

# Возобновляемая энергетика в странах БРИКС: контуры мейнстрима

doi 10.26310/2071-3010.2019.246.4.011

*В статье исследуются тенденции развития возобновляемой энергетики в странах БРИКС. В фокусе внимания находятся ветровая и солнечная энергетика. Выявлены факторы ускоренного роста этих сфер возобновляемой энергетики. Раскрыты основные направления исследований, разработок и инновационных технологических преобразований в этих отраслях. Проанализирована динамика издержек генерации и стоимости электроэнергии от ветровых и солнечных станций в различных странах мира. Представлены прогнозные оценки развития ветровой и солнечной энергетики стран БРИКС до 2050 г.*

**Ключевые слова:** возобновляемая энергетика, энерготехнологии, стоимость электроэнергии, исследования и разработки, технологические инновации в энергетике, страны БРИКС.

Характерным трендом в мировой энергетике XXI века стал бурный рост возобновляемой энергетики. Это проявилось и в щедрых инвестициях в отрасль, и в рекордном вводе новых мощностей. В 2017 г. на создание новых мощностей в возобновляемой энергетике было инвестировано вдвое больше средств (68,2%), чем в строительство новых мощностей в традиционной (22,6%) и ядерной энергетике (9,2%) вместе взятых. Суммарная мировая мощность в возобновляемой энергетике (включая ГЭС) с 2000 г. возросла в 2,6 раза и составила к 2018 г. 2179 ГВт. При этом произошли и существенные изменения в размещении мощностей возобновляемой энергетики на планете. Если в 2000 г. более 90% мировой мощности ветроэнергетики и 85% солнечной энергетики было сконцентрировано в США, странах Европы и Японии, то сегодня ситуация иная — в группу мировых лидеров по объему установленной мощности в этих и других сферах «зеленой» энергетики все более уверенно входят страны БРИКС (см. табл. 1).

В предлагаемой статье рассматриваются основные тенденции и особенности развития ветровой и солнечной энергетики в странах БРИКС в контексте современного мейнстрима в глобальном энергетическом



**В. П. Клавдиенко**  
 д. э. н., экономический факультет,  
 Московский государственный университет  
 им. М. В. Ломоносова  
 klavdienko@econ.msu.ru

хозяйстве — преобразования энергетической системы на основе широкого использования возобновляемых источников энергии и генерации более дешевой и «чистой» энергии.

## Ветроэнергетика

Ветроэнергетика — одна из наиболее динамично развивающихся отраслей мировой индустрии. Суммарная установленная мощность в этой отрасли с 2007 г. увеличилась в 5,7 раз и к началу 2018 г. достигла 539 ГВт. В настоящее время более 100 стран располагают ветроэнергетическими установками (ВЭУ), генерирующими электроэнергию в коммерческих масштабах, в том числе 40% установленных в мире мощностей ветроэнергетики приходится на пятерку стран БРИКС. Почти треть мощностей этой отрасли (более 168 ГВт) сконцентрирована на территории Китая, который в течение последних лет выступает флагманом мировой ветроэнергетики. Высокие темпы роста показывает также ветроэнергетика Индии, где суммарная мощность отрасли достигла 33 ГВт (четвертое место в мире). В группу мировых лидеров по установленной мощности в ветроэнерге-

Таблица 1

Страны-лидеры по установленной мощности в сфере возобновляемой энергетики, ГВт, 2017 г.

Сферы возобновляемой энергетики	Страны-лидеры, топ-5				
	1	2	3	4	5
Общая мощность в возобновляемой энергетике (включая ГЭС)	Китай (619)	США (229)	Бразилия (128)	Германия (113)	Индия (106)
Ветроэнергетика	Китай (168)	США (88)	Германия (56)	Индия (33)	Испания (23)
Солнечные фотоэлектрические станции	Китай (131)	Япония (49)	Германия (42)	США (41)	Италия (20)
Солнечные термодинамические установки	Испания (2,3)	США (1,8)	ЮАР (0,3)	Индия (0,2)	Марокко (0,18)
Гидроэнергетика	Китай (341)	США (102)	Бразилия (100)	Канада (81)	Россия (52)
Биоэнергетика	Бразилия (15)	США (13)	Китай (11)	Индия (10)	Германия (9)

Источник: составлено автором по [12-14]

тике входит также Бразилия, занимая восьмое место (13 ГВт). Подъем этой отрасли в Бразилии начался в 2009 г., с создания ветропарков на северо-востоке страны, где, по мнению специалистов бразильского Национального агентства электроэнергетики, имеются самые благоприятные в мире природно-климатические условия для использования энергии ветра. В 2018 г. в Бразилии уже действовало более 450 ветропарков. Показательно, что коэффициент использования установленной мощности (КИУМ), характеризующий эффективность работы ВЭУ (с учетом простоев и наличия ветра), в ветропарках Бразилии действительно оказался впечатляющим — 40-50%, а на северо-востоке страны — 58,4-60,8%. Такой КИУМ встречается редко, достаточно сказать, что среднемировой показатель для отрасли — менее 30% [5, 8, 12].

Первые успешные шаги в использовании энергии ветра делают ЮАР и Россия. В 2017 г. общая установленная мощность в ветроэнергетике ЮАР превысила 2,1 ГВт, это первая и пока единственная страна в Африке, освоившая ветроэнергетику в коммерческих масштабах. В России ветроэнергетика представлена скромнее — к 2018 г. суммарная мощность всех ветроэнергетических установок составляла около 0,012 ГВт (столько в Китае устанавливается за 8 часов). Говорить о возросшем интересе инвесторов к развитию ветроэнергетики в России преждевременно, тем не менее ряд проектов в этой отрасли воплощается в жизнь. Так в начале 2018 г. потенциал отрасли возрос за счет ввода в эксплуатацию новой ВЭС в Ульяновской области, мощностью 35 МВт.

Бурный рост ветроэнергетики в Китае, Индии и Бразилии обеспечен целым рядом факторов, ключевыми из которых являются следующие.

- Всесторонняя государственная поддержка отрасли.

Уже к 2007-2009 гг. в этих странах были приняты долгосрочные национальные программы освоения возобновляемых источников энергии с особым акцентом на поддержку ветровой и солнечной энергетики. Задания по вводу мощностей в этих отраслях включаются в государственные планы развития экономики и обеспечиваются надежным финансированием за счет средств бюджета и частного бизнеса, с использованием механизма частно-государственного партнерства. Так в Китае инвестиции в ветроэнергетику в 2017 г. составили \$36,1 млрд — это больше трети общемирового объема инвестиций в эту отрасль, в Индии — \$4 млрд (4% мирового объема), в Бразилии — \$3,6 млрд (см. рис. 1).

Не скупятся власти и бизнес на финансирование научных исследований, разработок и демонстрационных проектов в сфере ветроэнергетики, выделяя на эти цели сотни млн. долларов. При этом кроме прямых бюджетных ассигнований и вложений частных средств активно используются косвенные инструменты государственной поддержки производителей и потребителей «чистой» энергии — гарантированные государственные закупки «зеленой» энергии у производителей (по льготным тарифам) и «зеленые» тарифы для потребителей, льготные кредиты, налоговые преференции, льготные таможенные пошлины на импорт оборудования для ветроэнергетики и др. [2].

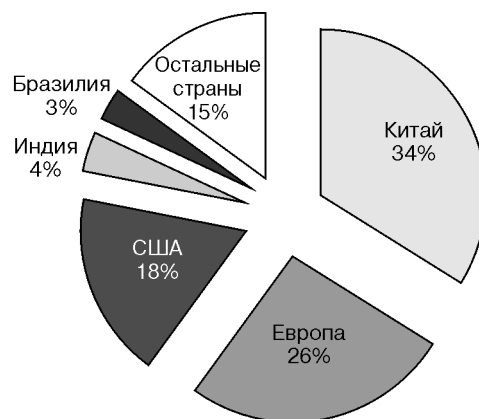


Рис. 1. Доля стран в глобальных инвестициях в ветроэнергетику в 2017 г., %  
Источник: рассчитано и составлено автором по [9, 12]

- Создание собственной научно-технической и индустриальной базы ветроэнергетики.

Крупномасштабные инвестиции в отрасль позволили обеспечить импорт современных технологий и оборудования от ведущих зарубежных производителей, в короткие сроки создать мощную собственную научно-техническую и индустриальную базу и стать ведущими игроками на рынке ветроэнергетики. Если в прошлом десятилетии на рынке ветроэнергетических турбин доминировали западные компании, то сегодня по объему продаж ветротурбин в группу мировых лидеров уверенно входят китайские и индийские производители (см. табл. 2).

В Бразилии, России и ЮАР развитие отрасли пока продолжает опираться на импорт оборудования, однако в зарубежных поставках ветроэнергетического оборудования в эти страны растет доля поставщиков из Китая и Индии. В свою очередь, расширяя поставки в рамках группы БРИКС, китайские и индийские компании заключают также все больше контрактов на поставки ветротурбин в Северную и Южную Америку, Австралию, Филиппины и другие страны.

- Улучшение технических характеристик и дизайна ветроэнергетических установок.

Компании-производители год от года улучшают дизайн и технические характеристики ВЭУ, наращивают мощности ветротурбин, расширяют модельный ряд изделий с учетом природно-климатических условий

Таблица 2  
Топ-10 мировых производителей ветроэнергетических турбин по объему продаж, 2017 г.

Компания-производитель	Страна	Доля в мировом объеме продаж ветротурбин, %
Vestas	Дания	16,7
Siemens Gamesa	Испания	16,6
Goldwind	Китай	10,5
General Electric	США	7,6
Enercon	Германия	6,6
Envision	Китай	6,0
Nordex	Германия	5,2
Mingyang	Китай	4,7
Senvion	Германия	3,7
Suzion	Индия	2,6

Источник: составлено по [15]

их использования. Характерными тенденциями стали также повышение высоты башни, увеличение диаметра ротора (ветроколеса) ВЭУ. Если в прошлом десятилетии на рынке преобладали турбины мощностью до 2 МВт, то сегодня производители предлагают турбины мощностью 6 МВт и более. Высота башни возросла в среднем с 80 до 120 метров, диаметр ветроколеса — с 51 до 100 и более метров [14, 15].

Повышение высоты башни и увеличение диаметра ветроколеса позволило задействовать больший объем ветрового потенциала для генерации энергии и повысить КИУМ ветроустановок. Так в Китае освоено производство ветряного колеса диаметром 151 м для оффшорной ветроэнергетической установки мощностью 5 МВт (ранее в оффшорной ветроэнергетике страны использовались западные технологии). Ометаемая площадь ветроколеса новой установки на 20% превышает соответствующий показатель прежних агрегатов западного производства. Этот гигант оффшорной ветроэнергетики способен обеспечить электроэнергией 10 тыс. домашних хозяйств.

Современные ветроэнергетические генераторы оснащаются «умными» технологиями, выполняющими функции автоматического контроля и регулирования. Установленные на разных высотах башни анемометры обеспечивают мгновенное и точное измерение направления и скорости ветра, сенсоры вибрации позволяют своевременно обнаруживать и устранять вибрацию механизмов, сотни датчиков осуществляют контроль за состоянием «здоровья» ВЭУ и ее компонентов (лопастей, редукторов, ротора, инверторов, системы изменения угла атаки лопастей и др.). Использование беспилотных летательных аппаратов существенно сокращает время инспекции наземных и оффшорных ветровых электростанций (с нескольких часов до 20 минут).

Центры обработки больших данных (Big Data), получающие информацию от многочисленных анемометров и сенсоров высокой точности, отслеживают работу ВЭУ в режиме реального времени, а система самодиагностики позволяет прогнозировать сбои и

неполадки в работе оборудования и предупреждать аварийные ситуации.

Синергетический эффект перечисленных факторов (крупных инвестиций, роста масштабов генерации, улучшения технико-экономических характеристик оборудования, использования цифровых технологий, всесторонней государственной поддержки) содействовал уменьшению удельных капитальных затрат и расходов на обслуживание ВЭУ, снижению себестоимости энергии, генерируемой ВЭУ. Так в 2010-2017 гг. удельные капитальные затраты для наземных ВЭУ в Китае и Индии в среднем уменьшились на 11 и 16%, соответственно, и сегодня являются самыми низкими в мире. В Бразилии они сократились на 15% и не превышают средний уровень удельных капитальных затрат в ветроэнергетике развитых стран (см. табл. 3).

Наряду с уменьшением удельных капитальных затрат существенно снизилась и себестоимость электроэнергии, вырабатываемой ВЭС. В 2010-2017 гг. в среднем по странам мира она уменьшилась на 23% и сегодня находится в диапазоне \$0,05-0,11/кВт·ч. В девяти странах мира себестоимость электроэнергии наземных ВЭС достигла паритета с генерацией энергии на основе традиционных ресурсов (Китай, Индия, США, Германия, Испания, Бразилия, Великобритания, Франция, Канада). При этом в ветроэнергетике Китая, Индии, Бразилии добились более значительного снижения издержек производства, чем в большинстве развитых государств. В странах Европы, например, средняя нормативная себестоимость электроэнергии (Levelised cost of electricity), генерируемой наземными ВЭС, составляет \$0,08-0,09/кВт·ч. Тогда как в Китае, Индии, Бразилии она находится в пределах \$0,05-0,07/кВт·ч, а новые ветроэнергетические мощности позволяют снизить себестоимость электроэнергии до менее \$0,05/кВт·ч. В Бразилии, например, на тендерах 2017 г. энергия от ВЭС предлагалась по цене \$0,03-0,05/кВт·ч [8]. В Индии, на аукционе «зеленых» проектов в штате Гуджарат (декабрь 2017 г.), из 18 энергетических компаний-участников победителями стали компании, предлагавшие за энергию, генерируемую ВЭУ, цену в 2,43 рупии (\$0,03/кВт·ч). Показательно, что эта цена ниже тарифа, по которому в стране продается электроэнергия, генерируемая на основе сжигания угля (3,2 рупии/кВт·ч).

Дальнейшее развитие ветроэнергетики и повышение конкурентоспособности отрасли в странах БРИКС связывают, прежде всего, с новыми научными разработками и инженерными решениями по следующим направлениям:

- разработка новых методов измерений и геофизических наблюдений для оценки имеющихся ресурсов ветровой энергетики, расширение и систематизация существующих баз данных;
- совершенствование ключевых компонентов ветротурбин, включая лопасти, механические системы, системы контроля и управления;
- создание прочных недорогих композитных материалов для несущих конструкций и ключевых компонентов ветроустановок (важная роль отводится таким материалам как оптическое волокно, стеклопластик и др.);

Таблица 3

Средние удельные капитальные затраты для ВЭУ и нормативная себестоимость электроэнергии, генерируемой наземными ВЭС, 2017 г.

Страны	Удельные капитальные затраты*, (\$/кВт)	Нормативная себестоимость**, (\$/кВт·ч)
Бразилия	1994	0,06
Россия	...	...
Индия	1121	0,05
Китай	1245	0,05
ЮАР	1990	0,07
ЕС	1995	0,08
США	1990	0,06
Мир в целом	1447	0,05-0,11

Примечание: \* — включая стоимость турбины, расходы на транспортировку и монтаж, консультации, подключение к сети и прочие затраты; \*\* — средняя себестоимость производства электроэнергии, определяемая как отношение общего объема затрат на генерацию электроэнергии в течение жизненного цикла энергообъекта к общему объему произведенной электроэнергии объектом в течение его жизненного цикла.

Источник: составлено автором по [14]

- совершенствование пакета программного обеспечения для моделирования и дизайна новых ВЭС, адаптированных к условиям сложной местности (например, холмистых и гористых ландшафтов);
- разработка ветрогенераторов для зон слабых ветров;
- разработка новых практик дистанционного обслуживания ветроустановок с использованием искусственного интеллекта (в том числе для очистка лопастей от льда и снега и т. п.);
- создание деталей и компонентов ветротурбин с помощью аддитивных технологий;
- отдельным направлением НИОКР в области оффшорной ветроэнергетики является разработка и планирование инфраструктуры и логистики портов, а также создание специальных транспортных судов для перевозки и монтажа ветротурбин морского базирования; совершенствование технологий защиты установок от тайфунов и др. [9, 14, 15].

## Солнечная энергетика

Солнечная энергетика развивается еще более высокими темпами, чем ветровая. Общая установленная мощность солнечных электростанций в мире с 2007 г. возросла в 25 раз и к 2018 г. составила 402 ГВт. В странах БРИКС (кроме России) темпы развития этой отрасли значительно опережали среднемировые показатели. Например, в ЮАР за истекшее десятилетие суммарная установленная мощность в солнечной энергетике увеличилась в 112 раз, в Бразилии — 1100, в Китае и Индии возросла в 1156 и 1928 раз, соответственно. Китай с 2015 г. является неизменным мировым лидером по объему установленной мощности в солнечной энергетике (более трети суммарной установленной мощности в мире) [12, 13].

Крупным игроком на рынке солнечной энергетике становится Индия, располагая установленной мощностью в 13,8 ГВт (шестое место в мире). Нарращивает потенциал отрасли ЮАР — уверенно лидирую по суммарной установленной мощности на африканском континенте (2,1 ГВт). В Бразилии первая солнечная электростанция мощностью 1 МВт была открыта в августе 2011 г., а в августе 2018 г. в стране уже действовало более 100 фотоэлектрических станций суммарной мощностью 1,5 ГВт (второе место на южноамериканском континенте после Чили) [11, 12].

Бурный рост солнечной энергетике в Китае, Индии, Бразилии и ЮАР обусловлен прежде всего крупномасштабными инвестициями, а в Китае и Индии в последние годы надежным подспорьем стало также отечественное производство оборудования для отрасли и формирование специализированных кластеров. В 2017 г. Китай инвестировал в солнечную энергетике \$86,5 млрд — это больше, чем все остальные страны мира вместе взятые. Значительные средства вкладывают в развитие отрасли Индия и Бразилия — \$6,7 млрд и \$2,1 млрд, соответственно, 4 и 1,3% мирового объема инвестиций в отрасль (см. рис. 2).

Сегодня солнечная энергетика в странах БРИКС обеспечена современной высокотехнологичной производственной базой. Показательно, что доля новых

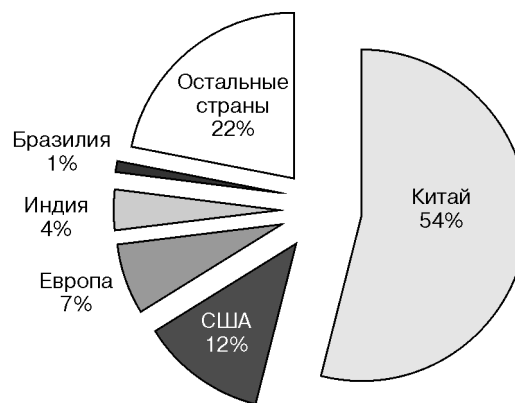


Рис. 2. Доля стран в мировом объеме инвестиций в солнечную энергетику, 2017 г., %

Источник: рассчитано и составлено автором по [9]

мощностей (введенных в строй в 2017 г. и позже) в общей установленной мощности в солнечной энергетике Китая составляет 45%, Индии — 50%, Бразилии — 80%, ЮАР — более 90%.

Как и в ветроэнергетике, характерной чертой солнечной энергетике является рост масштабов производства. Создаются солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС) мощностью более 100 МВт: в Китае работает 8 таких станций, в Индии — 6. Практика этих стран подтвердила установленную ранее зависимость между объемом производства СФЭС и затратами на производство единицы энергии: удвоение объема производства СФЭС обеспечивает снижение стоимости 1 кВт·ч генерируемой энергии в среднем на 19,4% [14].

Снижение стоимости электроэнергии, генерируемой СФЭС, обусловлено также внедрением цифровых технологий и искусственного интеллекта. «Умные» установки позволяют осуществлять дистанционный мониторинг оборудования, выявлять повреждения и загрязнения модулей, нарушения в работе инвертеров, отклонения трекеров от заданного наклона, при этом сокращаются затраты времени на проверку оборудования и устранение дефектов, повышается КИУМ. Искусственный интеллект определяет конфигурацию солнечных ферм вплоть до азимутальной ориентации и оптимального угла наклона каждой солнечной панели, обеспечивая оптимальную генерацию (практически без участия человека). Практика показывает, что использование цифровых технологий и искусственного интеллекта позволяют снизить затраты на генерацию энергии СФЭС на 10-15%.

В 2017 г. по сравнению с 2010 г. себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии, генерируемой СФЭС, по данным Международного агентства по возобновляемой энергетике, снизилась в среднем на 71%. При этом наиболее значительное снижение обеспечено в Китае (73%) и Индии (70%). Для сравнения: в США это снижение составило 40%, Германии — 64%. В 2017 г. на рынках Китая и Индии, электроэнергия от СФЭС торговалась из расчета \$0,06-0,07/кВт·ч [15].

В 2018 г. расходы на производство электроэнергии от СФЭС продолжили снижение. По данным агентства Bloomberg, в Индии, например, они опустились до \$0,04/кВт·ч, и были ниже стоимости энергии от газотурбинных станций комбинированного цикла

(\$0,09/кВт·ч) и угольной генерации (\$0,07/кВт·ч). В Китае (на северо-западе страны) электроэнергия от СФЭС продавалась по цене 0,316 юаня/кВт·ч (5 центов), что ниже базовой цены на электроэнергию от местных угольных электростанций (0,325 юаня/кВт·ч) [16]. В Бразилии и ЮАР электроэнергия от СФЭС, пока не может конкурировать с генерацией на основе традиционных источников энергии, однако и в этих странах издержки фотоэлектричества снизились в 2017 г. до \$0,20/кВт·ч и \$0,18/кВт·ч, соответственно (см. табл. 4).

Производство энергии солнечными термодинамическими установками (СТУ) также с каждым годом обходится все дешевле. В 2010-2017 гг. затраты генерации энергии СТУ в странах мира в среднем уменьшились на одну треть до \$0,22/кВт·ч. При этом в Индии они снизились с \$0,36 до 0,21/кВт·ч, в Китае — с \$0,27 до 0,16/кВт·ч. В ЮАР и Бразилии издержки генерации энергии СТУ также заметно сократились и находятся в диапазоне \$0,25-0,28/кВт·ч [15].

Дальнейшее снижение издержек производства в солнечной энергетике и повышение конкурентоспособности отрасли во многом связано с новыми исследованиями и разработками, на которых в последние годы сфокусировано внимание ученых и инженеров стран БРИКС, в том числе:

- улучшение дизайна и качественных характеристик солнечных элементов;
- разработка методов комплексной диагностики полупроводниковых материалов, микро- и наноструктур для солнечной энергетике;
- разработка методов оценки экономической эффективности различных технологий фотовольтаики;
- освоение производства высокоэффективных гетероструктурных солнечных модулей;
- разработка инновационных методов получения эффективных тонкопленочных солнечных элементов на основе перовскитов;
- разработка гибких солнечных панелей, способных принимать практически любую форму;
- разработка солнечных модулей, способных генерировать энергию в условиях экстремально низких температур ( $-60^{\circ}\text{C}$ ) и др. [1, 3, 14, 15].

Таблица 4  
Средние удельные капитальные затраты для СФЭС\* и нормативная себестоимость электроэнергии, генерируемой СФЭС, 2017 г.

Страны	Удельные капитальные затраты, \$/кВт	Нормативная себестоимость, \$/кВт·ч
Бразилия	2550	0,20
Россия	...	...
Индия	1150	0,07
Китай	1160	0,06
ЮАР	2500	0,18
ЕС	1900	0,13
США	2100	0,12
Мир в целом	2000	0,10

Примечание: \* — установки коммерческого масштаба.

Источник: составлено автором по [15]

## Перспективы

Комплексная автоматизация производства, использование цифровых технологий, искусственного интеллекта, а также современных материалов обусловили существенное снижение издержек производства энергии на основе ВИЭ. В ветровой и солнечной энергетике они достигли паритета с генерацией электроэнергии на базе традиционного и ядерного топлива, стоимость которой в 2017 г. составляла от \$0,05 до 0,17/кВт·ч (в зависимости от вида топлива и страны). Снижение издержек производства «чистой» энергии дало возможность лидерам «зеленого» бизнеса — Китаю и Индии — в 2017-2018 гг., существенно уменьшить субсидирование отрасли при том, что объем субсидий на использование ископаемых источников энергии вдвое превосходил субсидирование альтернативных источников [14].

Повышение конкурентоспособности технологий генерации «чистой» энергии открыло новые возможности странам БРИКС в формировании инновационной энергетике, позволило им внести коррективы в программы освоения ВИЭ. Бразилия и ЮАР поставили задачу увеличить долю ВИЭ в производстве электроэнергии к 2030 г. соответственно до 23 и 9% (без учета ГЭС). Индия предполагает увеличить долю ВИЭ к 2030 г. до 40% (без учета ГЭС, мощностью более 25 МВт). Россия наметила достичь 4,5% вклада ВИЭ (без учета ГЭС, мощностью более 25 МВт) в генерацию электроэнергии к 2020 г. Китай наметил к 2020 г. задачу обеспечить долю «зеленого» электричества в производстве электроэнергии (27%) уже выполнил [14].

К 2050 г., по мнению специалистов компании Bloomberg NEF, на энергетических рынках Китая и Индии, доля «зеленой» энергии составит 62 и 75%, соответственно. Крупнейшая нефтегазовая компания Норвегии Equinor оценивает долю «зеленой» энергии на энергетических рынках Китая и Индии скромнее. По мнению специалистов этой компании к 2050 г. «вклад» ВИЭ в производство электроэнергии в Китае составит около 32%, в Индии — 23-33% [7, 10].

Не оспаривая прогнозы зарубежных специалистов относительно долгосрочных перспектив развития возобновляемой энергетике в странах группы БРИКС, не следует, однако, переоценивать ее роль в обозримой перспективе. Освоение ветровой и солнечной энергии наталкивается на ряд технических, административных и экономических барьеров, связанных:

- с интеграцией объектов нетрадиционной энергетике в единую электрическую сеть;
- трудностями получения разрешений (лицензий) на строительство объектов нетрадиционной энергетике, высокими рисками для частных инвесторов;
- созданием шумового загрязнения среды, помех в работе радио, телевидения и других систем связи;
- нарушением миграционных путей птиц;
- использованием больших земельных площадей под ВЭС и СФЭС и др.

Что касается гидроэнергетики, то она представлена в основном крупными объектами, находящимися в государственном управлении, генерирующими электроэнергию с невысокими издержками (сред-

Генерация электроэнергии по видам источников, 2017 г., %

Страны	Ископаемые ресурсы (уголь, нефть, газ)	Ядерное топливо	Возобновляемые источники, в том числе				Всего
			Гидроресурсы	Энергия ветра	Энергия солнца	Прочие источники*	
Бразилия	18,4	1,9	62,1	7,0	0,4	10,2	100,0
Россия	64,1	18,6	16,8	0,0	0,0	0,5	100,0
Индия	81,9	2,3	8,9	2,6	2,3	2,0	100,0
Китай	69,6	3,8	17,8	4,0	2,8	2,0	100,0
ЮАР	88,9	6,2	0,7	1,3	1,2	1,7	100,0
Мир	63,3	10,2	16,4	5,6	2,1	2,4	100,0
ЕС	42,9	25,3	9,1	9,3	3,4	10,0	100,0

Примечание: \* — в том числе возобновляемые (геотермальная энергия, биотопливо, энергия приливов, волн, и др.).

Источник: рассчитано и составлено автором по [4, 6, 11, 13, 14]

няя стоимость электроэнергии от ГЭС в странах БРИКС — менее \$0,05/кВт·ч). Вместе с тем, основные фонды этой сферы возобновляемой энергетики к настоящему времени имеют значительный физический и моральный износ, в связи с чем издержки генерации в этой сфере в обозримой перспективе скорее будут возрастать. Примечательно, что на энергетических рынках БРИКС доля ветровой и солнечной энергетики с их мощным инновационным потенциалом развития прирастала в основном за счет утраты на этом рынке доли ГЭС. Тогда как потребление ископаемого топлива оставалось практически неизменным или продолжало расти [4]. В результате при росте доли ветровой и солнечной энергетики, доля возобновляемых источников энергии (с учетом ГЭС) в производстве электроэнергии не возросла.

В заключение можно констатировать, что в последние десятилетия энергетика стран БРИКС развивалась в русле глобального мейнстрима. Опережающее развитие ветровой и солнечной энергетики обусловили увеличение доли этих новых отраслей в производстве электроэнергии. Если в 2007 г. совокупный «вклад» этих сфер возобновляемой энергетики в генерацию электроэнергии составлял от 0,0 в ЮАР до 1,3% в Индии, то сегодня в странах пятерки он составляет от примерно 0,1 до 7,4% (см. табл. 5).

Как показывают данные табл. 5, основным источником энергопроизводства (64–90%) в БРИКС остается традиционное ископаемое топливо (кроме Бразилии) и традиционные возобновляемые источники (гидроресурсы в Бразилии). В связи с этим многочисленные прогнозы, рисующие картины абсолютного доминирования нетрадиционной энергетики в производстве электроэнергии, представляются недостаточно убедительными. В обозримой перспективе ни традиционная, ни атомная энергетика в странах БРИКС не утратят своего значения из-за огромной роли, которую они и созданная для них инфраструктура играют в экономике и обществе. Ни одна из энерготехнологий не имеет абсолютных преимуществ и не в состоянии решить все задачи, стоящие перед экономикой и обществом этих стран. Энерготехнологии, опирающиеся на возобновляемые энергоресурсы, органическое и ядерное топливо, следует рассматривать как дополняющие друг друга в процессе формирования оптимальной

структуры энергопроизводства и энергопотребления, отвечающей задачам современной цивилизации. Необходимо в полной мере использовать возможности каждой энерготехнологии, каждого источника энергии, с учетом их ресурсного обеспечения, технологического и регионального предпочтения. Непреходящее значение в реализации этих возможностей имеет обмен накопленным опытом и активное взаимодействие стран БРИКС в формировании инновационной энергетики, обеспечивающей эффективное использование традиционных и альтернативных источников энергии.

#### Список использованных источников

1. В. Н. Вербицкий, И. А. Няшаев, Д. А. Андроников и др. Применение квазиоднокристаллических подложек для тонкопленочных гетеропереходных солнечных элементов//Иновации. 2018. № 5.
2. В. П. Клавдиенко. Формирование инновационной энергетики в Китае (основные черты современного этапа)//Иновации. 2011. № 8.
3. С. В. Ратнер, К. А. Загорская. Оценка экологической эффективности конкурирующих технологий фотовольтаики//Иновации. 2017. № 9.
4. BP. Statistical Review of World Energy. Full Report. 2018.
5. Brasil avança em energia eólica com ventos entre os melhores do mundo//Folha de Sao Paulo. 19.02.2018.
6. Energia eólica no Nordeste cresce e na época de secas//Metro Jornal. 05.02.2018.
7. Energy Perspectives 2018. Long-term Macro and Market Outlook. Equinor. Norway. 2018.
8. V. Dezem. Melhor vento do mundo gera energia eólica mais barata do Brasil//Economica. 10.01.2018.
9. Global Trends in Renewable Energy Investment 2018. FS-UNEP. Frankfurt am Main. 2018.
10. New Energy Outlook 2018. Bloomberg NEF. 2019.
11. Mercado de energia solar no Brasil. Portal solar. <https://www.portalsolar.com.br/mercado-de-energia-solar-no...>2018.
12. Renewable Energy Capacity Statistics. IRENA. Abu Dhabi. 2018.
13. Renewable Energy Statistics. IRENA. Abu Dhabi. 2018.
14. Renewables 2018. Global Status Report. Paris. 2018.
15. Renewable Power Generation Cost. IRENA. 2018.
16. Tumbling Costs for Wind, Solar, Batteries Are Squeering Fossil Fuels//Bloomberg NEF. July 28, 2018.

#### Renewable energy in BRICS: contours of mainstream

V. P. Klavdienko, doctor of science (economy), leading researcher at Moscow state university n. a. M. V. Lomonosov.

The article examines the development trends of renewable energy in the BRICS countries. The focus is on wind and solar energy. The factors of accelerated growth of these areas of renewable energy. The main directions of research, development and innovative technological transformations in these industries are disclosed. The dynamics of the costs of generation and the cost of electricity from wind and solar stations in various countries of the world are analyzed. The forecast estimates of the development of wind and solar energy in the BRICS countries up to 2050 are presented.

**Keywords:** renewable energy, electricity cost, energy R&D, technology innovation, BRICS countries.