

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ  
ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»**

**Баринова В.А., Ланьшина Т.А.**

**Методологические подходы к анализу возможностей  
развития ветровой и солнечной энергетики в России**

**Москва 2017**

Баринова В.А. заместитель директора Центра экономического моделирования энергетики и экологии ИПЭИ Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ

Ланьшина Т.А. научный сотрудник Центра экономического моделирования энергетики и экологии и Лаборатории исследования корпоративных стратегий и поведения фирм ИПЭИ Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ

Данная работа подготовлена на основе материалов научно-исследовательской работы, выполненной в соответствии с Государственным заданием РАНХиГС при Президенте Российской Федерации на 2016 год.

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в России и, в том числе, солнечной и ветровой энергетики, обсуждается в течение многих лет. Еще в 1987 году постановлением Совета Министров СССР «Об ускоренном развитии ветроэнергетической техники в 1988-1995 гг.» [1] был принят масштабный для того времени план развития ВИЭ. Однако в связи с прекращением существования СССР и экономическим кризисом 1990-х гг. этот план так и не был реализован. Возможности использования возобновляемых источников энергии в России вновь стали рассматриваться всерьез лишь в конце 2000-х гг. И только в начале 2010-х гг. России удалось перейти к практической реализации этих идей, начать выстраивание инфраструктуры нового рынка и формирование системы государственной политики.

Основные причины актуальности развития возобновляемой энергетики (как в мире, так и в России) сводятся к следующим основным пунктам:

- Использование ВИЭ оказывает благоприятное воздействие на экологическую ситуацию;
- Возобновляемая энергетика позволяет диверсифицировать источники энергии;
- В процессе перехода на ВИЭ создаются новые компании и рабочие места;
- Издержки ВИЭ уже сопоставимы с издержками традиционной электрогенерации, и они продолжают снижаться.

В последнее время в глобальном энергетическом секторе происходят важные перемены. В 2015 году в мире было возведено 134 ГВт новых электростанций, работающих на ВИЭ, на которые пришлось около 54% всех новых генерирующих мощностей<sup>1</sup>. Из них 62 ГВт прироста мощностей обеспечили ветроэлектростанции (ВЭС), 56 ГВт – солнечные электростанции (СЭС) [2]. К началу 2016 года за счет ВИЭ обеспечивалось 23,7% глобального спроса на электроэнергию (из них 16,6% - за счет гидроэнергии). Некоторые страны, города и регионы поставили перед собой цель полного или частичного перевода своих экономик на использование ВИЭ к

---

<sup>1</sup> То есть, на электростанции, работающие на ископаемом топливе, и на атомные электростанции уже сейчас приходится менее половины новых мощностей.

определенному сроку. Аналогичные цели ставят перед собой и крупнейшие корпорации, в том числе из Китая и Индии. Так, в мире начиная с 2014 года проводится кампания «RE100». Ее участники (корпорации) взяли на себя добровольные обязательства по полному переходу к использованию ВИЭ к конкретному сроку, например, к 2020 или к 2030 гг. К ноябрю 2016 года к «RE100» присоединилась 81 компания, в том числе BMW, Tata, Coca-Cola, Ikea и др. В настоящий момент эти компании находятся на полпути к заявленной цели, к 2020 году они будут обеспечивать свои потребности в электроэнергии на 80% за счет ВИЭ [3].

Результатом 21-й сессии Конференции сторон Рамочной конвенции Организации объединенных наций об изменении климата (РКИК ООН), прошедшей 30 ноября – 11 декабря 2015 года в Париже, стало Парижское соглашение об изменении климата. Этот документ оказался менее сильным, чем требовали экологи; тем не менее, эксперты считают его большим достижением в сфере климата и, возможно, поворотной точкой в развитии энергетики. В частности, результаты Парижского соглашения сокращают планы развития угольной энергетики, в том числе, в развивающихся странах [4]. Также они открывают беспрецедентные перспективы развития возобновляемой энергетики.

Ввиду этого исследование различных аспектов ВИЭ становится все более актуальным. Несмотря на то, что в России экономика возобновляемой энергетики пока еще является недостаточно изученной, имеются значимые наработки отечественных авторов в сфере оценки валового, технического и экономического потенциала ВИЭ. Наибольший вклад в развитие данного научного направления внесли такие отечественные авторы, как Безруких П.П., Николаев В.Н., Киселева С.В. и другие. В последнее время, в связи с началом развития ВИЭ в России, а также в связи с появлением новых технологических и экономических данных по возобновляемой энергетике, наблюдается потребность в обновлении имеющихся оценок технического и экономического потенциала ВИЭ. В данной работе для оценки выбран потенциал солнечной и ветровой энергетики – наиболее развитых в настоящее время отраслей возобновляемой энергетики.

Данная работа направлена на обобщение методологических подходов к расчету валового, технического и экономического потенциала солнечной и ветровой энергетики и проведение соответствующих оценок.

# ВАЛОВЫЙ, ТЕХНИЧЕСКИЙ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ СОЛНЕЧНОЙ И ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

*Основные теоретические подходы к оценке валового, технического и экономического потенциала возобновляемых источников энергии*

При оценке потенциала ВИЭ часто используется подход «снизу вверх», при котором сначала вычисляется доступный потенциал энергии, а затем на него накладываются различные ограничения – географические, климатические, технологические, экономические и т.д. [5]. Применяя этот подход, можно оценить теоретически доступный (валовый) потенциал ВИЭ, а также потенциал, доступный с учетом текущего уровня развития технологий (технический) и с учетом современной экономической ситуации (экономический).

В качестве примера использования подхода «снизу вверх» можно привести работу NREL 2015 года [6]. В этой работе оценка потенциала ВИЭ включала в себя следующие этапы:

- 1) Оценка технического потенциала. На данном этапе используются наиболее качественные доступные геопространственные данные для подсчета технически возможной мощности ВИЭ и годовой генерации электроэнергии за счет ВИЭ в каждом регионе и для каждой технологии. При этом учитываются топографические, экологические и региональные ограничения, основываясь на исследовании технического потенциала NREL 2012 года [7].
- 2) Оценка приведенной стоимости энергии (Levelized Cost of Energy, LCOE)<sup>2</sup>. Показатель LCOE рассчитывается для каждой технологии, с учетом региональных издержек и возможной эффективности электростанции или установки, а также с учетом затрат на передачу электроэнергии между регионами. На основе полученных значений строятся кривые регионального предложения. Для ресурсов, характеризующихся непостоянством, в частности,

---

<sup>2</sup> Приведенная стоимость энергии (LCOE) – средняя стоимость генерации электроэнергии, рассчитанная для всего периода эксплуатации (или жизненного цикла) электростанции. Данная оценка включает в себя все капитальные и операционные затраты.

для солнечной и ветровой энергии, издержки рассчитываются в тысячах географических точек.

- 3) Оценка приведенных альтернативных затрат (Levelized Avoided Cost of Energy, LACE). Показатель LACE оценивается как потенциальная выручка проекта по генерации электроэнергии за счет ВИЭ в определенной географической точке, то есть как объем средств, которые проект может выручить за поставку возобновляемой электроэнергии, или как объем средств, которые коммунальная компания может не тратить на закупки у поставщиков традиционной электроэнергии. В исследовании NREL 2015 года [6] в большинстве случаев в качестве LACE использовались оптовые рыночные цены на электроэнергию. Поскольку информация об оптовых ценах на электроэнергию доступна не для всех регионов США, в рассматриваемой работе также использовались другие источники данных.
- 4) Оценка экономического потенциала. На данном этапе оценивается чистый экономический эффект от внедрения ВИЭ в каждой географической точке, который определяется как разность между LACE и LCOE. Применение ВИЭ в каждой географической точке считается экономически целесообразным, если чистый экономический эффект является положительным. Для расчета экономического потенциала ВИЭ во всей стране суммируется технический потенциал всех географических точек с положительным чистым экономическим эффектом от внедрения ВИЭ.

Валовый и технический потенциал солнечной и ветровой энергетики обычно оценивается с использованием данных наземных измерений и/или с использованием спутниковых данных. В некоторых научных работах также используются модели искусственных нейронных сетей для прогнозирования скорости ветра [8] и модели прогнозирования скорости ветра с использованием результатов метеорологических наблюдений в соседних регионах [9]. Следует отметить, что в целях оценки потенциала ветроэнергетики в стране или в регионе (а не в конкретной точке) перечисленные методы скорее являются дополнительными – то есть, методами, с помощью которых можно заполнить пробелы в имеющихся данных.

В России большое внимание проблемам оценки потенциала ВИЭ уделяется в работах Безруких П.П., Киселевой С.В. и Николаева В.Г., в соавторстве с Гридасовым М.В., Коломиец Ю.Г., Попелем О.С., Рафиковской Ю.Ю., Тарасенко О.Б.,

Тереховой Е.Н. и другими авторами. Российскими исследователями неоднократно составлялись атласы и справочники ресурсов солнечной и ветровой энергетики или всех ресурсов ВИЭ, содержащие методологию, а также результаты оценки этих ресурсов [10], [11], [12], [13]. Результаты некоторых оценок технического и экономического потенциала солнечной и ветровой энергии в России приводятся в таблице ниже (Таблица 1).

Таблица 1 – Оценки потенциала солнечной и ветровой энергетики в России

Вид ВИЭ и исследование	Потенциал, млн. т.у.т./год (ТВт*ч/год)*		
	Валовый	Технический	Экономический
Энергия ветра			
1999 г., [16]	26 000	2 000	10
2007 г., [12]	886 256 (2 606 635)	2 216 (6 517)	11 (33)
2011, [15]		(11 473)	(55,23)
Солнечная энергия			
1999 г., [16]	2 300 000	2 300	12,5
2007 г., [12]	2 205 400	9 676	3
Все ВИЭ			
1999 г., [16]	2 340 000	4 593	273,5
2007 г., [12]	3 093 089	24 221	320

\* В скобках приводятся данные в ТВт\*ч/год.

Источники: [16], [12], [15].

В основном, оценки потенциала ВИЭ в России проводились достаточно давно – 10 и более лет назад. Если валовый потенциал является достаточно стабильной величиной, которая в основном зависит от применяемой методики расчета, то объемы технического и особенно экономического потенциала солнечной и ветровой энергетики за это время существенно возросли. Таким образом, требуются новые оценки технического и экономического потенциала ВИЭ в России.

### *Оценка валового, технического и экономического потенциала солнечной и ветровой энергетики в России*

Для оценки технического потенциала солнечной и ветровой энергетики в России использовалась база данных NASA SSE. Оценка проводилась для каждой «условно-однородной» [17] картографической зоны, образованной параллелями и меридианами, размером  $1 \times 1^\circ$ , которые представляют собой криволинейные трапеции. Для вычисления потенциала региона проводилось суммирование

потенциала всех трапеций (и их частей – при прохождении границы субъекта федерации через трапецию), находящихся в регионе.

Валовый потенциал солнечной энергии каждого субъекта федерации оценивался как сумма произведений среднемноголетней солнечной энергии ( $\text{kVt}^* \text{ч}/\text{м}^2$  в сутки), поступающей на Землю в каждом месяце, на каждую картографическую зону, образованную параллелями и меридианами, размером  $1 \times 1^\circ$ , числа дней в месяце и площади региона в каждой зоне ( $\text{м}^2$ ).

Удельная мощность потока ветра с единичным сечением рассчитывается следующим образом:

$$P = \frac{1}{2} \rho \sum_{i=1}^n v_i^3 t_i \quad (1)$$

где  $\rho$  – средняя плотность воздуха ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ),

$v_i$  – средняя скорость ветра в диапазоне скоростей  $i$ ,

$t_i$  – вероятность попадания скорости ветра в диапазон скоростей  $i$ .

Для расчета валового потенциала ветровой энергии необходимо просуммировать произведения удельной мощности потока ветра с единичным сечением, площади ометаемой всеми ветроколесами поверхности и периода времени, за который требуется рассчитать валовый потенциал.

Технический потенциал солнечной и ветровой энергетики в регионе представляет собой произведение полученного валового потенциала региона, доли всех земель в регионе, которые можно использовать в целях развития солнечной и ветровой энергетики, а также коэффициентов эффективности соответствующих технологий. Для расчета долей земель регионов, которые могут быть использованы для нужд солнечной и ветровой энергетики, использовались данные Справочника Земельного фонда Росреестра [18] и данные Федеральной службы государственной статистики о площади посевов сельскохозяйственных культур [19]. Пригодными для развития солнечной и ветровой энергетики были признаны следующие угодья.

А) Солнечная энергетика:

- 50% не засеваемой пашни;
- 100% залежи;
- 50% пастбищ.

Б) Ветровая энергетика:

- 100% сельскохозяйственных угодий;
- 100% земель под тундровой растительностью;
- 100% оленевых пастбищ.

В соответствии с введенными ограничениями, в среднем в России возможно использование 3,5% всех земель для нужд солнечной энергетики и 38% всех земель – для нужд ветроэнергетики. Для сравнения, Безруких П.П. и др. в своем исследовании 2007 года делают предпосылку о том, что солнечными электростанциями может быть занято не более 0,1% всей площади регионов, ветроэлектростанциями – не более 2% всей площади регионов [12].

По данным IRENA, в настоящее время (в 2016 году) 90% всех установленных в мире солнечных электростанций представлены кристаллическими кремниевыми панелями. Ожидается, что в ближайшее время эта группа технологий продолжит доминировать на рынке. Эффективность коммерчески доступных кремниевых панелей составляет 21-23% [20]. Тем не менее, многие производители солнечных панелей указывают менее высокий КПД – около 18%. Ввиду этого в данной работе эффективность современных солнечных панелей принимается равной 18%. Эффективность самых современных инверторов обычно составляет 98% [21], эффективность трансформаторов – 97%.

Таким образом, КПД инверторов и трансформаторов уже практически достиг своего максимума, и существенного повышения данных показателей в ближайшем будущем не предвидится. Эффективность фотоэлектрических солнечных элементов пока продолжает расти, благодаря научно-техническому прогрессу: в лабораторных условиях КПД монокристаллических кремниевых фотоэлектрических элементов уже достиг 25,6%, а КПД многослойных элементов (с концентрацией) – 46% [22]. Эти рекордные значения также можно использовать в оценке технического потенциала. В данной работе технический потенциал солнечной энергетики рассчитывается не только для текущего уровня КПД наиболее распространенных солнечных элементов, но и для рекордных КПД в лабораторных условиях – 25,6% и 46%, поскольку технологии с таким КПД могут стать коммерчески доступными в ближайшие годы.

Коэффициент использования энергии ветра (КИЭВ) современных ветротурбин составляет 0,4 (средний на текущий момент, согласно [23], [24]); максимально возможный КИЭВ равен  $16/27 \approx 0,5926$  (коэффициенту Жуковского-

Бетца). Аэродинамическая эффективность лопастей и КПД генератора принимаются равными соответственно 0,97 и 0,98 [24]. Оценка технического потенциала ветровой энергетики проводится для трех высот: 50 м, 100 м и 150 м, а также для современных технологий (КИЭВ 0,4) и для технологий, которые теоретически могут быть созданы в будущем (КИЭВ 0,5926).

Для оценки экономического потенциала солнечной и ветровой энергетики в данной работе проводится сравнение приведенной стоимости электроэнергии (LCOE), произведенной за счет энергии солнца и ветра, со средневзвешенными тарифами на электроэнергию (мощность) для всех потребителей, за исключением населения и приравненных к нему категорий потребителей. Тарифы для населения и приравненных к нему категорий потребителей не рассматриваются, поскольку в электроэнергетике в России действует система перекрестного субсидирования, при которой в отношении населения и приравненных к нему категорий потребителей применяются существенно более низкие тарифы, чем в отношении промышленных предприятий. Если значение показателя LCOE не превышает тариф, то экономический потенциал солнечной или ветровой энергетики рассматриваемой территории принимается равным ее техническому потенциалу.

Для расчета приведенной стоимости электроэнергии (LCOE), произведенной за счет энергии солнца и ветра, использовалась стандартная формула:

$$LCOE = \frac{CAPEX + \sum_{n=1}^N \frac{OPEX_n}{(1+r)^n}}{\sum_{n=1}^N \frac{E_n}{(1+r)^n}} \quad (2)$$

где  $CAPEX$  – капитальные затраты, руб.;

$OPEX_n$  – операционные затраты в году  $n$ , руб.;

$r$  – ставка дисконтирования;

$N$  – срок эксплуатации электростанции, лет;

$E_n$  – объем выработки электроэнергии в году  $n$ , кВт\*ч.

Поскольку объемы ресурсов солнечной и ветровой энергии на разных территориях существенно различаются, а приведенная стоимость солнечной и ветровой электроэнергии зависит от объема соответствующих ресурсов через выработку электроэнергии (переменная  $E_n$  в представленной выше формуле),

приведенная стоимость солнечной и ветровой электроэнергии рассчитывается для каждой территории размером  $1^\circ \times 1^\circ$ . Таким образом, сначала проводятся оценки LCOE на уровне территорий размером  $1^\circ \times 1^\circ$ , и их значения сопоставляются с региональными тарифами; затем проводится суммирование технического потенциала солнечной и ветровой энергетики отдельных территорий размером  $1^\circ \times 1^\circ$ , для которых LCOE оказывается ниже тарифа. Суммирование проводится по субъектам федерации, федеральным округам и по всей стране.

В качестве источника данных о капитальных и операционных затратах, а также о сроках эксплуатации оборудования в солнечной и ветровой энергетике использовалась база данных технологий, собранная авторами на основе отчетов международных организаций, банков, правительственные и неправительственные организаций из разных стран. Для оценки экономического потенциала солнечной и ветровой энергетики из этой базы данных были взяты минимальные значения капитальных и операционных издержек, зафиксированные на глобальном рынке – то есть, лучшие доступные ценовые характеристики.

Поскольку солнечная энергетика до сих пор, в основном, представлена кремниевыми солнечными фотоэлектрическими панелями, при оценке экономического потенциала рассматривается только данный класс технологий. Для солнечных электростанций, использующих кремниевые солнечные фотоэлектрические панели, лучшими доступными ценовыми характеристиками в настоящий момент являются:

- Капитальные расходы – 1500 долл. США за 1 кВт установленной мощности;
- Фиксированные операционные расходы – 10 долл. США на 1 кВт установленной мощности в год;
- Срок эксплуатации – 30 лет.

Сценарий минимальных издержек для наземной ветровой энергетики (в данной работе рассматривается лишь наземная ветровая энергетика) имеет следующие характеристики:

- Капитальные расходы – 1250 долл. США за 1 кВт установленной мощности;
- Фиксированные операционные расходы – 35 долл. США на 1 кВт установленной мощности в год;
- Срок эксплуатации – 20 лет.

Расчеты приведенной стоимости солнечной электроэнергии и экономического потенциала солнечной энергетики были выполнены для трех ставок дисконтирования: 5%, 10% и 15%. В настоящее время в России ставка дисконтирования составляет не менее 15%. Однако при улучшении макроэкономической ситуации в стране и/или при субсидировании стоимости заемного финансирования возможно ее снижение до 10% или даже до 5%.

В работе также был осуществлен расчет доступного экономического потенциала солнечной и ветровой энергетики – экономического потенциала, на который в каждом регионе может быть спрос. Для этого было проведено сравнение экономического потенциала и спроса на электроэнергию в регионах. В случае, когда экономический потенциал превышал объем спроса, в качестве доступного экономического потенциала принимался объем спроса на электроэнергию, в противном случае – объем экономического потенциала.

Полученные оценки валового, технического и экономического потенциала солнечной и ветровой энергетики в России представлены в таблице ниже, в сравнении с оценками Безруких П.П. и др. [12] (Таблица 2). Оценки валового потенциала, полученные по результатам работы, сопоставимы с оценками Безруких П.П. и др. [12], в то время как оценки технического и экономического потенциалов РАНХиГС являются гораздо более оптимистичными, чем результаты Безруких П.П. и др. [12]. Это связано с тем, что в данной работе в качестве пригодных для развития солнечной и ветровой энергетики земель были признаны земли большей площади, в расчетах были использованы современные данные о КПД солнечных панелей и ветроэнергетических установок, а также современные данные о капитальных и операционных издержках солнечной и ветровой генерации.

По данным Министерства энергетики России, в 2015 году объем выработки электроэнергии в России составил 1 049,9 млрд. кВт\*ч, из них электростанции Единой энергетической системы (ЕЭС) выработали 1 026,8 млрд. кВт\*ч [25]. Таким образом, валовый потенциал солнечной энергетики превышает объем реального потребления электроэнергии в стране в тысячи раз, валовый потенциал ветровой энергетики – в сотни раз. Технически доступный потенциал солнечной и ветровой энергетики, по оценкам РАНХиГС, превышает объем потребления электроэнергии в несколько десятков раз. Такой большой объем ресурсов ВИЭ позволит не только

удовлетворять спрос на энергию внутри России, но и осуществлять экспортные поставки электроэнергии в соседние страны.

Таблица 2 – Результаты расчета валового, технического и экономического потенциалов солнечной и ветровой энергетики в России в сравнении с результатами Безруких П.П. и др., ПВт\*ч в год

Вид потенциала	Солнечная энергетика		Ветровая энергетика	
	РАНХиГС, 2016	Безруких П.П. и др., 2007	РАНХиГС, 2016	Безруких П.П. и др., 2007
Валовый	6232,7 - 7385,8	6611,3	134,2 - 338,6	987,8
Технический	138,6 - 354,1	7,5	59,7 - 140,3	6,5
Экономический	0,0003 - 12,2	0,0012	12,4 - 48,0	0,03
Доступный экономический	0,0003 – 0,0559	-	0,0213 – 0,3215	-
Потребление электроэнергии, Россия, 2015 г.			1	

Источник: расчеты авторов и [12].

Объем экономического потенциала солнечной и ветровой энергетики при минимально возможных в настоящее время капитальных издержках и расходах на техническое обслуживание также может многократно превышать объем реального потребления электроэнергии. Следует отметить высокую чувствительность объема экономического потенциала к ставке дисконтирования. В представленной таблице (Таблица 2) минимальные оценки (0,0003 ПВт\*ч/год для солнечной энергетики и 12,4 ПВт\*ч/год для ветровой энергетики) соответствуют ставке дисконтирования 5%, а максимальные (12,2 ПВт\*ч/год для солнечной энергетики и 48,0 ПВт\*ч/год для ветровой энергетики) – ставке 15%, которая наблюдается сегодня на рынке. Таким образом, при субсидировании стоимости заемного капитала и/или при улучшении макроэкономических условий в стране конкурентоспособность солнечной и ветровой энергетики может существенно возрасти. Кроме того, при ставке дисконтирования 15% солнечная энергетика конкурентоспособна только в Чукотском автономном округе, а ветровая энергетика – в Чукотском и Ненецком автономных округах, Сахалинской области и Камчатском крае – то есть, в регионах с низкой плотностью населения, удаленных от промышленных центров. При ставке дисконтирования 10% солнечная энергетика по-прежнему конкурентоспособна только в Чукотском автономном округе, а ветроэнергетика – в 17 регионах, при

ставке 5% - соответственно в 10 и в 37 регионах, включая промышленные регионы Приволжского, Центрального и Северо-Западного федеральных округов.

Объем доступного экономического потенциала при ставке дисконтирования 15% может составлять до 0,3 ТВт\*ч в год для солнечной энергетики и до 84,0 ТВт\*ч в год для ветроэнергетики (8% всего спроса на электроэнергию в стране). При снижении ставки дисконтирования до 5% значение этого показателя может возрасти до 55,9 ТВт\*ч в год для солнечной энергетики (5% спроса) и до 321,5 ТВт\*ч в год для ветроэнергетики (30% спроса на электроэнергию).

Таким образом, медленное развитие ВИЭ в России обусловлено не ресурсными, не технологическими и уже даже не экономическими препятствиями, а политическими барьерами – отсутствием политической воли к реформированию электроэнергетического сектора России в целях перехода к использованию зеленых технологий и технологий ВИЭ, которые уже сейчас могут быть конкурентоспособными в некоторых регионах страны.

## МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ПОДДЕРЖКИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СОЛНЕЧНОЙ И ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В данном разделе проводится анализ систем государственной поддержки новых технологий в солнечной и ветровой энергетике двух стран: США и Китая. Опыт этих стран представляет высокий интерес ввиду следующих причин. США исторически являлись одним из лидеров в области технологий возобновляемой энергетики, несмотря на их отставание во внедрении этих технологий в 1980-е и 1990-е гг. Китай поставил перед собой цель добиться лидерства в возобновляемой энергетике в 2000-е гг., когда отрасль ВИЭ практически не существовала в этой стране, и начал целенаправленное движение к поставленной цели. В данный момент Китай является одним из глобальных лидеров солнечной и ветровой энергетики. Более того, несколько лет назад Китай принял решение перейти к внутренним инновациям в этих отраслях и уже добился определенных результатов.

В последние годы в США большую роль в развитии науки и инноваций в сфере солнечной и ветровой энергетики сыграла американская антикризисная программа, нацеленная на борьбу с последствиями глобального финансово-экономического кризиса 2008-2009 гг., которая включала в себя масштабные расходы на развитие зеленого сектора экономики. После начала реализации этой

программы в США наблюдался существенный рост государственных расходов на НИОКР в сфере ВИЭ и рост числа патентов в сфере солнечной и ветровой энергетики, выданных Бюро по патентам и товарным знакам США. Важно отметить, что борьба с последствиями кризиса 2008-2009 гг. в Китае также включала в себя масштабные инвестиции в зеленый сектор экономики, и по абсолютному объему «зеленых» антикризисных расходов Китай занял первое место в мире (218 млрд. долл. США), в то время как США заняли второе место (94,1 млрд. долл. США) [26].

Поддержка инноваций в солнечной и ветровой энергетике США сосредоточена на преодолении технологических барьеров [27], предоставлении участникам инновационного процесса необходимой исследовательской инфраструктуры [28], [29], сокращении периода между окончанием проведения исследований и началом полноценного производства, а также на обеспечении проектов финансированием в этот период. Отдельные программы, например программы Управления перспективных исследований в области энергетики (ARPA-E), сосредоточены на поиске и финансировании потенциальных прорывных инноваций, способных радикально изменить энергетическую отрасль [30]. Главной целью государственной поддержки НИОКР и исследований в сфере ВИЭ в США является существенное снижение стоимости технологий солнечной и ветровой энергетики и, как следствие, повышение их конкурентоспособности на энергетических рынках без вмешательства государства. Во многом эта цель уже была достигнута – например, в 2010-2013 гг. стоимость оборудования для генерации электроэнергии за счет солнечной энергии снизилась почти вдвое [31].

Ключевыми факторами успеха Китая в сфере солнечной и ветровой энергетики следует считать масштабное финансирование НИОКР в рамках ключевых государственных программ поддержки проведения научно-исследовательских работ (к ним относятся Национальная программа НИОКР в области ключевых технологий, План развития высоких технологий и Национальная программа по развитию фундаментальных исследований) [32], создание современных национальных научных, инженерных и испытательных центров и лабораторий [33], формирование привлекательных условий для трансфера технологий и локализации производства оборудования для СЭС и ВЭС (через льготное кредитование, финансовую поддержку предприятий, прошедших конкурсный отбор и т.д.), введение зеленых тарифов на электроэнергию,

произведенную за счет энергии солнца и ветра [34], субсидирование приобретения солнечных фотоэлектрических установок домохозяйствами [35] и т.д. Важнейшим элементом политики Китая стало создание большого внутреннего рынка солнечной и ветровой энергетики (включая рынок оборудования для этих отраслей) через включение амбициозных планов по развитию ВИЭ во все ключевые государственные документы - белые книги по энергетике, планы развития энергетического сектора, пятилетние планы социального развития.

В 2000-е гг. Китаю удалось создать сеть центров НИОКР и лабораторий, проводящих исследования по перспективным направлениям развития солнечной и ветровой энергетики, а также мощную систему государственной поддержки исследований и инноваций в этих отраслях. В последние годы китайские компании стали лидерами отраслей по производству оборудования как для солнечной, так и для ветровой энергетики, существенно потеснив таких пионеров отрасли, как компании из США, Японии и Европы (Дания, Германия). Это является прямым следствием активной (а иногда и агрессивной) государственной поддержки сектора ВИЭ в Китае. В последнее время Китай стал стремиться к созданию и использованию собственных интеллектуальных активов, и для этого он сформировал систему комплексной поддержки возобновляемой энергетики, в которой важнейшую роль играет стимулирование исследований и инноваций, но при этом все больше внимания уделяется спросу на новые технологии и их интеграции в энергосистему.

Учитывая рассмотренный международный опыт, можно сделать вывод о высокой значимости сбалансированной и ориентированной на долгосрочный период государственной политики в сфере развития перспективных технологий солнечной и ветровой энергетики. Ключевую роль в продвижении исследований и инноваций в солнечной и ветровой энергетике играют государственные расходы на НИОКР, создание и продвижение ключевых государственных институтов, сосредоточенных на развитии и внедрении технологий ВИЭ, а также государственные меры, направленные на ликвидацию конкретных пробелов в инновационных цепочках. Не менее важным является и наличие достаточной общей поддержки спроса на ВИЭ и поддержки развития инфраструктуры в данном секторе.

## АНАЛИЗ РОССИЙСКОЙ ПОЛИТИКИ В СЕКТОРЕ ВИЭ И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ЕЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ

Система государственной поддержки возобновляемой энергетики работает в России начиная с 2013 года. Именно тогда был внедрен механизм поддержки ВИЭ через плату за мощность на оптовом рынке электроэнергии и мощности [36]. В 2015 году был сформирован механизм поддержки ВИЭ на розничном рынке [37]. Суть поддержки ВИЭ на оптовом и розничном рынках заключается в обеспечении предсказуемости выручки девелоперов проектов в сфере ВИЭ, что снижает риски инвесторов и повышает инвестиционную привлекательность сектора. Важнейшим основанием для введения данных видов поддержки стала возможность стимулирования развития российского производства оборудования для ВИЭ через требования по локализации<sup>3</sup>, предъявляемые к используемому в проектах ВИЭ оборудованию. Также в России осуществляется компенсация стоимости технологического присоединения объектов ВИЭ с установленной мощностью не более 25 МВт в размере до 50% от стоимости присоединения, но не более 30 млн. руб. на один генерирующий объект [38], [39]. Осуществляется государственная поддержка НИОКР, в том числе, в рамках федеральных целевых программ. Имеются и официальные целевые ориентиры: к 2024 году на ОРЭМ планируется ввести 5,871 ГВт ВИЭ-электростанций [40], [41] (изначально планировалось реализовать те же объемы к 2020 году [42]).

Однако развитие ВИЭ в России идет крайне медленными темпами. Доля ВИЭ в российском электроэнергетическом секторе составляет по-прежнему менее 0,5%. При реализации цели по строительству 5,871 ГВт ВИЭ-электростанций к 2024 году доля ВИЭ составит всего около 2,5%. Данный порог пройден многими развитыми странами уже сейчас. НИОКР являются хронически недофинансированными. Производство ряда видов оборудования для ВИЭ (например, ветрогенераторов мегаваттного класса) в России отсутствует. Таким образом, в последние годы в сфере ВИЭ наблюдается существенный прогресс, однако система государственной

---

<sup>3</sup> Определенная доля оборудования, используемого в проектах ВИЭ, должна быть произведена в России. При невыполнении данного требования цена мощности умножается на коэффициент 0,35 для СЭС и на 0,45 – для ВЭС и МГЭС, то есть, существенно снижается.

поддержки данного сектора пока еще остается очень незрелой и несбалансированной. Развитие возобновляемой энергетики не входит в число национальных приоритетов, и необходимая работа в сфере признания ВИЭ частью топливно-энергетического комплекса России пока является практически полностью невыполненной.

Учитывая наличие гигантского валового и технического потенциала солнечной и ветровой энергетики в России, России необходимо предпринять меры по реализации экономического потенциала этих энергетических отраслей. Для этого следует усовершенствовать систему государственной политики в сфере ВИЭ.

Прежде всего, в целях формирования конкурентной отрасли по производству оборудования для ВИЭ, которая необходима для выполнения требований по локализации и, соответственно, для нормального функционирования механизма государственной поддержки на оптовом и розничном рынках электроэнергии (мощности) следует обеспечить потенциальных производителей долгосрочным финансированием на льготных условиях. Также необходимы незначительные доработки системы поддержки ВИЭ на оптовом рынке. Например, может потребоваться дальнейшая отсрочка ужесточения требований по локализации для ветроэнергетики, учитывая задержки с организацией производства ветроэлектрических установок мегаваттного класса в России. Кроме того, в 2015 году не востребованные на предыдущих конкурсах отбора проектов ВИЭ мощности ВИЭ были распределены на период до 2024 года. Однако, учитывая, что ввиду отсутствия производства ВЭУ мегаваттного класса в России в ближайшее время выделенные мощности ВЭС будут по-прежнему не полностью распределяться на конкурсах, для выполнения намеченной цели по строительству 5,871 МВт ВИЭ-электростанций к 2024 году в дальнейшем потребуются новые перераспределения не отобранных мощностей или разработка механизма, который будет автоматически переносить не отобранные мощности на последующие конкурсы.

В сфере поддержки ВИЭ на розничных рынках требуется гораздо большее число доработок. Необходимо дальнейшее развитие нормативно-правовых документов для розничного рынка с обращением особенного внимания на изолированные от единой энергосети (и от локальных сетей) территории. Главной задачей при проведении этой работы является создание стимулов для развития ВИЭ на региональном уровне и повышение интереса регионов к этому сектору.

Министерству промышленности и торговли и Министерству науки и образования следует увеличить расходы на НИОКР, на развитие инновационной инфраструктуры (испытательные и инженерные центры, научно-исследовательские лаборатории) и на реализацию пилотных и демонстрационных проектов в сфере ВИЭ.

Помимо этого, необходимо организовать поддержку участия домохозяйств в распределенной генерации. В качестве «задачи-минимум» Министерству энергетики рекомендуется организовать сальнированный учет электроэнергии, производимой домохозяйствами за счет ВИЭ, в качестве «задачи-максимум» - внедрить субсидирование фотоэлектрических установок домохозяйств. Реализация «задачи-минимум» не потребует существенных дополнительных затрат со стороны государства или со стороны потребителей и, помимо дополнительного спроса на фотоэлектрические панели, создаст демонстрационный эффект.

В более долгосрочном периоде в целях создания современного рынка ВИЭ, ориентированного не только на реализацию небольших проектов по генерации электроэнергии за счет ВИЭ, но и на обеспечение электроэнергией существенной доли российских потребителей, а также на экспорт электроэнергии и оборудования для ВИЭ, необходимо включить ВИЭ во все ключевые программные документы в сфере топливно-энергетического комплекса (в том числе, в разрабатываемую в течение последних нескольких лет Энергетическую стратегию России на период до 2035 года), а также в сфере социально-экономического развития на федеральном уровне. Должны быть обозначены амбициозные планы по развитию ВИЭ на период до 2035 и 2050 гг., например, увеличение доли ВИЭ за исключением большой гидроэнергетики, до 15% к 2035 году и до 30% к 2050 году. Это создаст более предсказуемые условия для инвесторов. Кроме того, частью Энергетической стратегии России на период до 2035 года должен стать план по повышению эффективности единой энергосистемы за счет вывода из эксплуатации (с последующей рекультивацией освободившихся территорий) неэффективных электростанций с устаревшим оборудованием и их замену на ВИЭ-электростанции при наличии такой потребности и при наличии соответствующих ресурсов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 "Постановление от 17.09.1987 № 1052 "Об ускоренном развитии ветроэнергетической техники в 1988-1995 годах," Совет министров СССР, 1987.
- 2 "Renewables added more to global energy generation capacity than all other technologies combined, UN-backed report finds," United Nations, 2016.
- 3 // Re100. Companies: [сайт]. [2016]. URL: <http://there100.org/companies> (дата обращения: 2.September.2016).
- 4 Кокорин А.О., "Парижское климатическое соглашение ООН: нынешнее и будущее воздействие на экономику России и других стран," *Экологический вестник России*, Vol. 3, 2016. pp. 40-43.
- 5 Angelis-Dimakis A., Biberacher M., Dominguez J., Fiorese G., Gadocha S., Gnansounou E., Guariso G., Kartalidis A., Panichelli L., Pinedo I., and Robba M., "Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15, 2011. pp. 1182–1200.
- 6 Brown et al., "Estimating Renewable Energy Economic Potential in the United States: Methodology and Initial Results," National Renewable Energy Laboratory, 2015.
- 7 Lopez et al., "U.S. Renewable Energy Technical Potentials: A GIS-Based Analysis," NREL, Technical Report NREL/TP-6A20-51946, 2012.
- 8 Ata , "Artificial neural networks applications in wind energy systems: a review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 49, 2015. pp. 534-562.
- 9 Akinci T.C., Nogay H.S., "Wind Speed Correlation Between Neighboring Measuring Stations," *Arabian Journal for Science and Engineering*, Vol. 37, 2012. pp. 1007-1019.
- 10 Иллюстрированный справочник по возобновляемой энергетике. Интерсоларцентр, 2002. 130 pp.
- 11 Попель О.С., Фрид С.Е., Коломиец Ю.Г., and Киселева С.В. Атлас ресурсов солнечной энергии на территории России. ОИВТ РАН, 2010. 85 pp.
- 12 Безруких П.П., Дегтярев В.В., Елистратов В.В., Панцхава Е.С., Петров Э.С., Пузаков В.Н., Сидоренко Г.И., Тарнижевский Б.В., Шпак А.А., and Ямпольский А.А. Справочник по ресурсам ВИЭ России и местным видам топлива. Москва: ИАЦ "Энергия", 2007. 272 pp.

- 13 Николаев В.Г., Ганага С.В., and Кудряшов Ю.И. Национальный Кадастр ветроэнергетических ресурсов России и методические основы их определения. Москва: Атмограф, 2008. 581 pp.
- 14 Безруких П.П. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук "Научно-техническое и методологическое обоснование ресурсов и направлений использования возобновляемых источников энергии". Москва. 2003. 268 pp.
- 15 Николаев ВГ, "Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук," Российская академия сельскохозяйственных наук - Государственное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства", Москва, 2011.
- 16 Яновский А.Б., Безруких П.П. Роль возобновляемых источников энергии в энергетической стратегии России. Москва. 1999.
- 17 Атлас ресурсов возобновляемой энергии на территории России: науч. издание. Москва: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. 160 pp.
- 18 "Земельный фонд Российской Федерации," Росреестр, Москва, 2013.
- 19 "Регионы России. Социально-экономические показатели," Федеральная служба государственной статистики, 2016.
- 20 "Letting in the Light: How Solar Photovoltaics Will Revolutionise the Electricity System," IRENA, 2016.
- 21 "Photovoltaics Report," Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE, Freiburg, 2016.
- 22 Green M., Emery K., Hishikawa Y., Warta W., and Dunlop E., "Solar cell efficiency tables (version 48)," *Progress in Photovoltaics*, Vol. 24, No. 7, June 2016. pp. 905–913.
- 23 "Wind Turbine Power Calculations," The Royal Academy of Engineering,.
- 24 Zhang M.H. Wind Resource Assessment and Micro-siting: Science and Engineering. Singapore: John Wiley & Sons Singapore, 2015. 294 pp.
- 25 "Потребление электроэнергии в ЕЭС России в 2015 году уменьшилось на 0,5% по сравнению с 2014 годом," Министерство энергетики РФ, 2016.
- 26 "Taking Stock of the Green Stimulus," HSBC, 2009.
- 27 "Next-Generation Wind Technology," U.S. Department of Energy, 2016.

- 28 "Transforming the American Economy Through Innovation," White House, 2010.
- 29 "Innovation Policy for Climate Change. A Report to the Nation," Clean Air Task Force, 2009.
- 30 "A Retrospective Assessment of Clean Energy Investments in the Recovery Act," White House Council of Economic Advisers, 2016.
- 31 "Progress Report: Advancing Solar Energy Across America," U.S. Department of Energy, 2014.
- 32 Huang C., Su J., Zhao X., Sui J., Ru P., Zhang H., and Wang X., "Government funded renewable energy innovation in China," *Energy Policy*, Vol. 51, 2012. pp. 121–127.
- 33 Zhao Z.Y., Chen Y.L., and Chang R.D. How to stimulate renewable energy power generation effectively? – China's incentive approaches and lessons // *Renewable Energy*. July 2016. Vol. 92. pp. 147–156.
- 34 Carbaugh B., Brown M., "Industrial Policy and Renewable Energy: Trade Conflicts," *Journal of International and Global Economic Studies*, Vol. 5, No. 1, June 2012. pp. 1-16.
- 35 Vig N., Kraft M. Environmental Policy: New Directions for the Twenty-First Century. CQ Press, 2012. 460 pp.
- 36 "Постановление Правительства Российской Федерации от 28.05.2013 №449 «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности»," 2013.
- 37 "Постановление Правительства Российской Федерации от 23.01.2015 №47 «О стимулировании использования возобновляемых источников энергии на розничных рынках электроэнергии»," 2015.
- 38 "Постановление Правительства РФ от 20.10.2010 №850 «Об утверждении критериев для предоставления из федерального бюджета субсидий в порядке компенсации стоимости технологического присоединения генерирующих объектов с установленной генерирующей мощностью не ,," 2010.
- 39 "Приказ Министерства энергетики РФ от 22.07.2013 №380 «Об утверждении Правил предоставления из федерального бюджета субсидий в порядке компенсации стоимости технологического присоединения генерирующих объектов с установленной генерирующей мощностью не более," 2013.

- 40 "Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2015 №1472-р «О внесении изменений в акты Правительства Российской Федерации»," 2015.
- 41 "Распоряжение Правительства РФ от 05.05.2016 №850-р «О внесении изменений в Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период д," 2016.
- 42 "Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28.05.2013 №861-р «О внесении изменений в Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников э," 2013.