

ВОПРОСЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ ДЛЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ²

Статья посвящена анализу темпов развития наиболее коммерчески зрелых технологий возобновляемой энергетики – ветровой и солнечной, заложенных в основных нормативно-правовых документах, определяющих государственную политику России в данной области на период до 2020 года. При этом основное внимание уделено вопросам экономической целесообразности развития сопутствующих отраслей экономики – ветроэнергетического машиностроения и производства фотоэлектрических элементов и систем, а также производства поликристаллического кремния. Теоретической основой исследования послужила методология Бостонской консалтинговой группы, связывающая объемы производства с эффектами масштаба и обучения. В работе использованы методы сравнительного анализа, статистического анализа и кейс-стади. Кейс-стади проведены на основе данных ежегодных отчетов за период 2002–2014 гг. компаний Yingli Solar (КНР), First Solar (США) и Gamesa (Испания), которые представляют соответственно индустрию кремниевой фотовольтаики, тонкопленочной фотовольтаики и ветроэнергетического машиностроения.

В результате исследования сделан вывод о том, что темпы введения мощностей возобновляемой энергетики, заложенные в Постановлении Правительства РФ № 499 «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности» и Распоряжении Правительства № 861-р «О внесении изменений в Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года», а также методы стимулирования сопутствующих производств, достаточны для достижения эффектов масштаба производства и обучения. При этом требования по уровню локализации проектов вполне соответствуют мировой практике и могут быть адаптированы к виду, формально не противоречащему условиям ВТО. В то же время ожидаемые темпы роста возобновляемой энергетики не способны обеспечить устойчивый внутренний спрос на продукцию уже имеющихся российских производств нижних переделов (в частности, производств поликристаллического кремния).

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, инновации, экономический анализ, эффект обучения, энергетическое машиностроение.

Актуальность темы исследования

В последние два десятилетия сектор энергетического машиностроения для возобновляемой энергетики стремительно развивается. Наиболее впечатляющий рост демонстрируют производство фотоэлектрических модулей и производство оборудования для ветровой энергетики, которые достигли стадии коммерческой зрелости. Средние темпы роста солнечной энергетики за период 2004–2014 гг. составили около

30 % ежегодно, ветровой – более 21 % ежегодно [1–4]. Объем мирового рынка фото-

¹ Ратнер Светлана Валерьевна – доктор экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, Россия (117997 г. Москва, ул. Профсоюзная, 65); e-mail: lanaratner@gmail.com.

Иосифов Валерий Викторович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой машиностроения и автомобильного транспорта Кубанского государственного технологического университета, г. Краснодар, Россия (350000 г. Краснодар, ул. Красная, 135); e-mail: iosifov@kstu.ru.

электрических модулей составил в 2013 г. более 27 млрд долл. США³, объем рынка ветроэнергетического оборудования – 36,4 млрд долл. США⁴. Страны – пионеры в развитии возобновляемой энергетики успели на своем опыте убедиться, что, помимо положительных экологических эффектов, повышения энергетической безопасности и создания новых рабочих мест, солнечная и ветровая энергетика способны инициировать мощные стимулы для экономического роста смежных отраслей экономики – энергетического машиностроения, производства новых материалов, металлургических производств и т. д. В современной экономической ситуации, характеризующейся спадом во многих традиционных отраслях, возобновляемая энергетика превратилась в мощный высокотехнологичный бизнес с многомиллиардными инвестициями, за привлечение которого на свои территории конкурируют как отдельные регионы внутри стран, так и целые страны.

В России развитие возобновляемой энергетики (за исключением гидроэнергетики) пока только начинается. В силу уникальной институциональной архитектуры российского рынка электроэнергетики и невозможности прямого переноса традиционных механизмов поддержки возобновляемой энергетики, апробированных и доказавших свою эффективность в других странах⁵, процесс активного государственного стимулирования генерации энергии из возобновляемых источников пробуксовы-

вает в стране уже почти 10 лет, несмотря на провозглашаемые приоритеты в таких основополагающих документах, как Энергетические стратегии России. Еще в ноябре 2007 г. в Федеральный закон «Об электроэнергетике» (ФЗ № 35) были внесены изменения, позволяющие увеличить тарифы на возобновляемую электроэнергию за счет специальной надбавки на оптовую цену. Однако данная схема поддержки оказалась нежизнеспособной, в частности, из-за опасений сетевых компаний по поводу увеличения тарифов на электроэнергию для конечного потребителя [5]. В 2011 г. очередными изменениями в ФЗ № 35 базовая схема поддержки возобновляемой энергетики была изменена на поддержку через рынок мощности (плата за мощность). Данный подход легко интегрируется в архитектуру оптового рынка электроэнергии и мощности (аналог договоров о предоставлении мощности), а также позволяет полностью согласовать темпы роста возобновляемой энергетики с целевыми показателями, обозначенными в основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики⁶, и избежать кризисов превышения мощностей над пропускной способностью электросети [2]. В мае 2013 г. было принято Постановление Правительства РФ № 499 «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности», которое обозначило конкретные схемы поддержки ВИЭ и, по мнению международного экспертного сообщества, стало значительным шагом вперед в направлении создания базы регулирования, призванной содействовать производству чистой энергии в России [5]. Смежные вопросы, такие как, например, конкретные показатели темпов роста воз-

² Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 15-06-06360 «Моделирование влияния процесса смены технологических укладов в энергетике на экономику России, и оптимизация стратегии ее адаптации».

³ Расчеты авторов на основе данных годового отчета лидера кремниевых фотоэлектрических модулей компании Yingli Solar (объем выручки) и данных сайта <http://www.statista.com/> (рыночная доля).

⁴ Расчеты авторов на основе данных годового отчета компании Gamesa (<http://www.gamesacorp.com/>).

⁵ Например, так называемые feed-in тарифы на электроэнергию, произведенную из возобновляемых источников, налоговые льготы, сертификаты и т. д.

⁶ Расчеты авторов на основе данных годового отчета лидера кремниевых фотоэлектрических модулей компании Yingli Solar (объем выручки) и данных сайта <http://www.statista.com/> (рыночная доля).

обновляемой энергетики, были обозначены в Распоряжении Правительства Российской Федерации № 861-р от 28 мая 2013 г., принятым практически одновременно с Постановлением № 499.

На сегодняшний день данные нормативно-правовые акты позволяют составить наиболее полную картину о перспективах развития возобновляемой энергетики в России в ближайшие годы, а также оценить экономическую целесообразность создания новых российских производств энергетического машиностроения, способных полностью или частично обеспечить спрос на оборудование для запланированных к строительству электростанций, работающих на ВИЭ. Актуальность вопроса об экономической целесообразности создания собственных (российских) сектора производства ветрогенераторов и сектора фотовольтаики, что, как и любые высокотехнологичные производства, эти сектора экономики сильно подвержены действию эффектов масштаба производства и обучения, которые начинают проявляться только при достижении определенного порогового уровня объема производства [6, 7].

Целью проведенного нами анализа показателей развития солнечной и ветровой энергетики, обозначенных в Постановлении Правительства № 499 и Распоряжении Правительства № 861-р, стал поиск ответов на следующие основные вопросы:

- способны ли темпы развития возобновляемой энергетики, заложенные в анализируемых нормативно-правовых документах, обеспечить так необходимые для достижения коммерческой целесообразности эффекты масштаба производства и обучения?
- возможно ли создать внутренний спрос на продукцию уже имеющихся российских производств нижних переделов (например, продукцию заводов по производству поликристаллического и монокристаллического кремния)?

- возможно ли достичь заданного уровня локализации производства без нарушения требований Всемирной торговой организации (ВТО)?

Степень разработанности проблемы

В настоящее время проблема прогнозирования и планирования технологического развития российской экономики зачастую решается фрагментарно, на уровне отдельных отраслей и секторов, нередко без учета возможностей развития взаимодействующих отраслей, наращивания производственных мощностей и решения проблем кадрового обеспечения. Одним из примеров может служить программа развития энергетики, основные параметры которой заложены в «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р), которая в настоящий момент пересматривается. Прогнозные параметры поэтапного изменения установленной мощности электростанций России, работающих на возобновляемых источниках энергии и гидроаккумулирующих электростанций, заложенные в данном документе таковы, что заданные темпы прироста могут быть обеспечены только при условии закупки существенной части спектра генерирующего оборудования за рубежом. В российской научной экономической литературе в последнее время появляется все больше работ, направленных на развитие системного подхода к построению государственной промышленной политики, однако в настоящее время фокус отечественных исследователей в основном направлен на проблемы оборонно-промышленного комплекса (см., например, работы [8, 9])

Анализ программы развития возобновляемой энергетики в России по методологии Бостонской консалтинговой группы

Распоряжение Правительства Российской Федерации № 861-р от 28 мая 2013 г. за-

дает следующие лимиты в отношении установленной мощности генерирующих объектов ВИЭ до 2020 г.: введение 1520 МВт мощностей солнечных электростанций, 3600 МВт – ветровых и 751 МВт малых гидроэлектростанций. При этом учитываются только генерирующие объекты мощностью не менее 5 МВт, расположенные в зонах российского оптового рынка, на которые распространяется схема поддержки на основе платы за мощность. Темпы введения мощностей представлены в табл. 1.

Развитие вышеобозначенных видов возобновляемой энергетики в средне- и долгосрочной перспективе планируется в основном за счет создания российских производств соответствующих видов оборудования и материалов, о чем свидетельствуют установленные Распоряжением значения индекса локализации для инвестиционных проектов, допускаемых к конкурсному отбору на право заключения договоров на предоставление мощности (табл. 2), и методика расчета индекса локализации (табл. 3), представленная в Постановлении № 499.

Анализируя данные табл. 3, можно сделать вывод о том, что развитие солнечной энергетики в России в ближайшей перспективе планируется только за счет собственного производства фотоэлектрических модулей, а развитие ветровой энергетики преимущественно за счет собственного производства основных деталей ветрогенераторов (башня, лопасти, сам генератор). Таким образом, темпы ввода солнечных и ветровых мощностей, обозначенные в табл. 1, можно приравнять к планируемым темпам роста производств соответствующих секторов энергетического машиностроения. Учитывая тот факт, что малая гидроэнергетика не является объектом настоящего исследования, в дальнейших расчетах и иллюстрациях будем использовать только данные по ветровым и солнечным ЭС.

Оценку ожидаемых эффектов масштаба и эффекта обучения можно также провести по данным Распоряжения Правительства РФ № 861-р, отражающим динамику лимитов капитальных затрат на проекты ВИЭ (табл. 4). Учитывая тот факт, что наиболь-

Таблица 1

Лимиты установленных мощностей генерирующих объектов ВИЭ*

Вид объекта ВИЭ/ МВт	Год							Итого
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Солнечные ЭС	120	140	200	250	270	270	270	1520
Ветровые ЭС	100	250	250	500	750	750	1000	3600
Малые ГЭС	18	26	124	124	141	159	159	751
Всего	238	416	574	874	1161	1179	1429	5871

*Источник: Распоряжение Правительства Российской Федерации № 861-р от 28 мая 2013 г.

Таблица 2

Индекс локализации производства (целевой показатель)*

Вид объекта ВИЭ/ индекс локализации, %	Год						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Солнечные ЭС	50	50	70	70	70	70	70
Ветровые ЭС	35	55	65	65	65	65	65
Малые ГЭС	20	20	45	45	65	65	65

*Источник: Распоряжение Правительства Российской Федерации № 861-р от 28 мая 2013 г.

Таблица 3

Перечень отдельных элементов оборудования и работ с наибольшим вкладом
в степень локализации генерирующего объекта*

Вид объекта ВИЭ	Элементы оборудования	Вклад в индекс локализации, %
Ветровые ЭС	Лопасты ветровых агрегатов, в том числе исходные материалы, использованные для производства лопастей, изготовлены в РФ, технологическая оснастка для лопастей собрана в РФ	18
	Для ветроагрегатов с прямым приводом без использования редуктора генератор изготовлен и протестирован в РФ, при изготовлении генератора пластины статора и ротора вырезаны и собраны в РФ, постоянные магниты установлены в РФ	15
	Бетонные секции башни ветроагрегата изготовлены в РФ, стальные секции башни изготовлены и вырезаны из стальных пластин (прокатанной ленты) в РФ, стальные пластины (прокатанная лента), используемые для изготовления башен, произведены в РФ, сталь, из которой сформированы и вырезаны стальные секции башни, была превращена в листовую сталь на сталелитейном комбинате в РФ, сталь для арматуры и проводов или их эквивалентов для цементных секций башни изготовлена в РФ, а также портландцемент, используемый для цементных секций башни, произведен в РФ	13
	Зубчатые колеса редуктора ветроагрегата с зубчатой передачей усилия с вала ротора фрезерованы, цементованы и отшлифованы в РФ, а сам редуктор собран и протестирован в РФ	10
Солнечные ЭС на кремниевых фотоэлементах	Кристаллические кремниевые фотоэлементы изготовлены в РФ, что включает в себя обработку кремниевых пластин, внедрение арматуры для улавливания потока электроэнергии, а также конечную обработку поверхности	25
	Кремний и кремниевые слитки, используемые для производства фотоэлементов, произведены на территории РФ	20
	Кремниевые пластины произведены в РФ	15
Солнечные ЭС на тонкопленочных фотоэлементах	Тонкопленочные фотоэлектрические модули, в которых фотогальванический слой изготовлен методами, которые включают плазмохимическое осаждение, но не ограничиваются им, изготовлены в РФ	65
	Сборка, конечное соединение элементов проводки и тестирование преобразователя тока (инвертора) выполнены в РФ	12
Гидро-аккумулирующие ЭС	Блок гидротурбины произведен в РФ	17,1
	Генератор гидротурбины произведен в РФ	13,4

*Источник: составлено авторами по данным Постановления Правительства Российской Федерации № 499 от 28 мая 2013 г.

шую долю капитальных затрат ветровых и солнечных проектов составляют затраты на оборудование (оценки см., например, в работах [3, 4]), запланированную понижательную динамику лимитов можно полностью отнести на счет ожидаемого снижения стоимости оборудования, достигнутого в основном за счет проявления исследуемых нами эффектов в процессе его производства.

Ожидаемый эффект обучения в производстве может быть оценен на основе использования методологии Бостонской консалтинговой группы [10], по данным табл. 1, 4. Предложенный подход связывает кумулятивное накопление опыта производства определенного продукта со снижением удельных издержек. Прогнозы, полученные на основе данной методологии, не учитывают рыночные колебания цен и внезапные технологические прорывы. В расчетах принята простейшая модель кривой обучения:

$$C(Q) = C_1(1 - \lambda)^{\log_2 Q}, \quad (1)$$

где C_1 – исходные удельные издержки;

$C(Q)$ – удельные издержки в конце анализируемого периода;

Q – кумулятивный объем производства;

λ – оцениваемый темп обучения.

Решение уравнения (1) относительно λ позволяет оценить темп обучения и интерпретировать его как снижение удельных издержек на λ % при удвоении кумулятивного объема производства. В результате получаем оценку темпа обучения в производстве солнечных фотоэлементов и систем за период 2014–2020 гг. равную 1,14 %, в производстве ветрогенерационного оборудования – 0,04 %.

Для сравнения полученных оценок со средними темпами обучения по отрасли исследуем динамику развития компаний-лидеров различных секторов фотовольтаики и ветрового энергетического машиностроения.

Анализ динамики развития компании Yingli Solar (КНР)

Китайская компания Yingli Solar, выпускающая фотоэлектрические элементы, модули и системы на основе поликристаллического кремния, начала производство в 2002 г. с объема 3 МВт. В 2006 г. компания была инкорпорирована, в июне 2007 г. вышла на IPO. Активно формируя в период 2006–2009 гг. вертикально интегрированную структуру, компания существенно нарастила объемы производства и к 2009 г. стала одним из признанных лидеров мировой фотовольтаики. В 2013 г. Yingli Solar заняла первую строчку в рейтинге мировых производителей фотоэлектрический элементов и модулей с рыночной долей 8,2 %. К концу 2014 г. рыночная капитализация составила почти 500 млн долл.

Производственные мощности компании расположены только в Китае, тогда как география поставок весьма обширна – Германия, США, Испания, Италия, Великобритания, Голландия, Япония и страны Латинской Америки. Используя возможности привлечения дешевой и достаточно квалифицированной рабочей силы, а также государственной поддержки экспортоориентированных производств, компания успешно пережила кризис перепроизводства фо-

Таблица 4

Динамика лимитов капитальных затрат на проекты ВИЭ*

Лимиты капзатрат, руб. на 1 Квт мощности	Год						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Солнечные ЭС	116451	114122	111839	109602	107410	105262	103157
Ветровые ЭС	65752	65696	65630	65565	65499	65434	65368

*Источник: Распоряжение Правительства Российской Федерации № 861-р от 28 мая 2013 г.

тоэлектрического оборудования, охвативший отрасль в 2011–2012 гг., осуществляя гибкую ценовую политику. Однако агрессивное расширение рынков сбыта за счет зачастую демпинговых цен не прошло для компании бесследно – начиная с 2012 г. и вплоть до начала 2015 г. основные производственные подразделения компании работали себе в убыток (рис. 1).

Бурный рост производственных мощностей и объемов производства компании в период 2003–2009 гг. (табл. 5) происходил на фоне стабильного роста отрасли солнечной энергетики в целом. Наибольшей проблемой для компаний, производящих фотоэлектрические модули в этот период, была нехватка сырья – поликристаллического кремния. Из-за резко возросшего спроса мировые цены на поликристаллический кремний в период 2005–2006 гг. выросли на 185,5 %, а в период 2006–2007 гг. еще на 30,2 %. Для минимизации риска срыва поставок сырья Yingli Solar разработала стратегию работы с поставщиками, осно-

ванную на заключении долгосрочных контрактов по фиксированной цене, а также приобрела в 2009 г. два производственных подразделения по выпуску поликристаллического кремния – Cyber Power и Fine Silicon [11]. Однако в 2010 г. мировые цены на поликристаллический кремний рухнули за 30 %, а к 2012 г. достигли рекордно низкого уровня 14 долл. за кг (для сравнения в 2008–2009 гг. цена составляла до 200 долл. за 1 кг.). Собственное производство поликристаллического кремния на фоне обвалившихся цен оказалось нерентабельным, и в 2012 г. компания заморозила соответствующие мощности.

Учитывая вышеописанные проблемы конъюнктурного характера, оказавшие значительное влияние на динамику развития компании, оценку исследуемых нами эффектов наиболее целесообразно проводить по данным 2005–2011 гг. Включение в рассмотрение турбулентного периода 2012–2014 гг. может существенно исказить тренды, описывающие внутреннюю логику



Рис. 1. Динамика соотношения производственных затрат и отпускной цены продукции компании Yingli Solar в период 2005–2014 гг.

Источник: составлено авторами на основе данных ежегодных отчетов компании.

развития и привести к неверным оценкам темпов обучения в производстве.

Проведя расчеты по формуле (1) и данным табл. 5 за 2005–2011 гг., получим оценку темпа обучения в производстве 6,2 %, что гораздо выше ожидаемого значения 1,14 %, полученного согласно анализу российской программы развития возобновляемой энергетики.

Анализ динамики развития компании First Solar (США)

Компания First Solar – мировой лидер по производству тонкопленочных фотоэлектрических преобразователей – начала производство кадмиево-теллуриновых (CdTe) модулей на пилотной линии в Питсбурге (штат Охайо) мощностью чуть более 3 МВт в январе 2002 г. В 2003 и 2004 гг. производство модулей на пилотной линии продолжалось одновременно с развертыванием базовой производственной линии мощностью 25 МВт в год. В 2005–2006 гг.

была запущена еще одна производственная линия мощностью 25 МВт в Охайо, а с февраля 2006 г. компания начала строительство производственных мощностей за рубежом на территории главного потребителя продукции – Германии (Франкфурт) [3]. Выход на полную мощность был завода во Франкфурте (4 линии мощностью по 25 МВт в год) состоялся во втором полугодии 2007 г. В 2007 г. также началось строительство производственных мощностей в Малайзии (16 производственных линий по 25 МВт), которые были запущены в 2008–2009 гг. Интенсивное наращивание производственных мощностей и объемов производства позволило компании существенно снизить себестоимость продукции (табл. 6).

Однако в 2011 г. рыночная ситуация кардинально изменилась – производство солнечных модулей в мире превысило спрос. Цена на солнечные модули и их компоненты упала до исторических минимумов и практически сравнялась с себестоимостью.

Таблица 5

Показатели производственной деятельности компании Yingli Solar*

Показатель	Год									
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Объем производства, МВт	11,9	51,3	142,5	282	525	1062	1604	2297	3234	3361,3
Выручка, млн юаней	362	1639	4059	7553	7255	12500	14668	11392	13418	12927
Издержки, млн юаней	254	1186	3102	5923	5540	8347	12228	11761	11959	10689
Затраты на НИОКР, млн юаней	1,791	23,14	17,54	57,25	184,3	137,52	284,9	187,54	288,59	573,8
Отпускная цена, долл./Вт	3,49	3,82	3,87	3,88	2	1,75	1,43	0,77	0,55	0,52

*Источник: составлено авторами по данным ежегодных отчетов компании.

Иностранные подразделения компании столкнулись с протекционизмом местных правительств. Вследствие указанных причин компания заморозила ряд начатых в предыдущие годы проектов во Вьетнаме, Франции, а также в штате Аризона (США), закрыла производство в Германии (в 2012 г.) и приняла серьезные меры по снижению операционных расходов, что позволило сохранить рентабельность производства.

Поэтому оценку эффекта обучения в производстве можно проводить на всем временном периоде, по которому имеются статистические данные о деятельности компании. Проведя расчеты по формуле (1) и данным табл. 6 за 2004–2012 гг., получим оценку темпа обучения в производстве 10,3 %. Сократив исследуемый период до 2004–2010 гг. для сопоставимости с условиями предыдущих расчетов, получим оценку темпа обучения 10,8 %. Очевидно, данные значения также гораздо выше ожидаемых показателей темпов обучения, заложенных в правительственных документах.

Анализ динамики развития компании Gamesa (Испания)

Основанная в 1976 г. как компания, работающая в секторе робототехники, микроэлектроники и композиционных материалов, к 1990-м гг., компания Gamesa (старое название Grupo Auxiliar Metalúrgico) сосредоточилась на двух основных направлениях: возобновляемые источники энергии (преимущественно, ветровая) и производство летательных аппаратов. К 1994 г. Gamesa достигает первых успехов в проектировании, производстве и продажах ветровых турбин, а также предоставлении специализированных услуг, связанных со строительством и эксплуатацией ветровых парков. Успешно выполнив несколько крупных ветровых проектов в Испании, к 1998 г. Gamesa начинает деятельность за рубежом и выходит на рынки США и Мексики. В 2000 г. компания выходит на IPO, который был признан одним из наиболее эффективных в истории испанского фондового рынка. В 2004 г. Gamesa приобретает компанию Cantarey, специали-

Таблица 6

Показатели производственной деятельности компании First Solar

Показатель	Год								
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Объем продаж, млн долл.	13,52	48,06	134,97	504,1	1246,3	2066,2	2563,5	2776,2	3368,5
Себестоимость, млн долл.	18,85	31,48	80,73	252,57	567,9	1021,6	1378,7	1794,5	2515,8
Затраты на ИиР, млн долл.	1,24	2,37	6,36	15,1	33,52	78,1	97,8	140,5	132,5
Цена производства Долл. за 1 Вт	2,94	1,59	1,4	1,23	1,08	0,84	0,77	0,75	0,73
Объем производства, МВт	6,5	21,4	59,9	206,3	504	1100	1412	2001	1594

Источник: составлено авторами по данным ежегодных отчетов компании.

зирующуюся на производстве ветроустановок, и компанию Enertrón, выпускающую электронику для генераторов энергии их альтернативных источников. В 2005–2007 гг. компания активно расширяется, открывая производственные единицы в США, Китае и Португалии и захватывая все новые рынки. К 2006 г. компания становится вторым крупнейшим производителем ветровых турбин в мире после датского Vestas с рыночной долей 16 %.

По мере технологического созревания отрасли ветровой энергетики и замедления темпов роста рынка ветрогенерационного оборудования, Gamesa, как и многие другие компании сектора энергетического машиностроения, для возобновляемой энергетики была вынуждена искать пути сокращения издержек и диверсификации бизнеса. Все большее внимание руководство компании стало уделять не столько производству ветрогенерационного оборудования, сколько развитию услуг по его установке и обслуживанию. С декабря 2011 г. Gamesa сократила 1307 рабочих мест (17 % сотрудников) и закрыла 12 из 34 заводов по производству ветрогенераторов и их комплектующих. В то же время, в период 2012–2014 гг., компания заключила договора на обслуживание более 40 ветропарков в Испании, Китае, Индии, Мексике, Швеции, Польше, Греции и Германии [12].

Основные показатели производственной деятельности компании по направлению «Ветрогенерационное оборудование» приведены в табл. 7.

Анализируя данные табл. 7, нетрудно заметить, что годовой объем производства ветрогенераторов, начиная с 2011 г., существенно сократился, что, однако, не повлияло на динамику удельных издержек (по крайней мере в исследуемом периоде). Однако снижение издержек в период 2012–2013 гг. было достигнуто за счет внедрения платформенного метода разработки новых моделей ветрогенераторов, аутсорсинга и сетевой организации производства, а также адаптации некоторых

способов «бережливого производства», принятых в автомобильной отрасли. Подробный анализ этих организационных «ноу-хау» проведен нами в работе [13], в настоящем же исследовании важно отметить, что период 2012–2013 гг. не является подходящим для анализа классических форм проявлений эффекта обучения в производстве. Проведя расчеты по формуле (1) и данным табл. 7 за 2005–2011 гг., получим оценку темпа обучения в производстве ветрогенерационного оборудования 2,6 %.

Таким образом, реальные значения эффектов масштаба производства и обучения в производстве в мировой практике значительно выше, нежели ожидаемые в России. Сопоставляя полученные значения с оценками соответствующих эффектов в российских документах, можно сделать вывод о том, что российские власти гораздо более осторожны в своих прогнозах. Однако необходимо принять во внимание тот факт, что данные оценки получены по результатам деятельности компаний-лидеров и в период бурного роста спроса на их продукцию, то есть осторожность в планировании развития компаний соответствующего профиля в России не безосновательна. Поэтому, подводя промежуточный итог исследованию и отвечая на первый из поставленных нами вопросов, можно сказать, что темпы развития возобновляемой энергетики, заложенные в Постановлении Правительства РФ № 99 и Распоряжении Правительства № 861-р достаточны для достижения эффектов масштаба производства и обучения. При этом критически важным вопросом остается системность государственной поддержки возобновляемой энергетики, позволяющая обеспечить полную загрузку новых производственных мощностей в долгосрочном периоде (после 2020 г.).

Ответ на второй вопрос (о возможности создания внутреннего спроса на продукцию уже имеющихся российских производств нижних переделов) также может быть получен, благодаря проведенным кейс-стади

производственной деятельности компаний Yingli Solar и First Solar. Их пример является убедительным свидетельством преимуществ вертикально интегрированной системы организации бизнеса и целесообразности включения компаний по производству сырья для фотоэлектрических преобразователей в структуру производства фотоэлектрических модулей или систем (возможно, через сделки слияния и поглощения).

Смещение фокуса исследования по второму вопросу на солнечную энергетику связано с тем, что кризис перепроизводства поликристаллического кремния 2011–2012 гг. серьезно подорвал потенциал российских производителей этого вида сырья и привел к закрытию или консервации большей части мощностей (Подольский химико-металлургический завод, ФГУП «Горно-химический комбинат», Железногорск, ООО «Усолье-Сибирский Силикон», ОАО «Силан», Липецкая область и др.). Одним из наиболее современных предприятий по производству поликристаллического кремния, построенных в рамках проекта «Нитол» ОАО «Роснано» в 2006–2010 гг. является завод «Усолье-Сибирский Силикон»,

проектная мощность которого составляет 5 тыс. т в год. (<http://www.rusnano.com/>). В настоящее время завод стоимостью почти 20 млрд рублей закрыт.

Учитывая, что на 1 МВт готовых фотоэлектрических преобразователей расходуется от 13 до 20 т поликристаллического кремния (нижняя оценка соответствует данным АНО НИЦ «Интерсолацентр», верхняя оценка получена из анализа деятельности Yingli Solar), планируемые темпы роста солнечной энергетики способны обеспечить устойчивый спрос на поликристаллический кремний в максимальном объеме от 4 до 5 т в год, что соответствует полной загрузке только одного ООО «Усолье-Сибирский Силикон». Таким образом, можно сделать вывод о том, что развитие солнечной энергии темпами, обозначенными в правительственных документах, может поддержать некоторых российских производителей кремния, но не способно обеспечить устойчивый спрос на продукцию отрасли в целом.

Исследование по третьему вопросу проведем на наиболее известных примерах мировой практики протекционизма в ветро-

Таблица 7

Показатели производственной деятельности компании Gamesa
(направление «Ветрогенерационное оборудование»*)

Показатели	Год								
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Объем продаж, млн евро	1280	1922	2800	3499	3133	2623	2875	2492	2300
Объем продаж, МВт	1767	2250	3289	3684	3145	2405	2802	2119	1953
Интенсивность НИОКР, %	1,6	1,4	0,9	0,8	1,3	1,5	3,4	4,2	4,5
Производственные затраты, млн евро	1098	1597	2407	2968	2703	2285	2535	2318	2300
Удельные издержки,	1,61	1,41	1,37	1,24	1,16	1,05	1,1	0,91	0,85

*Источник: составлено авторами на основе данных ежегодных отчетов компании.

вой энергетике – бразильской программе PROINFA [14], закону провинции Онтарио Buy Local (Канада) [15] и китайской программе «Концессия Ветровой Энергетики» (Wind Power Concession) [16]. Это наиболее яркие, но не единственные примеры протекционистских мер правительств, направленных на поддержку национальных производств. Практика использования так называемых «требований местного компонента» (local content requirements, LCR) является довольно распространенной в ветровой индустрии [14].

Особенностью ветровой энергетике как отрасли является стимулирование развития местного рынка труда вне зависимости от того, где произведено оборудование для строящихся ветровых парков. Гигантские размеры и сложность эксплуатации ветрового оборудования делают экономически выгодным создание как минимум некоторых звеньев технологической цепи на месте, в той стране или регионе, где ветровой проект непосредственно реализуется. Поэтому многие правительства стали активно использовать практику стимулирования локализации производства как с целью обеспечения ускоренного развития отрасли, так и трансфера технологий в смежные сектора промышленности.

Требования LCR в Бразилии относительно развития ветровой энергетике были заложены в 2002 г. в национальной программе PROINFA, которая начала реализовываться в 2004 г. Программой был установлен минимальный индекс локализации производства 60 %. За время реализации программы (2004–2008 гг.) развитие ветровой энергетике не было столь успешным, как ожидалось, в силу различных причин, однако протекционистская идеология данной программы была унаследована новыми правилами тендеров по закупке оборудования для генерации ветровой энергии, введенными в 2009 г. В частности, правилами запрещен импорт ветровых турбин номинальной мощностью ниже 1,5 МВт. Минимальный индекс лока-

лизации производства новыми правилами не установлен, однако финансирование Бразильского банка развития (BNDES) доступно только для тех ветровых проектов, у которых индекс локализации производства достигает как минимум 60 %. Учитывая тот факт, что BNDES кредитует проекты на очень выгодных условиях, протекционистская политика, основы которой были заложены в программе PROINFA, де факто остается в действии.

Согласно канадскому законодательству в сфере альтернативной энергетике провинции Онтарио (Green Energy Act, 2009) правительством были установлены не только бонусные тарифы на закупку энергии из любых видов возобновляемых источников, но и введены «требования местного компонента», согласно которым условием продажи энергии по бонусным тарифам является минимальный индекс локализации производства 60 % для солнечных проектов и 50 % для наземных ветровых проектов.

Эта инициатива встретила горячую поддержку местного бизнес-сообщества, однако ЕС обозначил Green Energy Act как препятствие на пути создания общего экономического пространства между странами Европы и Канадой. В марте 2012 г. ВТО организовало открытые слушания по вопросу требований Green Energy Act по локализации производства, на которых законодательные инициативы провинции Онтарио были признаны не легитимными.

Говоря о протекционистских мерах китайского правительства, необходимо в первую очередь отметить программу «Концессия Ветровой Энергетики», запущенную в 2006 г. со следующими основными положениями [15, 17]:

- под действие Программы попадают ветровые проекты с суммарной мощностью не менее 100 МВт, использующие ветровые турбины мощностью не менее 600 КВт (запуск эффектов масштаба энергетической установки и масштаба производства [17]);

- 70 % комплектующих ветровой турбины должно производиться в Китае;

К 2007 г. минимальный индекс локализации 70 % уже соблюдался абсолютно во всех китайских ветровых парках. Заметим, что формально данное требование не было обязательным, однако использование его как главного критерия оценки проекта де-факто сделало его обязательным.

Результатами всех трех анализируемых законодательных инициатив стало быстрое развитие ветрового энергетического машиностроения в стране, их принявших [18]. Вслед за открытием производственных мощностей и исследовательских центров крупнейших иностранных компаний – производителей ветроэнергетического оборудования, в этих странах стали появляться и собственные компании энергетического машиностроения. Тем не менее вопрос об экономической эффективности «требований местного компонента» в научной литературе до сих пор остается открытым [14]. Большинство исследователей отмечают, что LCR могут быть эффективными только в том случае, когда требования по минимальному индексу локализации увеличиваются постепенно, а рынок ветроэнергетического оборудования является стабильным и обладает существенным потенциалом [19]. Иначе местные и зарубежные инвесторы и производители не будут иметь достаточной заинтересованности в реализации ветровых проектов. Кроме того, размер рынка должен быть достаточно большим, чтобы эффекты экономии от масштаба производства и эффекты обучения могли реализоваться в полной мере [20]. При этом вопрос о легитимности таких мер практически не обсуждается: все страны – члены ВТО пользуются различными схемами обхода требований равных условий в тех случаях, когда им это выгодно.

Выводы

На сегодняшний день в России созданы базовые нормативно-правовые условия для развития наиболее коммерчески зрелых технологий возобновляемой энергетики

и смежных им отраслей энергетического машиностроения. Темпы введения мощностей возобновляемой энергетики, заложенные в Постановлении Правительства РФ № 499 и Распоряжении Правительства № 861-р, а также методы стимулирования сопутствующих производств, достаточны для достижения эффектов масштаба производства и обучения, а требования по уровню локализации проектов вполне соответствуют мировой практике и могут быть адаптированы к виду, формально не противоречащему условиям ВТО.

Однако ожидаемые темпы роста возобновляемой энергетики не способны обеспечить устойчивый внутренний спрос на продукцию уже имеющихся российских производств нижних переделов (в частности, производств поликристаллического кремния). Таким образом, стимулирование развития данных производств должно осуществляться согласовано с программами развития других отраслей, являющихся потребителями поликристаллического и монокристаллического кремния, например оборонно-промышленного комплекса, электроники и др.

Возможности применения полученных результатов

Полученные результаты могут быть использованы в процессе управления инновационной модернизацией экономики России на базе регулируемого развития новых высокотехнологичных секторов таких структурообразующих отраслей народного хозяйства, как энергетика и энергетическое машиностроение. Данные отрасли на современном этапе развития национальной экономической системы и мировой энергетики в целом обладают высоким рыночным, в том числе экспортным, потенциалом, играют системообразующую роль в российской экономике. В то же время при неизбежной (в долгосрочной перспективе) смене технологических укладов в энергетике экономическое и политическое по-

ложение России в мире будет в значительной степени определяться тем, насколько успешно удастся развить новые отрасли экономики, являющиеся «ядром» нового

технологического уклада, удастся ли стране удержать лидирующие позиции и на новых энергетических рынках – или превратиться в зависимого импортера.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фортов В. Е., Попель О. С. Состояние развития возобновляемых источников энергии в мире и в России // Теплоэнергетика. 2014. № 6. С. 4–13.
2. Ратнер С. В. Основные тенденции развития ветровой энергетики: глобальные тренды и межстрановые сопоставления // Экономический анализ: теория и практика. 2015. № 17. С. 53–64.
3. Ратнер С. В. Стоимостной анализ развития солнечной энергетики в мире и ее перспективы для России // Науч.-техн. ведомости С.-Петерб. гос. политехн. ун-та. 2014. № 3. С. 90–97.
4. Ратнер С. В., Иосифов В. В. Перспективы развития солнечной энергетики в России: стоимостной анализ // Вестн. УрФУ. Серия экономика и управление. 2014. № 4. С. 52–62.
5. Бут А. Новая схема поддержки возобновляемой энергетики на основе платы за мощность: анализ постановления № 499. Вашингтон: Международная финансовая корпорация, 2013. 34 с.
6. Клочков В. В., Критская С. С. Прогнозирование долгосрочных экономических последствий введения санкций против российской высокотехнологичной промышленности (на примере гражданского авиастроения) // Нац. интересы: приоритеты и безопасность. 2014. № 41. С. 4–25.
7. Критская С. С., Клочков В. В. Анализ перспектив развития авиационной промышленности с учетом угрозы введения санкций против российской экономики // Нац. интересы: приоритеты и безопасность. 2014. № 40. С. 12–25.
8. Авдонин Б. Н., Батьковский А. М., Хрусталева Е. Ю. Оптимизация управления развитием оборонно-промышленного комплекса в современных условиях // Электрон. промышленность. 2014. № 3. С. 48–58.
9. Батьковский А. М., Калачанов В. Д., Хрусталева Е. Ю. Анализ инновационного развития российской экономики и оборонно-промышленного комплекса страны // Вопр. радиоэлектроники. 2015. № 5 (5). С. 204–221.
10. Хендерсен Б. Д. Продуктовый портфель // Бостонская консалтинговая группа BCG Review: Дайджест. М.: Бостонская консалтинговая группа, 2008.
11. Yingli Solar Annual report. Beijing: Yingli Solar, 2009.
12. Gamesa Annual Report 2013. Madrid: GAMESA CORPORACIÓN TECNOLÓGICA S.A., 2014. 85 p.
13. Ратнер С. В., Иосифов В. В. Исследование закономерностей развития новых высокотехнологичных отраслей экономики в энергетической сфере // Эконом. анализ: теория и практика. 2014. № 28. С. 25–32.
14. Global Wind Report. Annual Market Update 2013. Brussels: GWEC, 2014. 80 p.
15. Mabee W. E., Mannion J., Carpenter T. Comparing the feed-in tariff incentives for renewable electricity in Ontario and Germany // Energy Policy. 2012. No. 40. P. 480–489.
16. Hu Z., Wang J., Byrne J., Kurdgelashvili L. Review of wind power tariff pol-

- icies in China // *Energy Policy*. 2012. No. 53. P. 41–50.
17. Lo K. A Critical review of China rapidly developing renewable energy and energy policies // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. No. 29. P. 508–516.
18. Schuman S., Lin A. China's Renewable Energy Law and its impact on renewable power in China: progress, challenges and recommendations for improving implementation // *Energy Policy*. 2012. No. 51. P. 89–109.
19. Zhao Z.Y., Zuo J., Fan L.L., Zillante G. Impacts of renewable energy regulations on the structure of power generation in China – a critical analysis // *Renewable Energy*. 2011. No. 36. P. 4–30.
20. Lewis J., Ryan W. Fostering a Renewable Energy Technology Industry // *Environmental Energy Technologies Division, Ernesto Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory*. 2005. No 30.

Ratner S.V., doctor of economics, associate professor,
Institute of Control Science, Russian Academy of Science,
Moscow, Russia,

Iosifov V.V., candidate of technical sciences, associate professor,
Kuban State University of Technology,
Krasnodar, Russia

BUSINESS FEASIBILITY OF ENERGY ENGINEERING FOR RENEWABLE ENERGY IN RUSSIA

This article analyses the pace of development of the most commercially mature renewable energy technologies (wind, solar), laid down in the basic legal documents that define the state policy of Russia on new energy technologies until 2020. The main attention is paid to issues of economic feasibility of the development of related industries, such as wind power engineering and production of photovoltaic components and systems, as well as the production of polycrystalline silicon. The theoretical basis of the study is the methodology of the Boston Consulting Group, which links production volumes with the economies of scale and learning. We have used methods of comparative analysis, statistical analysis and case studies. Case studies were carried out on the basis of annual reports of such companies as Yingli Solar (China), First Solar (USA) and Gamesa (Spain) for the period of 2012-2014. The companies represent, respectively, the industries of silicon photovoltaic, thin-film photovoltaic and wind engineering.

The study concluded that the pace of introduction of renewable energy capacity, as laid down in decrees No 499 and No 861, as well as related production incentives, are sufficient to achieve the economies of scale and learning effect. The requirements for project localization are consistent with international practice and do not formally contradict the conditions of the WTO. At the same time, the expected growth in renewable energy is unable to provide stable domestic demand for the existing Russian production of polycrystalline silicon.

Key words: renewable energy, innovation, economic analysis, learning effect, power engineering.

References

1. Fortov, V.E., Popel', O.S. (2014). Sostoianie razvitiia vobnovliaemykh istochnikov energii v mire i v Rossii [Development of renewable energy in Russia and globally]. *Teploenergetika [Thermal engineering]*, No 6, 4–13.
2. Ratner, S.V. (2015). Osnovnye tendentsii razvitiia vetrovoi energetiki: global'nye trendy i mezhranovye sopostavleniia [Major trends in the wind energy development: global trends and cross-country comparisons]. *Ekonomicheskii analiz: teoriia i praktika [Economic analysis: theory and practice]*, No 17, 53–64.
3. Ratner, S.V. (2014). Stoimostnoi analiz razvitiia solnechnoi energetiki v mire i ee perspektivy dlia Rossii [Cost analysis of solar energy development globally and prospects for Russia]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU [St. Petersburg State Polytechnical University Journal]*, No 3, 90–97.
4. Ratner, S.V., Iosifov, V.V. (2014). Perspektivy razvitiia solnechnoi energetiki v Rossii: stoimostnoi analiz [Prospects for the development of solar energy in Russia: cost analysis]. *Vestnik UrFU. Seriya ekonomika i upravlenie [Bulletin of UrFU. Series Economics and Management]*, No 4, 52–62.
5. Boute, A. (2013). *Russia's New Capacity-based Renewable Energy Support Scheme. An analysis of Decree No 449*. Washington, IFC.
6. Klochkov, V.V., Kritskaia, S.S. (2014). Prognozirovanie dolgosrochnykh ekonomicheskikh posledstviivvedeniia sanktsii protiv rossiiskoi vysokotekhnologichnoi promyshlennosti (na primere grazhdanskogo aviaostroeniia) [Prediction of the long-term economic impact of the sanctions against the Russian high-tech industry (a case of civil aviation industry)]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'* [National interests: Priorities and security], No 41, 14–25.
7. Kritskaia, S.S., Klochkov, V.V. (2014). Analiz perspektiv razvitiia aviatsionnoi promyshlennosti s uchetom ugrozy vvedeniia sanktsii protiv rossiiskoi ekonomiki. [Analysis of the prospects of the aviation industry in view of the threat of the imposition of sanctions on Russian economy]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'* [National interests: Priorities and security], No 40, 12–25.
8. Avdonin, B.N., Bat'kovskii, A.M., Khrustalev, E.Iu. (2014). Optimizatsiia upravleniia razvitiem oboronno-promyshlennogo kompleksa v sovremennykh usloviakh [Optimization of development management in defence industry under present conditions]. *Elektronnaia promyshlennost' [Electronics Industry]*, No 3, 48–58.
9. Bat'kovskii, A.M., Kalachanov, V.D., Khrustalev, E.Iu. (2015). Analiz innovatsionnogo razvitiia rossiiskoi ekonomiki i oboronno-promyshlennogo kompleksa strany [Analysis of innovative development of Russian economy and national defence industry]. *Voprosy Radioelektroniki [Problems of Radio Electronics]*, No 5 (5), 204–221.
10. Henderson, B. (2008). *The Product Portfolio*. BCG Perspectives series. Boston Consulting Group.
11. Yingli Solar Annual report (2009). Beijing, Yingli Solar, 2009.
12. Gamesa Annual Report 2013 (2014). Madrid, GAMESA CORPORACIÓN TECNOLÓGICA S.A., 85.
13. Ratner, S.V., Iosifov, V.V. (2014). Issledovanie zakonornostei razvitiia novykh vysokotekhnologichnykh otraslei ekonomiki v energeticheskoi sfere [Study on the regularities of the development of

- new high-tech industries in the energy sector] *Ekonomicheskii analiz: teoriia i praktika [Economic analysis: theory and practice]*, No 28, 25–32.
14. Global Wind Report. Annual Market Update 2013 (2014). Brussels, GWEC, 80.
 15. Mabee, W.E., Mannion, J., Carpenter, T. (2012). Comparing the feed-in tariff incentives for renewable electricity in Ontario and Germany. *Energy Policy*, No 40, 480–489.
 16. Hu, Z., Wang, J., Byrne, J., Kurdge-lashvili, L. (2012). Review of wind power tariff policies in China. *Energy Policy*, No. 53, 41–50.
 17. Lo, K. (2014). A Critical review of China rapidly developing renewable energy and energy policies. *Renew-able and Sustainable Energy Reviews*, No. 29, 508–516.
 18. Schuman, S., Lin, A. (2012). China's Renewable Energy Law and its impact on renewable power in China: progress, challenges and recommendations for improving implementation. *Energy Policy*, No. 51, 89–109.
 19. Zhao, Z.Y., Zuo, J., Fan, L.L., Zillante, G. (2011). Impacts of renewable energy regulations on the structure of power generation in China – a critical analysis. *Renewable Energy*, No. 36, 24–30.
 20. Lewis, J., Ryan, W. (2005). Fostering a Renewable Energy Technology Industry. *Environmental Energy Technologies Division, Ernesto Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory*, No 30.

Information about the authors

Ratner Svetlana Valerievna – Doctor of Economics, Associate Professor, Leading Researcher, Laboratory of Economic Dynamics and Innovation Management, Institute of Control Sciences, Russian Academy of Science, Moscow, Russia (117997, Moscow, Profsoyuznaya street, 65); e-mail: lanaratner@gmail.com.

Iosifov Valery Victorovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of Mechanical Engineering, Kuban State University of Technology, Krasnodar, Russia (350000, Krasnodar, Krasnaya street, 135); e-mail: iosifov@kstu.ru.