

# Насколько высок технически реализуемый потенциал ВИЭ в России?

Наиболее перспективные регионы для развития ветровой, солнечной и малой гидро- генерации, биоэнергетики



**Борис Ермоленко,** ведущий эксперт центра прикладных исследований региональной и муниципальной энергетики Института энергетики НИУ «Высшая школа экономики»



**Георгий Ермоленко,** директор Центра развития возобновляемых источников энергии Института энергетики НИУ «Высшая школа экономики»



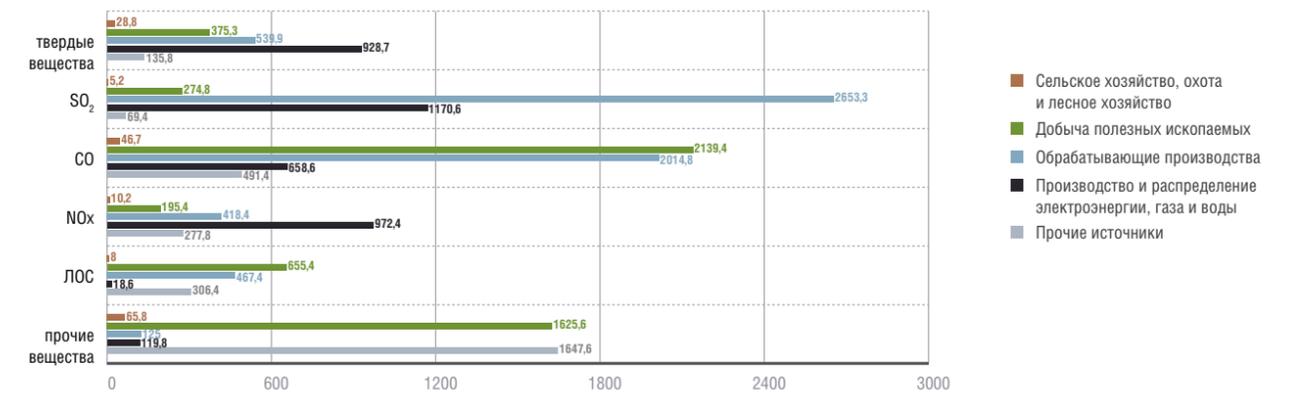
**Лилиана Проскурякова,** ведущий научный сотрудник Лаборатории исследований науки и технологий ИСИЭЗ НИУ «Высшая школа экономики»

Развитие тех или иных видов энергоресурсов в странах и регионах обусловлено приоритетами государственной политики, уровнем экономического и технологического развития, техническим потенциалом ископаемых и возобновляемых энергоресурсов, а также состоянием окружающей среды. Среди регионов мира в общем объеме потребляемых первичных энергоресурсов наиболее высока доля нефти (более 40%) на Ближнем Востоке, в Южной и Центральной Америке и в Африке; природного газа — на Ближнем Востоке, Западной Европе и Евразии и в Северной Америке; угля — в Азиатско-Тихоокеанском регионе; гидроэнергии — в Центральной и Южной Америке, возобновляемых источников энергии (ВИЭ) — в Северной Америке, Западной Европе и Евразии (данные на 2016 год компании BP и Международного энергетического агентства).

Триумфальному восхождению ВИЭ в мире способствует ускоренное падение себестоимости как самих технологий, так и производимой электроэнергии. За последние пять лет стоимость выработки солнечной энергии сократилась на 80%, и сегодня при отсутствии субсидий цены упали ниже 2 центов за 1 кВт·ч и продолжают снижаться. При этом стоимость единицы установленной мощности только за последний год сократилась в 2–3 раза. В 30 странах мира себестоимость солнечной и ветровой генерации опустилась ниже генерации на ископаемых энергоресурсах. Так, в Германии в 2016 году несубсидируемая ветровая генерация стала самой дешевой, а солнечная фотоэлектрическая генерация сравнялась по объему выработанной электроэнергии с атомными электростанциями. С учетом снятия требований резервирования мощности, во всех регионах мира возникают и быстро растут новые рынки централизованной и распределенной генерации на ВИЭ.

Страны — нетто-экспортеры и нетто-импортеры ископаемых энергоресурсов находятся в сильной зависи-

Рис. 1. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу стационарными источниками в 2015 году, тыс. т/год



мости от колебаний цен на мировых рынках и стараются минимизировать эти риски. Импортеры стремятся диверсифицировать источники поставок энергоресурсов или перейти к самообеспечению. По этой причине США интенсифицировали добычу и возобновили экспорт углеводородов, а в Германии, которая импортирует около 71% углеводородов из всего объема первичного потребления энергии (REA 2014 Dependence on imports of Germany's energy supply), в 2010 году была принята государственная программа, направленная на повышение доли ВИЭ в суммарном конечном энергопотреблении с 10% в 2010 году до 60% в 2050 году (доля ВИЭ в выработке электроэнергии должна вырасти до 80%).

В 2015 году около 1,2 млрд человек (более 15% населения мира) не имели доступа к электричеству и около 3 млрд человек использовали традиционные биоресурсы (дрова, уголь) для приготовления пищи и обогрева помещений. 92% населения Земли живет в районах, где не соблюдаются рекомендуемые Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) предельные уровни загрязнения воздуха. В то же время, эти выбросы ежегодно являются причиной 7 млн (более 12%) преждевременных смертей от инсульта, болезней сердца, рака легких и других болезней.

Около 88% смертей имеют место в странах с низким и средним уровнем доходов, преимущественно в государствах западной части Тихого океана (Вьетнам, Камбоджа, Монголия) и Юго-Восточной Азии. Для преодоления проблемы требуются согласованные меры политики по стимулированию «чистого» транспорта и энергетики, системы управления отходами, повышения энергоэффективности в жилищном секторе (ВОЗ). В России суммарный объем валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух всеми источниками Российской Федерации в 2015 году оценен в 31 114,3 тыс. т/год, в том числе стационарными — 17 295,7 тыс. т/год. При этом, на топливно-

энергетический комплекс приходится около 49% валовых выбросов загрязняющих веществ (Государственные доклады «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2014 году» и «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году»). В последние годы отмечается некоторое снижение эмиссии загрязняющих веществ стационарными источниками в атмосферный воздух страны. Так суммарные объемы таких выбросов уменьшились с 17 451,9 тыс.т в 2014 году до 17 295,7 тыс.т в 2015 году, т.е. всего лишь на 0,9%. Совместный вклад в загрязнение атмосферного воздуха процессов производства и распределения электрической энергии и добычи полезных ископаемых для всех рассматриваемых загрязняющих веществ превосходит суммарный вклад остальных секторов российской экономики (Рис. 1).

Выбросы углекислого и других «парниковых» газов в атмосферу также приводят к изменению климата, который может вызвать массовые миграции населения, привести к изменениям в географии ведения сельского хозяйства, росту экстремальных природных явлений (опустынивание, штормы и пр.), окисление океанов. Риск катастрофических последствий изменения климата на земле в результате продолжающихся выбросов в атмосферу значительных объемов парниковых газов побудил 196 стран мира собраться в конце 2015 года в Париже на саммите, посвященном глобальным климатическим изменениям. Переговоры, продолжавшиеся две недели, завершились подготовкой и утверждением нового рамочного соглашения ООН, определившего нормы выбросов парниковых газов после 2020 года и меры по предотвращению глобального потепления. Одна из главных целей нового соглашения — глобальный переход к экологически чистой энергии, полное ограничение выбросов от использования ископаемого топлива. При этом некоторые страны планируют достичь нулевых выбросов уже в ближайшие десятилетия.

Среди экспортеров углеводородов, с одной стороны, обострилась конкуренция за традиционные рынки. С другой стороны, они активно инвестируют в развитие чистых технологий. В частности, в Саудовской Аравии принята долгосрочная программа по обеспечению лидерства в солнечной и ветровой энергетике с целью перехода к 2040 году к экспорту электроэнергии вместо ископаемых энергоресурсов. Катарская компания Qatar Solar Energy — первый вертикально интегрированный производитель солнечных панелей на фотоэлектрических элементах на Ближнем Востоке и в Северной Африке анонсировала планы по производству 2,5 ГВт солнечной энергии ежегодно.

Взрывной рост потребления тепловой и электрической энергии в городах наблюдается в регионах с интенсивной урбанизацией — в Азии, Африке и на Ближнем Востоке. Если нынешние тенденции, связанные с увеличением числа городов и населения в них, продолжатся, энергопотре-

### Взрывной рост потребления тепловой и электрической энергии в городах наблюдается в регионах с интенсивной урбанизацией — в Азии, Африке и на Ближнем Востоке

бление в городах с 2005 года по 2050 год увеличится более чем втрое. Это особенно актуально в Китае, где урбанизация еще не достигла 50% и правительство прогнозирует перемещение в города дополнительно 350 млн человек в течение следующих 15 лет. Новые городские жители будут стремиться удовлетворить свои потребности в жилье, образовании, медицинском обслуживании, бытовой технике, энергоснабжении, транспорте, питании, одежде, воде, канализации и других услугах, что приведет к многократному росту энергопотребления.

В связи с необходимостью поиска ответов на существующие вызовы ориентиры развития мировой экономики меняются: на смену экстенсивной ресурсоемкой модели приходит «зеленый рост» и водородная экономика, которые опираются на распределенную и малую генерацию, «умные» активно-адаптивные распределительные сети. Не только международные организации и национальные правительства, но и компании осознают неизбежность и преимущества новой парадигмы развития. Международные решения по климату и выбор отдельных стран в пользу «зеленого роста» дали значительный стимул развитию низкоуглеродных технологий водородной энергетике, аккумулирования энергии, улавливания и хранения углерода, солнечной и ветровой генерации.

Этот вектор мирового развития стал вызовом для России, ориентированной на преимущественно ископаемые виды топлива, атомную энергетiku и крупную гидрогенерацию. Отсутствие в стране программ развития возобновляемой энергетики в предшествующие годы объяснялось наличием больших запасов топлива и многолетней привычкой использовать технически проработанные традиционные методы получения энергии. Ограниченность ресурсов ценного химического сырья (природный газ, нефть и уголь), доминирующий вклад углеводородной энергетики в локальное и глобальное загрязнение окружающей среды и изменение климата, высокий уровень водопотребления и ряд других негативных экологических факторов не склоняли правительство России и инвесторов к постепенному замещению тепловых электростанций, использующих ископаемое органическое топливо, на экологически безопасные альтернативные источники энергии.

Несмотря на доминирование традиционной энергетики, в последние годы ситуация в России стала заметно меняться. Понимание того, что ни одна страна не в состоянии решать климатические и ресурсные проблемы, действуя в рамках привычного экономического уклада, при котором экономика первична и превалирует над экологическими и социальными угрозами и вызовами, побуждает большинство стран, включая и Россию, разрабатывать экономически обоснованные программы развития региональной энергетики, ориентируясь на широкое использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Необходимость развития прогрессивных технологий, повышения энергоэффективности экономического развития, логика международного сотрудничества — эти и другие соображения способствуют в определенной степени активизации национальных усилий по созданию основ зеленой энергетики, движению к низкоуглеродной экономике.

Стимулом развития в России возобновляемой энергетики стало также наличие обширных районов, где по экономическим, экологическим и социальным условиям применение ВИЭ представляется целесообразным и экономически выгодным. К ним относятся, в первую очередь, зоны, обладающие большим потенциалом возобновляемых источников энергии, а также зоны децентрализованного энергоснабжения, площадь которых составляет около 70% территории страны, где по разным подсчетам проживает от 10 млн до 20 млн человек. Производство электроэнергии в данных районах осуществляется, в основном бензиновыми и дизельными генераторами малой мощности, работающими на дорогостоящем привозном органическом топливе. В связи с этим себестоимость производства электроэнергии в этих регионах превышает 60–80 руб./кВтч, а в отдельных населенных пунктах достигает 125 руб./кВтч, что негативно сказывается на уровне обеспеченности населения и производственно-хозяй-

ственных объектов электрической энергией, комфортности быта, эффективности бизнеса.

Кроме того, высоки перспективы развития ВИЭ в населенных пунктах, изолированных от систем централизованного энергоснабжения в результате отключения пришедших в негодность электрических сетей и отсутствия финансовых средств у сетевых компаний. Целесообразно развивать ВИЭ-генерацию в зонах централизованного энергоснабжения с большим дефицитом мощности и значительными материальными потерями из-за частых отключений потребителей энергии, а также в районах с существенным моральным и физическим износом традиционного энергетического оборудования в системах централизованного и децентрализованного энергоснабжения. Также ускоренное наращивание доли ВИЭ-генерации оправданно в населенных пунктах со сложной экологической обстановкой, что обусловлено вредными выбросами в атмосферу от различных промышленных и городских объектов, работающих на ископаемом топливе, в зонах рекреации, и в зонах с проблемами обеспечения энергией индивидуального жилья, фермерских хозяйств, мест сезонной работы, садово-огородных участков.

При децентрализованном энергоснабжении с использованием местных возобновляемых ресурсов появляется возможность:

- сократить объемы транспортировки дорогостоящего топлива в удаленные и труднодоступные районы при одновременном повышении надежности энергоснабжения;
- отказаться от строительства относительно дорогостоящих (капиталоемких) линий электропередач;
- резко снизить стоимость инженерных коммуникаций за счет значительного уменьшения их протяженности с соответствующим сокращением потерь энергии, эксплуатационных и ремонтных издержек;
- исключить преобразование электрической энергии на высоковольтный уровень с целью транспортировки ее на значительные расстояния, уменьшить потери в сетях.

Наличие экологических угроз и социально-экономических предпосылок развития возобновляемой энергетики побудило правительство РФ обратить более пристальное внимание на развитие этого сегмента ТЭК, декларировать необходимость увеличения доли ВИЭ в энергогенерации, скорректировать федеральное законодательство в области электроэнергетики в части возобновляемой энергетики. В результате, в России был сформирован механизм поддержки ВИЭ на рынке электроэнергии, включающий:

- установление целевых показателей развития ВИЭ по видам до 2024 года;
- установление целевых показателей степени локализации производства основного и (или) вспомогательного генерирующего оборудования, применяемого при про-



Солнечная электростанция расположена на территории двух площадок, непосредственно прилегающих к аэропорту Горно-Алтайска, и занимает площадь 68,5 га

- производство электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии;
- торговлю мощностью объектов ВИЭ на оптовом рынке в рамках целевых показателей развития ВИЭ по видам при установленных предельных величинах капитальных затрат на возведение 1 кВт установленной мощности объекта ВИЭ по видам;
- учет в составе предельных капитальных затрат возврата на вложенный капитал и изменение курса валют в России;
- обязательность для сетевых организаций покупки электроэнергии на розничном рынке у объектов ВИЭ в размере 5% от электрических потерь в сетях;
- компенсация до 50% стоимости технологического присоединения к электрическим сетям объектов ВИЭ.

27 декабря 2016 года было проведено заседание Государственного совета по вопросу «Об экологическом развитии Российской Федерации в интересах будущих поколений». 24 января 2017 года по итогам этого заседания президент РФ Владимир Путин утвердил перечень поручений правительству страны, в числе которых необходимость «предусмотреть при разработке документов стратегического планирования и комплексного плана действий правительства РФ на 2017–2025 годы в качестве

Табл. 1. Топливо-энергетический и нефтяной потенциалы возобновляемых источников энергии

Технический потенциал					
Топливный и энергетический потенциал			Нефтяной потенциал		
Энергия	Тепло	Топливо	Ресурсосберегающий	Экологический	
млн МВт*ч/год	млн Гкал/год	млн т/год	млн т/год	СО-экв., млн т/год	СО <sub>2</sub> -экв., млн т/год
87 747,7	202 293,0	30 060,7	21 942,1	27 425,7	65 826,4
17 100,9	39 645,0	5 891,2	4 300,2	5 374,8	12 900,5
2 896,9	5 783,6	859,4	627,3	784,1	1 882,0
246 592,9	571 677,3	84 951,3	62 008,2	77 504,7	186 024,6
34 753,2	80 568,6	11 972,5	8 739,0	10 923,0	26 217,1
584,5	1 355,1	198,7	145,1	181,3	435,2

Табл. 2. Угольный и газовый потенциалы возобновляемых источников энергии

Виды ВИЭ	Технический потенциал					
	Угольный потенциал			Газовый потенциал		
	Ресурсосберегающий	Экологический		Ресурсосберегающий	Экологический	
	млн т/год	СО-экв., млн т/год	СО <sub>2</sub> -экв., млн т/год	млрд м <sup>3</sup> /год	СО-экв., млн т/год	СО <sub>2</sub> -экв., млн т/год
Солнечная энергия	39 141,6	861 099,3	117 424,8	25 969,0	5 401,8	51 938,0
Ветровая энергия	7 670,9	168 756,6	23 012,7	5 105,1	1 061,9	10 210,1
Биоэнергия	1 119,1	24 619,1	3 357,2	744,8	154,9	1 489,5
Геотермальная энергия	110 613,6	2 433 455,1	331 840,8	73 614,6	15 312,5	147 229,2
Низкопотенциальное тепло	15 589,2	342 955,7	46 767,5	10 374,8	2 158,0	20 749,5
Малая гидроэнергетика	258,8	5 693,0	776,3	172,2	35,8	344,4

одной из основных целей переход России к модели экологически устойчивого развития, обратив особое внимание на установление целевых показателей энергоэффективности экономики в целом и по основным её секторам, а также на реализацию комплекса мер по повышению такой энергоэффективности, включая создание и использование возобновляемых источников энергии, развитие микрогенерации на основе возобновляемых источников энергии».

Важнейшей задачей, без решения которой невозможно оценить перспективы развития возобновляемой энергетики в России в целом и в конкретных ее районах, сформировать региональные программы создания централизованных и распределенных систем энергоснабжения с использованием ВИЭ, обосновать целесообразность осуществления инвестиций в реализацию этих программ, является оценка потенциала возобновляемых источников энергии на всех доступных к использованию территориях.

Поэтому, группа экспертов НИУ ВШЭ, МГУ и ИВТ РАН в 2015–2017 годах провела исследования ресурсного потенциала развития ВИЭ в России, целью которого было оценить технические энергетические потенциалы, а также

ресурсосберегающий и экологический потенциалы ВИЭ, доступные при современном развитии технологий генерации на основе ВИЭ.

Проведенный анализ технического потенциала ВИЭ и результатов авторских расчетов потенциала сбережения газа, каменного угля и топочного мазута в результате использования вместо них энергии ВИЭ, с использованием статистических данных расхода условного топлива электростанций на соответствующем органическом топливе, показали, что общий технический потенциал всех возобновляемых источников энергии порядка 133 935 млн т/год при замене ими эквивалентного объема нефтепродуктов позволил бы сэкономить около 97 760 млн т нефтепродукта в год, при замещении угля — 174 390 млн т/год. Аналогичная замена природного газа сэкономит 115 980 млрд куб. м/год этого ценного природного ресурса. Таблицы 1 и 2 демонстрируют результаты оценки экономии нефти, угля, природного газа при замещении ископаемых органических топлив различными видами возобновляемых энергетических ресурсов в рамках их технического потенциала предотвращения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в пересчете на СО- и СО<sub>2</sub>-эквиваленты.

Проведенная оценка ветроэнергетического потенциала показала, что развитие ветровой энергетики наиболее перспективно в Калмыкии, Ставропольском крае, Ростовской области, Краснодарском крае, Волгоградской и Астраханской областях, Северокавказском ФО, Северо-Западном, Уральском, Сибирском и Дальневосточном ФО, на территориях, располагающихся за полярным кругом, и в прибрежных зонах северо-востока страны, а также на Камчатке и Сахалине.

Многообещающими для использования энергии солнца можно назвать следующие регионы: Калмыкия, Ставропольский край, Ростовская область, Краснодарский край, Волгоградская область, Астраханская область и другие регионы на юго-западе, Алтай, Приморье, Читинская область, Бурятия и другие регионы на юго-востоке. Причем некоторые районы Западной и Восточной Сибири и Дальнего Востока превосходят уровень солнечной радиации южных регионов. Максимальным суммарным энергетическим потенциалом биомассы обладают Иркутская область, Красноярский край (Юг), Вологодская область, Архангельская область, Кировская область, Пермский край, Ленинградская область, Республика Коми, Свердловская область, минимальным — Республика Саха (Якутия, Север), Ненецкий АО, Чукотский АО, Магаданская область, Мурманская область.

Максимальным суммарным энергетическим потенциалом гидроресурсов малых рек обладают: Сибирский, Дальневосточный, Северо-западный, Южный, Уральский и Северокавказский федеральные округа. Активные термальные воды в России распространены в Бурятии, на Чукотке, в Якутии и Западной Сибири, Краснодарском крае и Северном Кавказе.

Энергетический потенциал отходов животноводства наиболее высок в Ростовской, Белгородской, Ленинградской, Читинской и Курганской областях, Ставропольском, Алтайском, Красноярском краях, республиках Дагестан, Татарстан и Башкортостан.

Технический энергетический потенциал растительной биомассы сконцентрирован в регионах Центрального, Южного и Приволжского федеральных округов, Алтайском крае, Красноярской, Иркутской и Амурской областях.

Технический потенциал торфа велик в регионах Центрального, Северо-Западного и Уральского федеральных округов, юга Красноярской области, Камчатки, Омской, Томской и Новосибирской областей.

Предложенная классификация потенциалов ВИЭ и расчеты этих потенциалов по России позволяют сформировать систему показателей, предназначенных для решения широкого набора региональных и местных задач анализа потенциалов ВИЭ, технических и экономических возможностей их использования, потенциальных результатов энерго- и ресурсосбережения, предотвращения ло-

кального и глобального загрязнения окружающей среды, а также для разработки региональных программ развития ветроэнергетики и принятия эффективных инвестиционных решений по созданию централизованных и распределенных систем энергоснабжения с использованием ВИЭ.

Полученные результаты оценки количественных показателей видов ресурсов ВИЭ могут быть положены в основу оптимизационного моделирования и формирования информационно-аналитической базы для принятия инвестиционных и технических решений об использовании современных ВИЭ-установок в централизованных и распределенных системах энергообеспечения с учетом экономических, технических, экологических, логистических и других ограничений.

Значение технического потенциала ВИЭ, используемых для производства энергии во всех экономических федеральных округах РФ превалирует над технико-экономическими данными электростанций, что позволяет полностью покрывать расходы условного топлива на производство энергии. При использовании потенциала ресурсосбережения ВИЭ возникает значительная экономия тра-

### Использование лишь экономического потенциала позволило бы увеличить долю ВИЭ до 25–30% в энергетическом балансе России

диционных невозобновляемых энергоресурсов, которые в свою очередь могут быть использованы в тех регионах, где климатические условия не предполагают выработку энергии с помощью ВИЭ в достаточном количестве, удовлетворяющих потребности региона.

Россия обладает гигантским потенциалом для замещения ископаемого топлива альтернативными источниками энергии, что позволяет надеяться, что в перспективе страна может занять лидирующие позиции на рынке технологий использования ВИЭ, а, в конечном счете, стать крупным экспортером безуглеродных видов топлива, например, таких как биотопливо второго и последующего поколений.

Использование лишь экономического потенциала позволило бы увеличить долю ВИЭ до 25–30% в энергетическом балансе страны, высвободить для экспорта и передать существенную часть сэкономленного углеводородного сырья в сектор высокотехнологичной глубокой переработки с получением совершенно иного уровня социального и экономического эффектов. Использование потенциала ВИЭ становится особенно привлекательным с учетом минимальных выбросов парниковых газов при их использовании в сравнении с ископаемыми видами энергоресурсов.

Подготовил Александр Швед