли (от 2020 до 2050 гг.). В обобщённом виде ситуация выглядит следующим образом.

По состоянию на конец 2018 г. государственные цели установлены по широкому спектру показателей [3 — 9]:

— по доле ВИЭ в производстве электроэнергии к определённому году (в 204 странах);

— 100% ВИЭ в производстве электроэнергии (в 57 странах);

— по доле ВИЭ в теплоснабжении и кондиционировании (в 49 странах), транспорте (в 43 странах), производстве первичной или конечном потреблении энергии (в 82 странах);

— по использованию биотоплива (в 70 странах) и ВИЭ (в 33 странах);

— по политическим и экономическим предпочтениям (в 113 странах).

Для понимания грандиозности задачи перехода на возобновляемую энергетiku, когда основу экономики подавляющего количества стран составляет энергетика на ископаемом топливе и атомной энергии, рассмотрены балансы производства электроэнергии и мощности в мире, США, Европе и России. Показаны основные тенденции мирового развития энергетики, дан один из вариантов прогноза возможного перехода. Следует отметить также, что очевидное изменение климата планеты в значительной степени помогает мировому сообществу осознать необходимость перехода на дружелюбную природе энергетiku.

Существующее состояние баланса производства электроэнергии

В таблице 1 продемонстрирован баланс производства электроэнергии по видам энергоносителей [10].

Из данных табл. 1 следует, что в 2017 г. доля угля превзошла все другие энергоносители и составила 38%, в США она (30,7%) приблизилась к доле газа (32%), в Европе почти равна доле АЭС (21,6 и 21,8%), в России превалировала доля газа (48,6%).

Доля АЭС составила 10,3 (мировой показатель), 19,8 (США), 21,8 (Европа), 18,6% (Россия), а доля ВИЭ — 8,4 (в мире), 9,8 (США), 18,3 (Европа), 0,11% (Россия). Следует отметить, что табл. 1 составлена по данным транснациональной компании «British Petroleum» (BP), замеченной в недооценке доли возобновляемых источников энергии. В частности, она не учитывает производство электроэнергии на базе биомассы.

В мире существует другая авторитетная организация — Renewable Policy Network for the 21st Century (REN21) [3]. По ее данным доля ВИЭ в 2017 г. в мире составила 10, а не 8,4%, как показано в табл. 1, а в 2018 г. в балансе производства электроэнергии в мире на невозобновляемые источники энергии, включая АЭС, приходилось 73,5%, а на возобновляемые,

включая ГЭС, — 26,5%, при этом ГЭС — 16,4, а все ВИЭ — 10,1% (ВЭС — 5,6, БиоЭС — 2,2, ФЭС — 1,4, ГеоЭС и ОкеанЭС — 0,4%) [3 — 9].

Тенденции изменения баланса производства электроэнергии

На современном этапе в производстве электрической энергии увеличены доли природного газа и возобновляемых источников энергии и сокращена доля угля. Мировая доля угля (38%) пока превышает остальные виды топлива, но тенденция ее уменьшения не вызывает сомнений, как не вызывает сомнений и рост доли ВИЭ, хотя Россия пока отстает в этом вопросе. Сложнее дело обстоит с АЭС. В Европе за период с 1995 по 2015 гг. выведены из работы АЭС мощностью 11,8 ГВт [11], однако многие страны мира лишь наращивают их мощность. Какая тенденция в АЭС победит, будет ясно к 2025 г. Динамика роста установленной мощности электростанций на базе ВИЭ показана в табл. 2.

Таблица 1

Баланс производства электроэнергии в 2017 г.

Вид энергоносителя	Показатели баланса производства электроэнергии, ТВт·ч (%)			
	в мире	США	Европа	Россия
Нефть	883 (3,46)	22,7 (0,53)	61,6 (1,6)	15,8 (1,41)
Природный газ	5915,3 (23,16)	1369 (31,97)	774,6 (19,85)	529,9 (48,56)
Уголь	9723,4 (38,5)	1314 (30,69)	841,3 (21,56)	153,3 (14,06)
АЭС	2635,6 (10,31)	847,3 (19,79)	850,7 (21,80)	203,1 (18,62)
ГЭС	4059,9 (15,89)	296,5 (6,93)	576,2 (17,76)	183,3 (16,81)
ВИЭ	2151,5 (8,42)	418,9 (9,76)	715,1 (18,33)	1,2 (0,11)
Прочие	182,6 (0,72)	13,6 (0,33)	81,9 (2,1)	4,7 (0,43)
Всего	25551 (100)	4282 (100)	3901,3 (100)	1091,2 (100)
Доля в мировом производстве	100	16,8	15,3	4,3

Таблица 2

Динамика показателей возобновляемой энергетики мира

Показатель	Значение показателям по годам					
	2004	2010	2015	2016	2017	2018
Новые годовые инвестиции, млрд долларов США	45	220	285,9	264,6	326	289
Мощность, ГВт						
на базе ВИЭ (без ГЭС)	85	315	785	921	1081	1246
на базе ВИЭ (с ГЭС)	800	1260	1849	2017	2197	2378
БиоЭС	<36	40	106	112	121	130
ГЭС	715	945	1064	1096	1114	1132
ГеоЭС	8,9	10,6	12,0	12,1	12,8	13,3
ФЭС	2,6	40	227	303	405	505
Термодинамические электростанций	0,4	1,3	4,8	4,8	4,9	5,5
ВЭС	48	198	433	487	540	591
Производство электроэнергии на базе биомассы, ТВт·ч	227	—	464	504	532	581

За период с 2004 по 2018 гг. мощность всех электростанций на базе ВИЭ возросла с 85 до 1246 ГВт, т. е. в 14,6 раза. Очевидно, что с увеличением установленной мощности темпы ввода мощностей замедляются, но даже за последний год по фотоэнергетике они беспрецедентны (25,4%), по ветро- (9,5%) и биоэнергетике (9,8%) — значительны, а по геотермальной энергетике (1,6%) — весьма малы.

Из данных табл. 2 следует, что доля ВИЭ по установленной мощности на 99% определяется мощностью ВЭС, ФЭС, Био- и ГеоЭС. Установленная мощность этих электростанций в 2018 г. равна: 591, 505, 130 и 13,3 ГВт, всего — 1246 ГВт. Для всех станций выполнены расчеты средневзвешенного значения коэффициента использования установленной мощности ($K_{\text{нум}}$) по видам ВИЭ, данным средневзвешенных значений $K_{\text{нум}}$ для девяти объединений стран и трех стран (Китай, США, Индия) [3] и данным по установленной мощности по объединениям стран и основным странам в 2016 г. [12].

Средневзвешенные коэффициенты использования установленной мощности $K_{\text{нум}}$ по видам ВИЭ в целом по миру составляют: ВЭС — 0,3; ФЭС — 0,165; БиоЭС — 0,75 и ГеоЭС — 0,79, т. е. $K_{\text{нум}}$ для ГеоЭС в 2,6 раза больше, чем для ВЭС, и в 4,8 раз больше, чем для ФЭС. Следовательно, доля ГеоЭС в общем балансе производства электроэнергии значительна.

По ветроэнергетике отметим следующую динамику [13]:

- общая установленная мощность ВЭС увеличилась за период с 2007 по 2018 гг. с 94 до 591 ГВт, т. е. в 6,3 раза;

- в первую десятку по мощности ВЭС в 2017 г. вошли Китай (188 ГВт), США (89 ГВт), Германия (56 ГВт), Индия (33 ГВт), Испания (23 ГВт), Великобритания (19 ГВт), Франция (14 ГВт), Канада (12 ГВт), Италия (9 ГВт) и Швеция (7 ГВт);

- в 2017 г. мощность ВЭС превысила 1 ГВт в 28 странах;

- отмечен рост единичной мощности ветротурбин, наиболее мощная ветротурбина Westas мощностью 8 МВт в работе достигла 9 МВт;

- стремительно повышается мощность наземных ветростанций, в перечень ВЭС мощностью 500 МВт входит 22 станции, самая мощная находится в Китае — 6800 МВт;

- развиваются морские ВЭС, в наличии 25 станций мощностью 200 МВт и выше, наиболее мощная располагается в Великобритании — 1312 МВт (сооружена в 2018 г.);

- энергетический срок окупаемости ВЭС составляет от 0,5 до 0,9 года;

- нормированная себестоимость производства электроэнергии на ВЭС в США, Китае, Северной Америке и Азии находится в пределах от 0,055 до 0,06 \$/кВт·ч, т. е. стала меньше себестоимости электроэнер-

гии от тепловых станций на угле, а коэффициент использования установленной мощности на ВЭС в большинстве стран превышает 0,3.

По фотоэнергетике следует отметить, что общая установленная мощность ФЭС увеличилась за период с 2007 по 2018 гг. с 8 до 505 ГВт, то есть, в 63 раза, а за период с 2010 по 2018 гг. с 40 до 505 ГВт (в 12,6 раза).

В первую десятку стран в 2017 г. вошли: Китай (131,1 ГВт), США (51 ГВт), Япония (47 ГВт), Германия (42,4 ГВт), Италия (19,7 ГВт), Индия (18,3 ГВт), Великобритания (12,7 ГВт), Франция (8,0 ГВт), Австралия (7,2 ГВт), Испания (5,6 ГВт).

Выросла мощность ФЭС. В 2017 г. перечень ФЭС мощностью 200 МВт и выше содержал 50 электростанций в 15 странах мира. Срок энергетической окупаемости ФЭС — от 0,7 до 2 лет в зависимости от типа модулей и места установки.

Наименьшие значения нормированной себестоимости производства электроэнергии на ФЭС получены в Южной Америке (0,08 \$/кВт·ч), Индии (0,09 \$/кВт·ч), и Китае (0,1 \$/кВт·ч) и примерно совпадают со стоимостью электроэнергии от угольных станций в этих странах. Наибольшие значения 0,21 \$/кВт·ч наблюдались в Евразии.

Достигнутое значение $K_{\text{нум}} = 0,2$ в большинстве стран следует считать реальным и весьма удовлетворительным значением.

Прогноз доли возобновляемых источников энергии в балансе производства электроэнергии в мире на среднесрочную перспективу

Вопрос изменения баланса производства электроэнергии в мире в предстоящие 10 лет имеет большое практическое значение для России, экспортирующей газ, нефть и уголь. Для ответа на него необходимо определить темп роста общего производства (потребления) электроэнергии и возможный темп роста установленной мощности и производства электроэнергии на электростанциях на базе четырёх видов ВИЭ и ГЭС. Анализ темпов роста производства за прошедшие периоды по данным [10] дал следующие результаты. Мировое производство электроэнергии за период с 2010 по 2014 гг. возрастало со среднегодовым темпом 2,61%, а в промежутке с 2014 по 2018 гг. составило 2,71%. В качестве наиболее вероятного варианта развития производства электроэнергии в мире на период с 2019 по 2025 гг. принят среднегодовой темп 2,8%, а на период с 2026 по 2030 гг. — 2,5%. Это означает, что производство электроэнергии в мире в 2020, 2025 и 2030 гг. составит, соответственно, 27393, 30000 и 32602 ТВт·ч.

Для уточнения производства электроэнергии на базе ВИЭ использованы средневзвешенные значения $K_{\text{нум}}$ по видам ВИЭ, данным средневзвешенных значений $K_{\text{нум}}$ для девяти объединений стран и трех стран (Китай, США, Индия) [3 — 9] и информации по уста-

новленной мощности [12] по объединениям стран в 2016 г. Можно было бы ожидать небольшого повышения значения указанных коэффициентов из-за накопления опыта эксплуатации, но с другой стороны, по мере старения оборудования, установленного до 2015 г., $K_{\text{иум}}$ будет снижаться. Решающее значение для определения производства электроэнергии на прогнозируемый период имеет среднегодовой темп (коэффициент) роста установленной мощности (k_p). На период с 2016 по 2025 гг. k_p принят равными для: ВЭС — 0,0965, ФЭС — 0,192, БиоЭС — 0,046, ГеоЭС — 0,025, ГЭС — 0,017, а на период с 2026 до 2030 гг.: ВЭС — 0,08, ФЭС — 0,15, БиоЭС — 0,04, ГеоЭС — 0,02, ГЭС — 0,015. Мощность и произведенную энергию в конце периода определяли по формулам:

$$P_{2020} = P_{2016}(1 + k_p)^4;$$

$$E_{2020} = P_{2020} K_{\text{иум}} T,$$

где T — количество часов в году, $T = 8760$.

Аналогично выполнены расчёты для остальных периодов, результаты представлены в табл. 3. Разумеется, это всего лишь один не самый оптимистический вариант развития возобновляемой энергетики мира и соответствующего изменения доли топливных и атомных электростанций в предстоящем десятилетии. Однако не подлежит сомнению, что в странах Европейского союза к 2020 г. доля ВИЭ в производстве электроэнергии достигнет заявленной ими величины — 20%, и потребность в импорте газа будет снижаться.

Перспектива развития возобновляемой энергетики России

В России за период с 2015 по 2018 гг. достигнут определенный прогресс по вводу мощностей [14 — 17]. Так в Единой энергетической системе (ЕЭС) России установленная мощность ВЭС увеличилась с 10,9 до 183,9 МВт, а ФЭС — с 50 до 834 МВт. При этом $K_{\text{иум}}$ ВЭС (18,3%) пока существенно уступает зарубежному показателю, а $K_{\text{иум}}$ ФЭС (14,6%) приближается к

нему. Всего же по данным совета рынка по состоянию на 17.10.2019 г. согласно реестра квалифицированных объектов, функционирующих на основе фотоэлектрического преобразования, в эксплуатации находятся 72 солнечных станции общей установленной мощностью 982,173 МВт. Общая мощность солнечных станций в Оренбургской области составляет 260 МВт, включая Оренбургскую СЭС-3 мощностью 60 МВт и Оренбургскую СЭС-1 мощностью 45 МВт. Вторым субъектом РФ по установленной мощности солнечных станций является Астраханская область — 220 МВт. Наиболее крупные станции в данной области: Ахтюбинская СЭС — 60 МВт (4 очереди по 15 МВт) и Фунтовская СЭС — 60 МВт и 4 очереди. В указанном реестре имеются 8 генерирующих объектов, работающих на базе использования энергии ветра общей установленной мощностью 97,265 МВт, включая Ульяновские ВЭС-1 (35 МВт) и ВЭС-2 (50,4 МВт — два этапа по 25,2 МВт) Создана отечественная производственная база фотоэнергетики и пополняются данные по ветроэнергетике.

О недооценке доли ВИЭ в России говорит фактическое отсутствие статистик производства электроэнергии в автономных энергоустановках на базе ВИЭ, а также статистики производства электроэнергии на базе биомассы на электростанциях целлюлозно-бумажных комбинатов и лесопромышленных комплексах, использующих дерево и отходы. По нашей оценке доля ВИЭ без ГЭС в производстве электроэнергии в 2018 г. в России находится в пределах 0,6...0,7%. Но всё равно это очень мало для страны, в которой технический потенциал ветровой и солнечной энергетики равен 34977 млрд кВт·ч, т. е. превосходит годовое производство электроэнергии всеми электростанциями России в 30 раз [18].

Ближайшая перспектива развития ветроэнергетики России (до 2024 г.) определена результатами конкурсных отборов 2013, 2014, 2018 и 2019 гг. По распоряжению Правительства РФ необходимо к 2024 г. ввести

Таблица 3

Прогноз доли ВИЭ в производстве электроэнергии в мире

Показатель	Значение по годам			
	2016 (фактическое)	2020	2025	2030
Общее производство электроэнергии в мире, ТВт·ч	24956,9	27393	30000	32602
ВИЭ, ТВт·ч	1971	3903	6130	8839
ГЭС, ТВт·ч	4143	4363	4723	5085
ВИЭ + ГЭС, ТВт·ч	6114	8267	10853	13923
Доля, %				
ВИЭ	7,9	14,25	20,43	27,11
ГЭС	16,6	15,93	15,75	15,59
ВИЭ + ГЭС	24,5	30,18	36,18	42,70

в эксплуатацию ВЭС общей мощностью 3600 МВт, СЭС — 1520 МВт и малых ГЭС — 751 МВт, всего — 5871 МВт [19].

На период до 2024 г. установлены следующие значения целевых показателей объема производства и потребления электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии (помимо гидроэлектростанций установленной мощностью более 25 МВт) (в ред. распоряжения Правительства РФ № 1472-р от 28.07.2015): в 2010 г. — 1,5%, в 2015 г. — 2,5%, в 2024 г. — 4,5%.

К сожалению, в указанном документе нет целевых показателей по геотермальной энергетике и электроэнергетике на базе биомассы, на которые приходится до 30% производства.

Достижение доли ВИЭ 4,5% в годовом производстве электроэнергии в России при годовом выпуске 1000 млрд кВт·ч означает выработку 45 млрд кВт·ч. Распределив этот объем между ВЭС, ФЭС, ГеоЭС + БиоЭС и МГЭС в пропорции 15:15:10:5 млрд кВт·ч, получим необходимый объем ввода мощности на ВЭС — 5700, ФЭС — 8500, ГеоЭС + БиоЭС — 1500, МГЭС — 1500 МВт. Однако эти объемы ввода, видимо, задача на 2030, но не на 2024 гг.

Заключение

Возобновляемая энергетика в мире развивается темпом, значительно превышающим развитие экономик всех стран. Ввод мощности в 2018 г. составил: на ФЭС — 100 (25,1% к 2017 г.), ВЭС — 51 (9,5%), БиоЭС — 9 (9,8%), ГеоЭС — 0,5 ГВт (1,6%). Общая установленная мощность электростанций на базе ВИЭ в 2018 г. достигла 1246 ГВт, в том числе: ВЭС — 591, ФЭС — 505, БиоЭС — 130 и ГеоЭС — 13,3 ГВт.

Литература

1. **100% Renewable Electricity.** A Road Map to 2050 for Europe and North Afrika [Электрон. ресурс] www.pwc.co.uk/assets/pdf/100-percent-renewable-electricity.pdf (дата обращения 20.10.2019).
2. **Global Energy System Based on 100% Renewable Energy — Power Sector** [Электрон. ресурс] www.energy-watchgroup.org/wp-content/uploads/2017/12/EWG-LUT_Full-Study_Energy-Transition-Europe.pdf (дата обращения 20.10.2019).
3. **Renewables 2005.** Global Status Rep. [Электрон. ресурс] www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2005_Full-Report_English.pdf (дата обращения 21.10.2019).
4. **Renewables 2010.** Global Status Rep. [Электрон. ресурс] www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2010_Full-Report_English.pdf (дата обращения 21.10.2019).
5. **Renewables 2015.** Global Status Rep. [Электрон. ресурс] www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2015_Full-Report_English.pdf (дата обращения 21.10.2019).

Рассчитаны средневзвешенные значения коэффициентов использования установленной мощности на электростанциях. По видам ВИЭ и странам они различаются существенно, а в целом по миру по состоянию на конец 2016 г. равны: ГеоЭС — 0,79, БиоЭС — 0,75, ВЭС — 0,3, ФЭС — 0,165 (в большинстве развитых стран $K_{\text{нум}} = 0,2$).

Наименьшая нормированная себестоимость производства электроэнергии (LCOE) на ВЭС достигнута в США, Китае и Азии и находится в пределах от 0,055 до 0,06 \$/кВт·ч, т. е. стала ниже, чем на угольных станциях в этих странах.

Наименьшая нормированная себестоимость производства электроэнергии на ФЭС получена в Южной Америке (0,08 \$/кВт·ч), Индии (0,08 \$/кВт·ч) и Китае (0,1 \$/кВт·ч), т. е. примерно совпадает с себестоимостью производства электроэнергии в указанных странах.

Выполнен прогноз развития возобновляемой энергетике мира на период до 2030 г. Ожидаемая доля ВИЭ в выработке электроэнергии в 2020, 2025 и 2030 гг. составляет 14,25; 20,43 и 27,11%, а с учётом ГЭС — 30,18; 36,18 и 42,7%.

В России за период 2014 — 2019 гг. наметился прогресс в использовании ВИЭ. Группой компаний «Хевел» построен завод по производству фотоэлектрических модулей производительностью 300 МВт в год. Наполняется отечественная производственная база по ветроэнергетике.

Для достижения необходимой доли ВИЭ в производстве электроэнергии в соответствии с постановлением Правительства РФ (4,5%) необходимо уже в 2020 г. определиться по объемам ввода мощностей на ФЭС, ВЭС, Био-, Гео- и МГЭС.

References

1. **100% Renewable Electricity.** A Road Map to 2050 for Europe and North Afrika [Elektron. Resurs] www.pwc.co.uk/assets/pdf/100-percent-renewable-electricity.pdf (Data Obrashcheniya 20.10.2019).
2. **Global Energy System Based on 100% Renewable Energy — Power Sector** [Elektron. Resurs] www.energy-watchgroup.org/wp-content/uploads/2017/12/EWG-LUT_Full-Study_Energy-Transition-Europe.pdf (Data Obrashcheniya 20.10.2019).
3. **Renewables 2005.** Global Status Rep. [Elektron. Resurs] www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2005_Full-Report_English.pdf (Data Obrashcheniya 21.10.2019).
4. **Renewables 2010.** Global Status Rep. [Elektron. Resurs] www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2010_Full-Report_English.pdf (Data Obrashcheniya 21.10.2019).
5. **Renewables 2015.** Global Status Rep. [Elektron. Resurs] www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2015_Full-Report_English.pdf (Data Obrashcheniya 21.10.2019).

6. **Renewables 2016.** Global Status Rep. [Электрон. ресурс] www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/REN21_GS2016_FullReport_en_11.pdf (дата обращения 21.10.2019).
7. **Renewables 2017.** Global Status Rep. [Электрон. ресурс] www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2017_Full-Report_English.pdf (дата обращения 21.10.2019).
8. **Renewables 2018.** Global Status Rep. [Электрон. ресурс] www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/08/Full-Report-2018.pdf (дата обращения 21.10.2019).
9. **Renewables 2019.** Global Status Rep. [Электрон. ресурс] www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf (дата обращения 21.10.2019).
10. **BP Statistical Rev.** World Energy 2018 [Электрон. ресурс] www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf (дата обращения 20.10.2019).
11. **Wind in Power: 2015 European Statistics** [Электрон. ресурс] www.windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/EWEA-Annual-Statistics-2015.pdf (дата обращения 21.10.2019).
12. **Renewable Capacity Statistics** [Электрон. ресурс] www.irena.org/publications/2017/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2017 (дата обращения 21.10.2019).
13. **Global Wind Report** [Электрон. ресурс] www.gwec.net/global-wind-report-2018/ (дата обращения 18.10.2019).
14. **Отчет** о функционировании ЕЭС России в 2018 г. [Электрон. ресурс] www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2019/ups_rep2018.pdf (дата обращения 20.10.2019).
15. **Отчет** о функционировании ЕЭС России в 2017 г. [Электрон. ресурс] www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2018/ups_rep2017.pdf (дата обращения 20.10.2019).
16. **Отчет** о функционировании ЕЭС России в 2016 г. [Электрон. ресурс] www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2017/ups_rep2016.pdf (дата обращения 20.10.2019).
17. **Отчет** о функционировании ЕЭС России в 2015 г. [Электрон. ресурс] www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2016/ups_rep2015.pdf (дата обращения 20.10.2019).
18. **Васильев Ю.С., Безруких П.П., Елистратов В.В., Сидоренко Г.И.** Оценки ресурсов возобновляемых источников энергии в России. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008.
19. **Распоряжение** Правительства Российской Федерации № 1-р от 08.01.2009 г. «Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2024 года» (в редакции распоряжений Правительства РФ № 861-р от 28.05.2013 г., № 1472-р от 28.07.2015 г.).
6. **Renewables 2016.** Global Status Rep. [Elektron. Resurs] www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/REN21_GS2016_FullReport_en_11.pdf (Data Obrashcheniya 21.10.2019).
7. **Renewables 2017.** Global Status Rep. [Elektron. Resurs] www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2017_Full-Report_English.pdf (Data Obrashcheniya 21.10.2019).
8. **Renewables 2018.** Global Status Rep. [Elektron. Resurs] www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/08/Full-Report-2018.pdf (Data Obrashcheniya 21.10.2019).
9. **Renewables 2019.** Global Status Rep. [Elektron. Resurs] www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf (Data Obrashcheniya 21.10.2019).
10. **BP Statistical Rev.** World Energy 2018 [Elektron. Resurs] www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf (Data Obrashcheniya 20.10.2019).
11. **Wind in Power: 2015 European Statistics** [Elektron. Resurs] www.windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/EWEA-Annual-Statistics-2015.pdf (Data Obrashcheniya 21.10.2019).
12. **Renewable Capacity Statistics** [Elektron. Resurs] www.irena.org/publications/2017/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2017 (Data Obrashcheniya 21.10.2019).
13. **Global Wind Report** [Elektron. Resurs] www.gwec.net/global-wind-report-2018/ (Data Obrashcheniya 18.10.2019).
14. **Otchet** o Funktsionirovanii EES Rossii v 2018 g. [Elektron. Resurs] www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2019/ups_rep2018.pdf (Data Obrashcheniya 20.10.2019). (in Russian).
15. **Otchet** o Funktsionirovanii EES Rossii v 2017 g. [Elektron. Resurs] www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2018/ups_rep2017.pdf (Data Obrashcheniya 20.10.2019). (in Russian).
16. **Otchet** o Funktsionirovanii EES Rossii v 2016 g. [Elektron. Resurs] www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2017/ups_rep2016.pdf (Data Obrashcheniya 20.10.2019). (in Russian).
17. **Otchet** o Funktsionirovanii EES Rossii v 2015 g. [Elektron. Resurs] www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2016/ups_rep2015.pdf (Data Obrashcheniya 20.10.2019). (in Russian).
18. **Vasil'ev Yu.S., Bezrukikh P.P., Elistratov V.V., Sidorenko G.I.** Otsenki Resursov Vozobnovlyaemykh Istochnikov Energii v Rossii. SPb.: Izd-vo Politekhn. Un-ta, 2008.(in Russian).
19. **Rasporyazhenie** Pravitel'sta Rossiyskoy Federatsii № 1-r ot 08.01.2009 g. «Ob Osnovnykh Napravleniyakh Gosudarstvennoy Politiki v Sfere Povysheniya Energeticheskoy Effektivnosti na Osnove Ispol'zovaniya Vozobnovlyaemykh Istochnikov Energii na Period do 2024 Goda» (v Redaktsii Rasporyazheniy Pravitel'sta RF № 861-r ot 28.05.2013 g., № 1472-r ot 28.07.2015 g.). (in Russian).

Сведения об авторах:

Безруких Павел Павлович — доктор технических наук, профессор кафедры гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии НИУ «МЭИ», e-mail: bezruky@yandex.ru

Безруких Павел Павлович (мл) — старший менеджер ПАО «ЛУКОЙЛ», e-mail: Pavel.Bezrukikh@lukoil.com

Карабанов Сергей Михайлович — доктор технических наук, профессор Рязанского государственного радиотехнического университета, e-mail: pvs.solar@gmail.com

Information about authors:

Bezrukikh Pavel P. — Dr.Sci. (Techn.), Professor of Hydro Power Engineering and Renewable Energy Sources Dept., NRU MPEI, e-mail: bezruky@yandex.ru

Bezrukikh Pavel P. (Jr.) — Senior Manager of PJSC «LUKOIL», e-mail: Pavel.Bezrukikh@lukoil.com

Karabanov Sergey M. — Dr.Sci. (Techn.), Professor of Ryazan State Radio Engineering University, e-mail: pvs.solar@gmail.com

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 03.11.2019

The article received to the editor: 03.11.2019