

Динамика инновационной деятельности традиционной и возобновляемой энергетики. Сравнительный анализ

doi

Становление новой промышленной революции в мире сопровождается созданием инноваций в мировой экономике, в том числе в сфере энергетики. Научные открытия и прорывные технологии становятся особо востребованы для производства электроэнергии, которая может вырабатываться из разных источников — от все еще доминирующих традиционных до быстрорастущих возобновляемых. От степени инновационности источников энергии зависит их роль в структуре электроэнергетики в будущем. Для определения перспективных источников генерации необходимо сравнить текущих лидеров — угольную и газовую генерацию, и претендующих на лидерство — быстрорастущие солнечную и ветровую генерации, по базовым характеристикам инновационной деятельности — расходам на ИР и патентной активности. При этом представляется важным выделить роль новых участников инновационного процесса — НКО в научно-исследовательской сфере, международных исследовательских партнерств и энергетических стартапов.

Ключевые слова: новая промышленная революция, цифровая экономика, электроэнергетика, углеводороды, возобновляемая энергия, сравнительный анализ, инновационная деятельность, расходы на исследования и разработки, патентный анализ, стартапы, некоммерческие организации, международные исследовательские партнерства.

Два глобальных тренда — новая промышленная революция и цифровая экономика, могут кардинально изменить соотношение традиционных и возобновляемых источников генерации. Оговоримся, что само понятие «возобновляемые источники» меняется с течением времени: в 1970-е гг. строили крупные гидро- и атомные электростанции, в 1990-е выращивали сельскохозяйственные культуры для биотоплива, а в начале 2000-х установили эталонные возобновляемые источники в виде солнечной и ветровой энергии. Ядерные реакторы на быстрых нейтронах и технологии создания замкнутого ядерного цикла были отнесены к возобновляемым источникам энергии (далее — ВИЭ) согласно резолюции № 38/161 Генеральной Ассамблеи ООН от 19.09.1983 г. [1]. Дискусии о «возобновляемости» атомной энергетики продолжаются до сих пор [2]. Международное агентство по ВИЭ (IRENA) в своем глоссарии выделяет только пять видов ВИЭ: солнечная, ветровая, геотермальная, биомасса и гидро [3]. Гидроресурсы также не всегда относятся к категории ВИЭ. Федеральным законодательством США только малые ГЭС (до 30 МВт) без сооружения дополнительных дамб признаются в качестве ВИЭ [4]. В России строительство малых ГЭС, как правило, связано с возведением новых дамб, что не мешает относить эти объекты к ВИЭ согласно ФЗ от 26.03.2003 г. № 35 «Об электроэнергетике».



Н. В. Горбачева,
к. э. н., доцент, старший научный сотрудник,
Институт экономики и организации
промышленного производства СО РАН,
Сибирский институт — филиал РАНХиГС
e-mail:

В настоящее время электроэнергетика является самым крупным отраслевым потребителем первичной энергии — использует более 40% всей первичной энергии в мире и ожидается, что спрос на электроэнергию будет расти на 1,5% ежегодно до 2035 г. [5, 6]. При этом электроэнергия может производиться из разных источников — в 2017 г. электроэнергия в мире была выработана на 38,3 % за счет угля, 23,1 — природного газа, 3,7 — нефти, 10,4 — атомной энергии, 16,6 — гидроисточников, 5,6 — возобновляемых источников и на 2,3 % — биомассы и бытовых отходов. С 1998 по 2018 гг. доля угольной генерации практически не изменилась. Однако возобновляемая энергетика, генерирующая пока небольшой объем электроэнергии, имеет самые высокие ежегодные темпы роста — солнечная и ветровая энергетика дают наибольший прирост: соответственно 21,9 и 15,1% в 2017 г. Топливная генерация, наоборот, показывает отрицательную динамику: использование нефти для выработки электроэнергии снизилось на 7,1 %, природного газа — на 1,6% и угля — на 0,7% [7].

Возможность варьирования источников производства электроэнергии определяет необходимость сравнить главные источники традиционной энергетики — газовую и угольную генерацию, и быстрорастущие возобновляемые источники — солнечную и ветровую энергии. Сравнение источников энергии

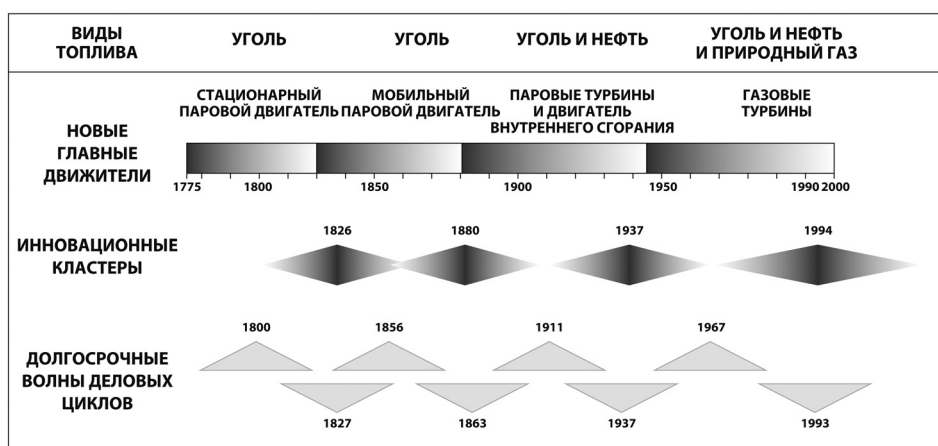


Рис. 1. Новые виды энергии и двигатели в динамике деловых циклов и инновационных кластеров

Источник: адаптировано автором на основе [9]

предлагается провести по принципу инновационности как способности создавать новые процессы выработки электроэнергии посредством использования кардинально новых продуктов и технологий на основе исследований и разработок (далее — ИР), осуществляемых в контексте новой индустриальной революции и цифровой экономики.

Американские ученые R. K. Lester и D. M. Hart полагают, что энергетика — «это труднейшая среда для инноваций», так как требует больших инвестиций и организационных усилий [8]. Взаимосвязь энергетических и инновационных процессов убедительно показал V. Smil, который сопоставил виды топлива и волны деловых циклов J. Schumpeter, а также инновационные кластеры G. Mensch: «эти теории безошибочно показали корреляцию между, с одной стороны, новыми источниками энергии и двигателями а, с другой стороны, ускорением инвестиций в инновации» [9]. Внедрение новых источников и двигателей энергии образует новые кластеры постепенных усовершенствований и фундаментальных технологических инноваций (рис. 1).

Несмотря на различия в классификации современного этапа развития мировой экономики¹ эксперты едины в понимании необходимости «возврата» именно к промышленному производству на основе использования новых материалов, прорывных технологий и выпуска совершенно новой продукции, что отразится на энергетике. Новые материалы, например нанотрубки или графен, который в 200 раз прочнее стали и лучше проводит электроэнергию, чем медь, и другие композитные материалы позволяют снизить материалоемкость конструкций, увеличить сверхпроводимость для строительства ультравысоковольтных линий электропередач. Новые аддитивные технологии используются при дизайне и производстве энергооборудования. Новые продукты — электромобили, низкоэмиссионные продукты, неорганические перовскитные солнечные батареи взамен кремниевых, промышленные аккумуляторы большой емкости, крупные дата-центры, нуждаются в дополнительной электроэнергии.

Эксперты по-разному расставляют приоритеты инновационного развития энергетики. По мнению П. Марша, выгоды традиционной энергетики связаны с внедрением небольших тепловых станций, которые вырабатывают одновременно тепло и электроэнергию на основе нового типа генератора Стирлинга и могут быть автономно размещены в пределах одного или нескольких жилых домов [10]. Перспективными возобновляемыми источниками автор считает энергию волн и солнца, технические характеристики и стоимость производств такого вида энергии должны в ближайшем будущем кардинально улучшиться. По К. Швабу, будущее энергетики — за когенерацией (тепло- и электроэнергия) и тригенерацией (тепло-, электроэнергия, охлаждение), а также распределительными сетями и возобновляемой энергией, которая будет вырабатываться на местном уровне, что «сыграет революционную роль для цепочек поставок и поддержит возможности трехмерной печати деталей по требованию даже в отдельной местности» [11]. Четыре столпа будущей энергетики выделил Дж. Рифкин:

- 1) возобновляемые источники (ветер и солнце);
- 2) превращение зданий в электростанции;
- 3) частичное накопление энергии за счет водорода;
- 4) энергетический Интернет [12].

Последний ассоциируется также с новым явлением, так называемой цифровой экономикой, которая появилась в контексте новой индустриализации, но затем выделилась в самостоятельный тренд, который открыл возможности для оптимизации деятельности во многих секторах экономики, в том числе в энергетике [13-16].

Неопределенность в оценке энергетического выбора и разнообразие взглядов присутствуют и в академической среде России. Так, академик Ж. И. Алферов считает, что будущее за возобновляемой энергетикой: «...к середине XXI века будут получены новые наноматериалы для фотоэнергетики, которые смогут обеспечить человечество дешевой электроэнергией за счет прямого преобразования солнечной энергии» [17]. По мнению академика О. Н. Фаворского, напротив,

¹ Новая промышленная революция, пятая по счету, по П. Маршу и К. Андерсону, третья индустриальная революция по Дж. Рифкину, четвертая индустриальная революция по Г. Роузу и К. Швабу.

будущее — за газовой генерацией и для России «при сохранении современного расхода газа можно увеличить при необходимости до 60% производство электроэнергии» [18]. А. Г. Тумановский выступает за ренессанс угольной генерации и указывает на разнообразные инновационные решения для экологизации сжигания угля при производстве электроэнергии [19].

В силу сказанного представляется важным оценить перспективность того или иного источника энергии — традиционной и возобновляемой, по двум определяющим параметрам инновационной деятельности — расходам на ИР и уровню патентования. Методология исследования базируется на сравнительном анализе преимуществ и недостатков по каждому параметру и выявлении перехода положительных характеристик в отрицательные эффекты. При этом особое внимание уделяется новым участникам инновационной деятельности — некоммерческим организациям, международным исследовательским партнерствам и энергетическим стартапам.

Расходы на исследования и разработки в традиционной и возобновляемой энергетике

Расходы на исследования и разработки, как убедительно показано в работах по инновационной экономике [20, 21], выступают важным индикатором инновационного характера отрасли и играют ключевую роль в обеспечении конкурентоспособности источников энергии. Стоит отметить, что электроэнергетика известна своим двойственным характером в инновационной сфере. Дуализм проявляется в том, что энергетика, основанная на традиционных источниках выступает как реципиент инноваций, а основанная на возобновляемых источниках — как агент инноваций. Это следует принимать во внимание при анализе статистических данных по инновационной деятельности в электроэнергетике.

Динамика расходов на ИР в сфере мировой энергетики демонстрирует интересную ситуацию. Во-первых, в зрелую топливную энергетику направляется в 2,5 раза больше средств на ИР в абсолютном выражении, нежели в возобновляемую, и, во-вторых, исследовательский интерес к традиционной энергетике проявляет не государство, а частный сектор по тематикам с предсказуемой рентабельностью — нефтегазовый сектор, трансмиссионный бизнес и тепловые электростанции (рис. 2). Разработки же по ВИЭ наполовину зависят от финансирования со стороны государства.

В то же время, традиционная энергетика, несмотря на лидерство по объемам расходов, остается сектором с низкой интенсивностью исследований и разработок. Генерирующие и добывающие энергокомпании вкладывают около 0,4% своих доходов в исследовательские программы с высокой капиталоемкостью. Инновационным флагманом традиционной энергетике остается энергетическое машиностроение, которое вкладывает 3,5% доходов компаний в исследования и разработки. Абсолютным мировым лидером является General Electric² с бюджетом ИР 4536 млн евро в 2017 г., что составляет 3,9% чистой выручки компании (табл. 1). Для сравнения, ее ближайший конкурент в России — компания «Силовые машины» потратила на НИОКР 64 млн руб. (или 0,12%) выручки в 2017 г.

Главным бенефициаром инноваций в традиционной энергетике стала газовая генерация. Радикальные технологические усовершенствования газотурбин в 1990-е гг. сделали газ наиболее гибким и многоцелевым топливом. После нескольких лет конкуренции две (ABB, Westinghouse) из четырех крупнейших энергомашиностроительных компании покинули отрасль. Залогом успеха оставшихся двух, GE и Siemens, стали высокие расходы на ИР, концентрация на небольшом количестве прорывных газотурбинных технологий, а также надежное и быстрое устранение неполадок в процессе эксплуатации новых установок [24]. Именно

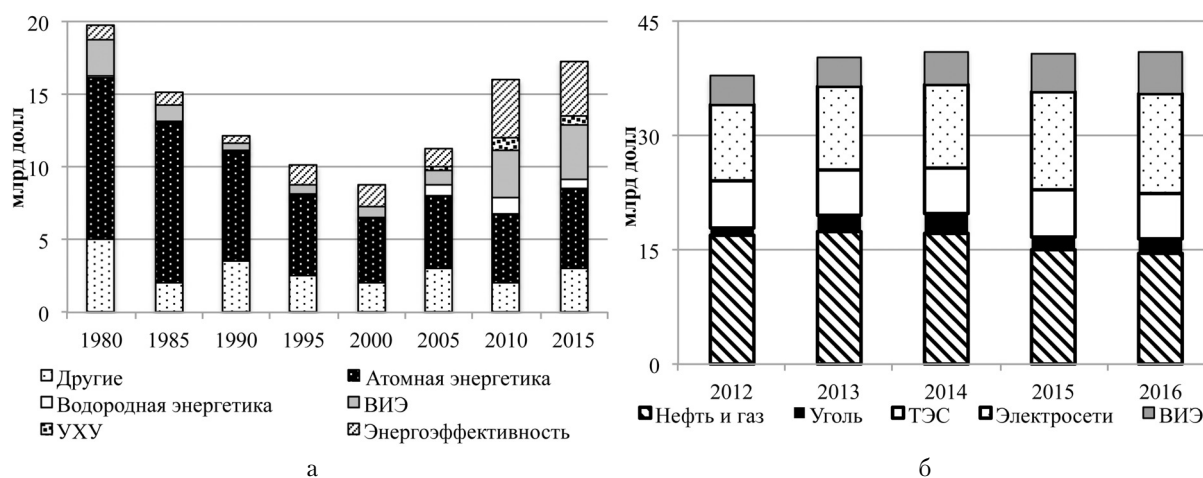


Рис. 2. Расходы на исследования и разработки в мировой энергетике, в ценах 2016 г.: а — государство, б — частный сектор

Источник: составлено автором на основе [22]

² Компания General Electric имеет диверсифицированный портфель заказов, связанный не только с традиционной, но и с возобновляемой энергетикой [23]. Однако согласно классификации EU Industrial R&D Investment Scoreboard, компания относится к категории энергомашиностроительных компаний, а не представителей возобновляемой энергетики, по-видимому, за счет всетаки преобладания традиционных активов в структуре бизнеса.

Топ-5 энергетических компаний, входящих рейтинг 2500 компаний
с наибольшими в мире расходами на исследования и разработки за 2017 г.

Компания	Страна	Расходы ИР, млн евро	Интенсив- ность, ИР* %	Рентабель- ность**, %	Капиталоем- кость***, %	Кол-во работ- ников, тыс. чел.
Возобновляемая энергетика						
VESTAS WIND SYSTEMS	Дания	198,0	1,9	13,9	2,8	21,8
FIRST SOLAR	США	118,4	4,2	10,7	7,8	5,4
NORDEX	Германия	77,6	2,3	4,9	3,1	5,1
SMA SOLAR TECHNOLOGY	Германия	70,6	7,5	6,7	1,6	3,9
HANERGY SOLAR	Китай	69,4	12,7	16,0	4,3	3,2
SENVION	Люксембург	68,3	3,1	-1,3	2,6	4,6
Традиционная электроэнергетика						
ELECTRICITE DE FRANCE	Франция	659,0	0,9	11,2	18,6	154,8
KOREA ELECTRIC POWER	Юж.Корея	595,1	1,3	19,9	20,2	43,7
CHINA ENERGY ENGINEERING	Китай	387,1	1,3	5,1	2,2	133,6
IBERDROLA	Испания	211,4	0,7	16,3	16,2	28,4
TOKYO ELECTRIC POWER	Япония	140,1	0,3	4,8	10,5	42,1
Добывающие компании						
PETROCHINA	Китай	1532,5	0,7	4,2	11,2	508,8
EXXON MOBIL	США	1003,7	0,5	0,4	7,4	71,1
TOTAL	Франция	996,1	0,8	4,3	14,2	102,2
ROYAL DUTCH SHELL	Великобритания	962,0	0,4	2,4	9,5	92,0
CHINA PETROLEUM & CHEMICALS	Китай	811,0	0,3	4,2	3,5	451,6
Энергомашиностроение						
GENERAL ELECTRIC	США	4536,6	3,9	5,8	8,3	295,0
TOSHIBA	Япония	2399,8	6,1	3,3	5,9	153,5
HONEYWELL	США	2033,0	5,5	2,8	16,7	131,0
PHILIPS	Нидерланды	2008,0	7,7	1,7	8,4	114,7
ЗМ	США	1162,1	4,1	4,7	24,0	91,6

Примечание: * — интенсивность ИР рассчитывается как отношение расходов на ИР к чистой выручке компании; ** — рентабельность показывает отношение операционной прибыли к чистой выручке компании; *** — капиталоемкость вычисляется как отношение инвестиций в основной капитал (капвложения, CAPEX) к чистой выручке компании.

Источник: составлено автором на основе The 2017 EU Industrial R&D Investment Scoreboard

последний фактор характеризует эффективность инновационных технологий в традиционной энергетике, которая высокочувствительна к простоям и сбоям в работе энергоблоков. Сланцевая революция 2000-х гг. стала гарантом еще одного достоинства газовой генерации — относительно низких цен на газ, что особенно важно для газовой выработки, где затраты на топливо составляют до 60% в общей структуре операционных затрат.

Все это предоставило фору газу перед угольной генерацией, которая также имеет прорывные разработки, как показано в наших работах [25, 26]. Либерализация электроэнергетики в 1990-е гг. во многих развитых странах привела к тому, что угольная генерация стала для бизнеса менее привлекательной, несмотря на радикальные технические усовершенствования, так как их сложнее и дольше внедрять, чем в газовую генерацию, а возрастающие технологические риски и невозвратные издержки в условиях усиливающейся межтопливной конкуренции все труднее переложить на потребителей. Очевидно, что будучи самым распространенным источником энергии в мире угольная генерация обладает высоким потенциалом для развертывания «эффекта масштаба» при технологическом перевооружении существующих станций. Отрасль испытывает хро-

ническое недофинансирование со стороны государства при создании новейших прототипов небольшой мощности и пилотных промышленных образцов. Для восполнения недостатка финансирования Международное энергетическое агентство поддерживает две инициативы по инновационной тематике. Первое направление — разработка сверхмощных угольных энергоблоков с высокими эффективностью и экологическими стандартами. Первый пилотный образец The Taizhou Power Plant мощностью 700 МВт запущен в китайском городе Тайчжоу [27]. Второе направление — создание маневренных, работающих в спорадическом режиме, небольших энергоблоков. Исследования по этой тематике ведутся по программе «STEP» в американской лаборатории NETL [28].

Проигрывая в абсолютных значениях по расходам на ИР, возобновляемая энергетика превосходит традиционную электроэнергетику по интенсивности вложений в ИР (см. табл. 1). Самые крупные среди ВИЭ исследовательские бюджеты принадлежат датской Vestas (в 2017 г. 198 млн евро, или 1,9% дохода) и американской First Solar (118/4,2%), что превышает затраты на ИР многих средних нефтегазовых компаний, таких как китайская CNOOC или венесуэльская Petroleos. Крупнейший российский

инвестор в солнечную энергетику компания «Хевел» в 2017 г. потратила 4% выручки на ИР (200 млн руб. или \$8,7 млн по валютному курсу рубля по ППС в 2017 г.), что в разы меньше ее главного конкурента — американской SunPower, которая затратила 11% доходов (или \$116 млн) на ИР в 2017 г.

Возобновляемая энергетика, как и энергомашиностроение, привлекая для выполнения работ высококвалифицированные кадры, обеспечивает высокие показатели объема ИР на одного занятого: 15-20 тыс. евро против 7-10 тыс. евро в генерирующих и добывающих компаниях. В России самые крупные вложения в ИР на одного занятого осуществляет компания «Роснефть» — 137,67 тыс руб. (примерно 4 тыс. евро по валютному курсу рубля по ППС в 2017 г.), что соответствует китайским лидерам в отрасли, но в несколько раз меньше американских и европейских представителей [29].

В то же время рост расходов на ИР в сфере ВИЭ сопряжен с существенными недостатками — вероятностью монополизации и технологической блокировки прорывных направлений.

Согласно популярной теории кривых обучений, рост расходов на ИР ведет к снижению стоимости передовых технологий за счет получения дополнительных знаний и производственного опыта, который необходим для усовершенствования технологии при дальнейшем ее масштабировании [30, 31]. Считается, что эффект обучения во многом объясняет успех солнечной и ветровой генерации с началом инвестиционного бума середины 2010-х гг. Но этот эффект ограничен в силу ряда причин. Во-первых, не учитывается вклад смежных направлений, например, вложения в сектор полупроводников и космические исследования, которые обеспечили фундаментальные открытия в сфере ВИЭ в 1970-е гг. [32]. Во-вторых, по мере роста инвестиций и производства возникает другой эффект — экономии на масштабе, когда на единицу дополнительной продукции приходится все меньше постоянных издержек.

Разграничения между двумя эффектами — обучением и экономией на масштабе весьма условна, но их последствия, с экономической точки зрения, существенны. Если в случае с эффектом обучения господдержка стимулирует научный поиск и коммерческую заинтересованность в прорывных технологиях, то в случае с эффектом масштаба происходят монополизация рынка со стороны доминирующих разработок и блокировка фундаментальных исследований, даже если они радикально превосходят существующие аналоги. Известный эксперт V. Sivaram указывает на факторы такой технологической «блокировки» в сфере ВИЭ в мире — инвестиции направляются не на разработку перспективных технологий, а на их тиражирование и незначительные улучшения [33]. Например, кремниевые солнечные панели, на долю которых приходится 90% мирового производства панелей, дают низкую маржу вследствие агрессивной конкуренции со стороны Китая, поэтому ощущается острая нехватка в поддержке государством именно фундаментальных исследований (например, неорганических перовскитных солнечных батарей), которые позволят увеличить добавленную стоимость

в отрасли, что привлечет бизнес. V. Sivaram отмечает необходимость господдержки исследований и разработок посредством создания совместных с бизнесом лабораторий, выпуска пилотных промышленных образцов и размещения госзаказов на опытное производство только новейшей, а не уже существующей продукции. Для этого требуются как технологии, так и стратегия, ориентированная на развитие инновационной и промышленной деятельности внутри страны, а не вовне, как в случае с двумя крупнейшими американскими производителями солнечных панелей, SunPower и First Solar, чья инновационная деятельность сосредоточена в США, а промышленная — за рубежом.

Риски «технологической блокировки» имеют место и в самом Китае. Согласно исследованию Tain-Ju Chen, промышленная политика Китая привела к значительному удешевлению производства солнечных панелей, до 80% которых идут на экспорт [34]. В настоящий момент потенциал от эффекта масштаба исчерпан, так как наблюдаются монополизация и перепроизводство кремниевых панелей, где несколько крупных частных компаний тесно аффилированы с местной властью и получают значительные дотации от китайского правительства. Эффект масштаба в Китае начинает блокировать конкуренцию и рост эффективности технологий солнечной генерации.

Подобная ситуация может возникнуть и в России, где крупнейший производитель солнечных панелей «Хевел» претендует на не менее чем 50% российского рынка солнечной энергетики и намерен до 2022 г. построить 1 ГВт солнечных электростанций в стране из 1,7 ГВт, которые планирует поддержать Минэнерго [35]. Будучи «слишком большой, чтобы упасть» и со скромными расходами на ИР компания «Хевел» способна превратить строительство солнечных электростанций в России в «обычный бизнес» без инновационного компонента.

Другой неожиданный эффект, отмеченный в ряде работ, — нецелевое использование и неэффективное управление расходами на ИР. Как показано в [36], в рамках многих научно-исследовательских проектов по энергетике, поддержанных правительствами в Юго-Восточной Азии, деньги налогоплательщиков не только тратились нецелевым образом, но и использовались в коррупционных схемах. В российской практике также имеются примеры подобного нецелевого расходования ИР, например, в возобновляемой энергетике расследуется уголовное дело о хищении более 1 млрд бюджетных рублей, которые в 2008-2010 гг. были направлены «Росатомом» на реализацию исследовательского проекта по созданию солнечных батарей в Абхазии на базе Сухумского физико-технического института [37].

Роль некоммерческого сектора в сфере исследований и разработок в энергетике

За последние десять лет в инновационной сфере возросла роль некоммерческих организаций, так называемого третьего сектора экономики, объем вложений которых увеличился в 1,8 раза за период 1995 по 2015 гг., таким образом, частные НКО обеспечили

2,4% глобальных расходов на исследования и разработки в 2015 г. [38]. Оказалось, согласно проведенному автором анализу данных, НКО активно поддерживают исследовательские проекты в сфере ВИЭ, что позволяет компенсировать недостаток финансирования ИП со стороны бизнеса. Помимо прямого финансирования инновационных проектов и выполнения исследовательских программ, некоммерческие организации также реализуют гуманитарные и общественные инициативы по формированию позитивного восприятия обществом ВИЭ по контрасту с «грязным» имиджем углеводородной энергетики.

Автором были проанализированы направления вложений 66 самых крупных филантропов в мире и

выявлена 21 некоммерческая организация, которые получили гранты в размере свыше \$50 млн для развития возобновляемой энергетики и по смежным проблемам — исследования изменения климата, окружающей среды и здоровья населения (табл. 2). Примечательно, что ни один проект по углеводородной тематике не поддержан ни одним из этих НКО.

Привлекая НКО, возобновляемая энергетика диверсифицирует каналы финансирования ИП и в случае отсутствия должной поддержки недостающие расходы компенсируются. Также НКО выступают важным просветителем в сфере «чистой» энергетики и служат транслятором экологических ценностей посредством запуска образовательных программ и

Таблица 2

Крупнейшие фонды и филантропы, которые предоставляют свыше \$50 млн некоммерческим организациям для развития возобновляемой энергетики по смежным тематикам в период с 2000 по 2017 гг.

	Фонды и филантропы	Организация-реципиент	Бюджет одного проекта, \$ млн	Цель
1	Bill & Melinda Gates Foundation	Более 65 НКО	500	Поддержка передовых проектов в сфере ВИЭ, защите окружающей среды и здоровья населения
2	William and Flora Hewlett Foundation	ClimateWorks Foundation	461	Запуск международной программы по борьбе с изменением климата
3	Gordon and Betty Moore Foundation	Conservation International	261	Выявление качества окружающей среды и защита диверсификации биосферы по всему миру
4	Ted Turner	Nuclear Threat Initiative	250	Снижение угрозы от атомной энергетики
5	Mary Joan Palevsky	California Community Foundation	200	Поддержка образовательных программ и технологической доступности ВИЭ для «уязвимых» групп населения
6	Robert E. and Dorothy King	Stanford University	150	Поддержка лидеров в сфере «зеленых» инициатив для борьбы с бедностью в развивающихся странах
7	David Gundlach	Elkhart County Community Foundation	125	Развитие ВИЭ в Индии
8	William and Flora Hewlett Foundation	ClimateWorks Foundation	100	Поддержка деятельности по борьбе с изменением климата
9	George Soros	Fund for Policy Reform	100	Поддержка сторонников концепции изменения климата
10	Susan Thompson Buffett Foundation	Population Service International	76	Поддержка глобального здоровья населения
11	Rotary International	World Health Organization	75	Поддержка глобальных инициатив по профилактике заболеваний органов дыхательных путей, вызванных загрязнением воздуха
12	Foundation for Deep Ecology	Conservation Land Trust	70	Поддержка деятельности по защите окружающей среды
13	Selly Reahard	Nature Conservancy	70	Защита плодородия почв и природной среды в Индии
14	David and Lucile Packard Foundation	ClimateWorks Foundation	66	Глобальное снижение эмиссии парниковых газов и предотвращение изменения климата
15	Willy Endowment, Inc.	United Way	60	Поддержка через специально созданный фонд Capital Projects Fund образовательных программ для взрослых, курсов повышения квалификации в сфере ВИЭ.
16	Michael Bloomberg	Sierra Club Foundation	50	Заккрытие как минимум одной трети угольных электростанций в США посредством инициатив с самых «низов»
17	Waren Buffet	Nuclear Threat Initiative	50	Создание международного банка топлива для атомных реакций с целью использования этих «заготовок» на атомных электростанциях по всему миру вместо налаживания собственного обогащения урана
18	Jay A. Precourt	Stanford University	50	Финансирование альтернативных энергетических исследований
19	Al Gore	Alliance for Climate Protection	50	Поддержка исследований в области изменения климата и «чистых» источников энергии (ВИЭ)
20	Tom Steyer	Energy Foundation	50	Поддержка инициатив в США и Китае с целью формирования новой экономики в энергетике, базирующейся на чистых источниках энергии
21	Mark Tercek	Nature Conservancy	50	Продвижение ценностей защиты природы, земельных и водных ресурсов с целью перехода от традиционной (угольной) к возобновляемой энергетике

Источник: составлено автором на основе рейтинга Indiana University's Million Dollar List, мониторинга The Chronicle of Philanthropy и ежегодных отчетов о финансовой и основной деятельности, представленных в открытом доступе на сайтах некоммерческих и неправительственных организаций

научных инициатив в крупных исследовательских центрах и университетах. Например, Целевой фонд (Эндаумент) Стенфордского университета как один из крупнейших в США образовательных центров осуществлял разнообразные программы в области ископаемых видов топлива, в том числе и по угольной тематике, но за период с 2014 по 2016 гг. прекратил их финансирование и вместо этого запустил ряд направлений по возобновляемой энергетике.

Конечно, традиционная энергетика пытается уловить новый тренд и создала немногие по числу, но весьма крупные НКО с целью финансирования ИР, прежде всего, по «чувствительным» проблемам углеводородного бизнеса — экологии и климату. Например, в 2016 г. была создана Oil & Gas Climate Initiative, учредителями которой являются 13 компаний, работающих в 130 странах и производящих 30% нефти и газа в мире. Но к недостаткам этой деятельности следует отнести отсутствие единого видения среди компаний-учредителей относительно инновационного преобразования нефтегазового сектора. Так, в 2017 г. одна из ключевых компаний альянса — компания BP направила \$6,3 млрд на ИР в области декарбонизации и в то же время выделила \$13 млн на блокировку кампании по введению налога на углерод в штате Вашингтон [39]. Такая двойственная позиция этого НКО в сфере традиционной энергетике девальвирует подлинный инновационный характер исследовательских проектов и превращает организацию в структуру лоббирования интересов углеводородного бизнеса.

Международные исследовательские партнерства в энергетике

Исследования и разработки, будучи в энергетике, как правило, капиталоемкими, стали все чаще выполняться в рамках международных исследовательских партнерств, которые позволяют вскладчину разработать прорывные технологии и гарантировать «эффект масштаба» их освоения. За последние годы значительно расширился круг различного рода правительственных и неправительственных организаций, участвующих в международном сотрудничестве, и оно превратилось в важнейший механизм расходования средств на ИР в энергетике [40].

В инновационной сфере можно отметить два крупных международных партнерства — Breakthrough Energy Coalition, созданное частными компаниями, и Mission Innovation — как межправительственное объединение.

Глобальное партнерство Breakthrough Energy Coalition с бюджетом \$1 млрд, в котором с 2015 г. участвуют индивидуальные частные инвесторы, мультинациональные корпорации и финансовые организации из 10 стран³, поддерживает 12 перспективных направлений в электроэнергетике:

1) технологии следующего поколения термоядерного синтеза;

- 2) усовершенствованные геотермальные системы;
- 3) ультрадешевые ветровые установки;
- 4) ультрадешевые солнечные панели;
- 5) ультрадешевые накопители электроэнергии;
- 6) ультрадешевые аккумуляторы тепла;
- 7) ультрадешевые технологии электропередачи;
- 8) технологии следующего поколения по сверхгибкому управлению распределительными сетями;
- 9) маневренные с низкой эмиссией парниковых газов электростанции;
- 10) технологии с низкой эмиссией парниковых газов для обеспечения надежности работы распределительных сетей;
- 11) технологии улавливания CO₂;
- 12) технологии депонирования CO₂ и дальнейшего его использования.

Правительства 23 стран в 2015 г. создали Mission Innovation⁴ для удвоения государственных расходов на исследования и разработки в области «чистой» энергетике, прежде всего в возобновляемой энергетике, и выделяют по \$15 млрд ежегодно в течение пяти лет (2016-2021 гг.). Участие в глобальных инициативах позволяет в результате переговоров с другими странами не только развивать партнерские отношения, но и отстаивать свои приоритеты в научной политике и реализовывать коммерческие интересы в сфере интеллектуальной собственности и мировой торговле.

Характерно, что несмотря на разные формы собственности, оба партнерства отдают приоритет исследованиям в сфере возобновляемой энергетике, возмещая недостающий объем финансирования на ИР.

Традиционная энергетика также образует научно-исследовательские консорциумы между правительствами углеводородных держав, чтобы осуществлять капиталоемкие разработки и доводить их до промышленного освоения. Например, Китай и США создали в 2009 г. специальный исследовательский центр U.S. — China Clean Energy Research Center (CERC) объемом финансирования НИОКР не менее \$50 млн на каждые пять лет (\$25 млн предоставлено со стороны Китая, \$12,5 млн — Министерством энергетики США (DOE) и \$12,5 млн выделили американские компании). В Азиатско-Тихоокеанском регионе, на долю которого приходится более 60% мирового потребления угля, создан исследовательский консорциум ASEAN Centre for Energy для обмена опытом и знаниями в области перспективных технологий сжигания угля для производства электроэнергии.

Помимо распределения расходов на ИР и рисков, выгоды международного сотрудничества состоят в том, что эффекты сетевых коммуникаций формируют у стран-партнеров устойчивые связи в сфере энергетике за счет распространения опыта и знаний среди участников кооперации, а это дает определенные преимущества в инновационной деятельности. Известный экономист-историк N. Ferguson утверждает, что в настоящий «век сетей» горизонтальные формы исключительно важны для продвижения нового и про-

³ Индия, США, Саудовская Аравия, Великобритания, Китай, Южная Африка, Франция, Германия, Япония и Нигерия.

⁴ Правительства Австралии, Австрии, Бразилии, Канады, Чили, Китая, Дании, Финляндии, Франции, Германии, Индии, Индонезии, Италии, Японии, Мексики, Нидерландов, Норвегии, Южной Кореи, Саудовской Аравии, Швеции, Арабских Эмиратов, Великобритании, США.

рывного, так как, во-первых, они консолидируют инновационные начинания — «птицы сбиваются в стаи», во-вторых, «слабые связи» становятся сильнее благодаря подключению к другим кооперациям, в-третьих, «сети никогда не спят», в силу своей природы они не статичны и находятся в динамике, постоянно меняясь и адаптируясь к новому социально-экономическому контексту [41].

Патентная активность в традиционной и возобновляемой энергетике

Патентная активность — второй индикатор, который часто используется исследователями для оценки инновационной активности предприятий, отраслей, стран [42]. Стоит отметить, к анализу результатов патентной статистики в электроэнергетике следует подходить с осторожностью. Во-первых, не все инновационные решения патентуются, например, ключевые технологии по очистке газа являются ноу-хау конкретных энергетических и машиностроительных компаний и не подлежат патентованию. Во-вторых, не всегда уровень патентования является индикатором инновационности, так как помимо функции «исключительности», когда фиксируется изобретение как «первое» и «уникальное», патент может выступать просто инструментом защиты интеллектуальной собственности, особенно это характерно для солнечной энергетики и китайского рынка.

Энергетика входит в топ-5 самых патентуемых секторов экономики в мире и, находясь на втором месте после хай-тека, обеспечивает вклад в размере 7% в общее количество зарегистрированных патентов, по данным Всемирной организации интеллектуальной собственности (WIPO) [43]. ВИЭ имеют самые высокие темпы патентной активности из всех секторов электроэнергетики — ежегодный средний темп роста числа патентов составляет 8% за период 2005-2015 гг. Солнечная энергетика дает больше половины из 50 тыс. патентов в год по ВИЭ.

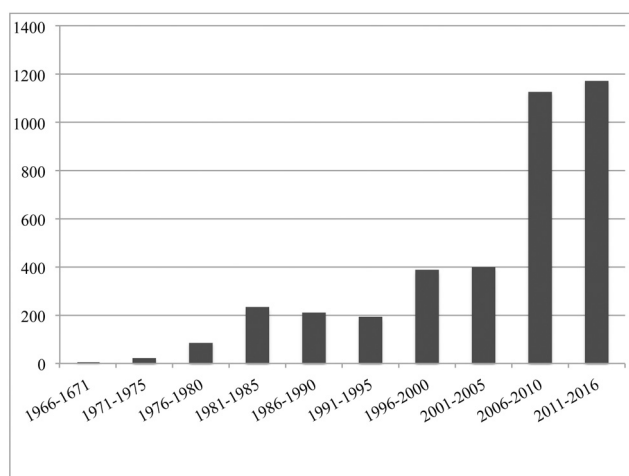


Рис. 3. Динамика числа патентных заявок по коду классификации «угольные электростанции» в мире за 1966-2016 гг.

Источник: составлено автором на основе базы данных Thomson Derwent World Patent Index©

В традиционной энергетике оценить патентную активность достаточно сложно, так как статистика в открытом доступе (например, OECD.Stat) фиксирует только отдельные кластеры технологий, например, технологии улавливания и хранения двуокиси углерода (так называемое УХУ), которые отражают только часть инновационных решений в данном секторе.

Для оценки патентной активности автором был проведен самостоятельный анализ уровня патентования в сфере угольной генерации по данным авторитетной патентной статистики The Thomson Derwent database за период 1966-2016 гг. Стратегия патентного поиска состояла в следующем:

1. Сначала использовался поисковый термин «coal» в главной классификационной группе X11 «Power generation and high power machines» в базе данных The Thomson Derwent за период 1966-2016 гг.
2. Затем по смежным классификационным группам E11, J01, L02, D04, в которых фиксируются разработки по отдельным важным процессам подготовки топлива, очистке газов и воды и др., применялся поиск по термину «coal power plant», чтобы определить заявки, относящиеся к угольной генерации.
3. В результате перекрестного поиска было отобрано 3840 патентных заявок.
4. По каждому периоду (787 заявок за 1995-2005 гг. и 2211 заявок за 2006-2016 гг.) определена частота записей в отобранных патентах по каждой предметной дисциплине. Стоит отметить, что один и тот же патент может иметь несколько записей по разным предметным областям. Всего было 14 предметных областей, но только 8 дисциплин имели частоту упоминания более 1% и в последующем были включены в структурный анализ (рис. 3).

Результаты анализа показали, что, во-первых, в середине 2010-х гг. произошел скачкообразный, почти трехкратный, рост числа патентных заявок по коду классификации «угольные электростанции» (рис. 3). Во-вторых, в этот «переломный момент» происходит наибольшее приращение числа патентных записей

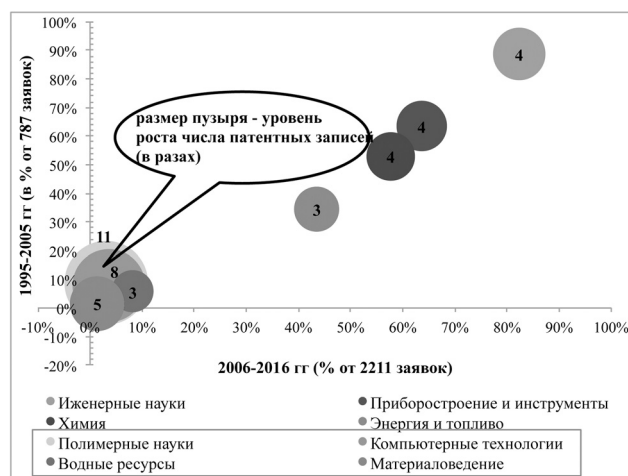


Рис. 4. Структура и рост числа патентных записей по областям знаний за 2006-2016 гг. по сравнению с 1995-2005 гг.

Источник: составлено автором на основе базы данных Thomson Derwent World Patent Index©

по узким нишевым областям знаний (рис. 4). Видно, что инженерные науки остаются флагманом создания патентов, так как 90% всех патентов имеют записи по данному домену знаний. Но кардинальный рост наблюдается в полимерных науках, по которым имеются записи только у 10% патентов от общего числа заявок, но число этих записей увеличилось в 11 раз за период 2006-2016 гг. по сравнению с 1995-2005 гг. По компьютерным технологиям как предвестнику цифровизации энергетики ситуация аналогична — к ним «приписаны» 8% патентов и число записей возросло в 8 раз. Плюс к этому появилась новая область знаний — водные ресурсы, по которой до 2000 г. вообще не велась записи по патентам в сфере угольных электростанций.

Показательно, что в уже зрелой традиционной отрасли угольной генерации формируется «инновационный» имидж, который, как и в прошлом, базируется на инженерных науках, но все чаще вовлекает другие смежные дисциплины для разработки небольшого, но значимого числа прорывных технологий — технологии циркулирующего кипящего слоя, технологии сжигания угля в ультрасуперкритических параметрах пара и температуры, технологии улавливания и хранения двуокиси углерода.

Если сравнивать, то технологический профиль возобновляемой энергетики выглядит более диверсифицированным, нежели набор из 3-5 передовых разработок в области традиционной электроэнергетики. Директор всемирно известной лаборатории NREL Калифорнийского университета D. M. Kammen ежегодно уже в течение 20 лет обновляет траектории научного поиска в сфере ВИЭ. В этой области в начале 2018 г. насчитывалось более 17 самостоятельных технологических треков [44]. При этом в сфере ВИЭ при меньших, чем в топливной энергетике, затратах, но благодаря высокой конкуренции достигнуты значительные результаты как в патентной активности, так и по масштабности внедрения опытных разработок.

Ожидается, что патентная активность в электроэнергетике значительно возрастет благодаря хай-теку и стартапам, которые были не свойственны капиталоемкой и весьма инертной отрасли до Новой индустриализации и цифровизации. В 2017 г. частный бизнес инвестировал в энергетические стартапы \$6,1 млрд (рис. 5), из которых 17% вложили нефтегазовый бизнес и электроэнергетика, что значительно уступает 62% средств высокотехнологичных компаний (ИКТ).

Традиционная энергетика проявляет интерес к энергетическим стартапам для изучения новых разработок, поиска квалифицированных сотрудников и выстраивания отношений с основателями перспективных фирм, чтобы в случае их успеха иметь льготные условия лицензирования или покупки софта. Стартапы характеризуются высокой неопределенностью, где «победитель получает все», поэтому стратегия крупных фирм состоит в разнообразии вложений в прорывные направления. Диверсификация стимулирует нефтегазовые компании вкладывать не только в традиционный сектор, но и в ВИЭ. В 2017 г., например, британская British Petroleum приобрела стартап по солнечной генерации LightSource; норвежская Equinor купила два стартапа — по перовскитным солнечным установкам

Oxford Photovoltaics и по электромобилям Chargepoint; французская Total купила компанию по распределительным сетям Sunverge. Генерирующие компании помимо солнечной и ветровой энергетики вкладывают в цифровые стартапы. В 2018 г. японская компания ТЕРСО инвестировала в высокотехнологичные фирмы, британскую Electron и сингапурскую April Electrify, по созданию блокчейн-технологий для индивидуальной торговли электроэнергией домохозяйствами.

В то же время, инвестиции в стартапы — это «улица с двусторонним движением», т. е. если энергокомпании вкладывают в хай-тек-стартапы, то и знаковые высокотехнологичные компании вторгаются в сферу энергетики. Так, компания Google в партнерстве со стартапом Aclima из Кремниевой долины разработала инновационное приложение Streetview map для мониторинга загрязнения воздуха вблизи электростанций в конкретных районах мира. Другой пример — Alibaba апробирует онлайн-систему по отслеживанию условий сделок с нефтью. К этому добавляется деятельность некоммерческого сектора, который инициирует продвижение цифровизации энергетики. Влиятельная некоммерческая организация The Energy Futures Initiative под руководством экс-министра энергетики США Э. Моница в 2018 г. заявила о намерении инвестировать \$100-300 млн в венчурные предприятия в сфере блокчейн-технологий в электроэнергетике.

Созданием стартапов в энергетике занялись и крупные научные центры, в которых запускается новый класс исследовательских партнерств университетов и энергокомпаний. Так Массачусетский технологический институт в октябре 2018 г. запустил специальную программу по энергетическим стартапам [46]. Институт предоставляет свои лаборатории, новейшее оборудование, возможности мелкосерийного промышленного производства для апробации прорывных разработок и перспективных исследователей, чтобы открыть возможности для «свежих идей» в энергетике на перспективу 10-15 лет.

Высокая патентная активность в энергетике связана с издержками защиты интеллектуальной

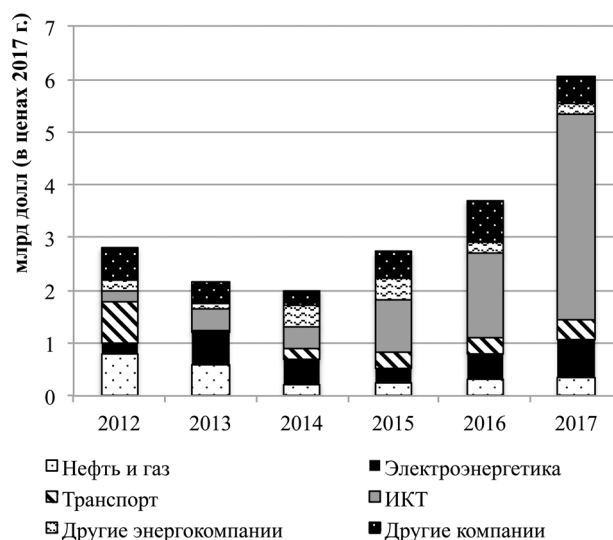


Рис. 5. Отраслевые источники частных инвестиций в энергетические стартапы

Источник: [45]

собственности и трансфера прорывных технологий. США как лидер в сфере инноваций в энергетике, на долю которого приходится 40% интеллектуальной собственности в мире, принял серию законов, например, H.R. 5841 по модернизации и усилению контроля за иностранными инвестициями в критически важные технологии, в том числе в сферу возобновляемой энергетики, с целью противодействия интеллектуальному мошенничеству и нанесению урона инновационному потенциалу страны [47].

Датская Vestas настаивает на пункте по ограничению реэкспорта ветроустановок в третьи страны в своих контрактах по локализации производства с зарубежными партнерами. Так, по договору Vestas с «Роснано» поставки российского оборудования могут идти только в страны СНГ, а растущие рынки Юго-Восточной Азии и Африки для российского экспорта закрыты [48]. Характерно, что риски защиты интеллектуальной собственности нарастают не только в ВИЭ, но и в традиционной энергетике. Трудности в переговорах между российскими энергомашиностроительными компаниями («Силовые машины», «РЭП Холдинг») и американской GE и немецкой Siemens по производству парогазовых турбин, необходимых для модернизации и нового строительства электростанций в России, обусловлены, прежде всего, вопросами интеллектуальной собственности — передачей полной лицензии, так называемой горячей части технологий, которых у России пока нет.

Выводы

Проведен сравнительный анализ традиционной и возобновляемой энергетики по двум базовым характеристикам инновационной деятельности — расходам на ИР и уровню патентования, важность которых усиливается благодаря Новой индустриализации и цифровизации энергетики.

По объему расходов на ИР традиционная энергетика является безусловным лидером и опирается, прежде всего, на собственные корпоративные вложения в небольшое число капиталоемких разработок. При этом главным бенефициаром разработок становится газовая генерация, которая в 1990-е гг. смогла создать высокоэффективные газотурбинные технологии, а в 2000-х получила еще одно преимущество — дешевое топливо в результате сланцевой революции.

Возобновляемая энергетика проигрывает традиционной по объему вложений, но превосходит ее по интенсивности вложений в ИР. Затраты самых передовых компаний, датской Vestas и американской First Solar, превышают расходы многих средних нефтегазовых компаний. Однако здесь начинает действовать принцип противоположности — положительное переходит в отрицательное. Вследствие концентрации высоких расходов на ИР у небольшого числа компаний формируется негативная тенденция — монополизация рынка и «технологическая блокировка» прорывных направлений в сфере ВИЭ. Эта тенденция уже очевидна в Китае и может проявить себя в России.

Важное преимущество ВИЭ в инновационной деятельности — возможность привлекать средства не-

коммерческих организаций и крупных международных исследовательских партнерств, которые проявляют большой интерес к инновационной деятельности и к энергетическому будущему в частности. Проведенный анализ деятельности 66 самых крупных филантропов и фондов позволил выявить 21 некоммерческую организацию, которые получили финансовую поддержку в размере более \$50 млн каждая в период с 2000 по 2017 гг. для развития возобновляемой энергетики. Такое внимание со стороны третьего сектора гарантирует, что в случае секвестра государством исследовательских программ недостающие средства будут восполнены и инновации в ВИЭ не будут прерваны. Исследовательские контакты и ценностные ориентации среди богатых и влиятельных людей мира по отношению к ВИЭ могут «стоять больше» для долгосрочного развития инновационной деятельности, чем текущее превосходство углеводородов в абсолютных расходах на ИР.

По второму параметру — патентной активности, возобновляемая энергетика имеет самые высокие темпы роста числа патентов, при этом солнечная энергетика обеспечивает больше половины патентных заявок по ВИЭ. Для полноценного сравнения был проведен конкретный патентный анализ по угольной генерации, результаты которого показали, что в доминантной и самой зрелой отрасли электроэнергетики также наблюдается почти трехкратный рост патентов, которые базируются по-прежнему на инженерных науках, но интенсивный научный поиск идет по смежным дисциплинам — компьютерным технологиям, полимерным наукам, материаловедению и водным ресурсам.

Ожидается, что патентная активность существенно возрастет с появлением новых участников инновационного процесса — хай-тека и стартапов, которые превращают электроэнергетику в динамичный инновационный сектор. Разнообразие стартапов позволяет возобновляемой энергетике решить проблему «технологической блокировки». Традиционная энергетика также имеет возможность повысить патентную активность и диверсифицировать бизнес за счет новых форм организации и использования достижений хай-тека.

Сравнительный анализ показал, что альтернативность в электроэнергетике сохраняется и отсутствует однозначный ответ на вопрос о том, какой вид энергетики более инновативен — традиционный или возобновляемый. Каждый имеет явные преимущества: традиционная энергетика — в расходах на ИР, возобновляемая — в патентной активности. Вместе с тем, каждый из них в разной степени использует преимущества новых форм организации инновационной деятельности — некоммерческих организаций, международных исследовательских партнерств и энергетических стартапов, которые призваны усилить ИР и патентование в энергетике. Неопределенность энергетического выбора сохраняется, и выявленные факторы в результате проведенного сравнительного анализа приобретают важное значение для оценки перспективных источников энергии в конкретном социоэкономическом контексте страны и региона.

* * *

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ № 18-78-00113.

Список использованных источников

- Chapter 7: Energy: Choices for Environment and Development. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. The General Assembly, in its resolution 38/161 of 19 December 1983. <http://www.un-documents.net/a42-427.htm>.
- Е. Зубкова. Возобновляемый атом//Наука и жизнь, № 1, 2017. С. 20-22.
- Glossary IRENA. <https://www.iea.org/about/glossary/r/#tabs-2>.
- А. М. Булатов. Об эффективности проектов «зеленой энергетики» в США//Журнал США и Канада, № 9, 2016. С. 103-117.
- Beyond the supercycle: how technology is reshaping resources. The McKinsey Global Institute (MGI), February 2017. <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability-and-resource-productivity/our-insights/how-technology-is-reshaping-supply-and-demand-for-natural-resources>.
- A. A. Makarov, T. A. Mitrova, F. V. Veselov, A. A. Galkina, V. A. Kulagin. Perspectives of the electric power industry amid the transforming global power generation markets//Thermal Engineering. 2017. T. 64. № 10. P. 703-714.
- Electricity Information 2018. Paris, OECD Publishing, 2018. <https://doi.org/10.1787/electricity-2018-en>.
- Richard K. Lester, David M. Hart. Unlocking energy innovation: how America can build a low-cost, low-carbon energy system. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2012.
- V. Smil. Energy and Civilization. Massachusetts, The MIT Press Cambridge, 2017.
- P. Marsh. The New Industrial Revolution: Consumers, Globalization and the End of Mass Production. New Haven, Yale University Press, 2012. 311 p.
- К. Шваб. Четвертая промышленная революция/Пер. с англ. М.: Эксмо, 2016. 208 с.
- Дж. Рифкин. Третья промышленная революция: как горизонтальные взаимодействия меняют энергетику, экономику и мир в целом/Пер. с англ. М.: Альпина нон-фикшн, 2014. 410 с.
- Новая индустриализация: драйверы и перспективы/Под ред. В. И. Супруна. Новосибирск: ФСПИ «Тренды», 2016. 210 с.
- Е. Б. Ленчук. Курс на новую индустриализацию — глобальный тренд экономического развития//Проблемы прогнозирования, 2016, № 3 (156). С. 132-143.
- Digitalization & Energy. Paris, IEA, 2017. <https://doi.org/10.1787/97892642826276-en>.
- В. Н. Княгин, Д. В. Холкин. Цифровой переход в электроэнергетике России//Экспертно-аналитический доклад, Центр стратегических разработок, Москва, сентябрь, 2017. https://csr.ru/wp-content/uploads/2017/09/Doklad_energetika-Web.pdf.
- Интернет-интервью с академиком Ж. И. Алфоровым «Будущее солнечной энергетики». Интернет-портал научно-популярного журнала «Наука и жизнь». <https://www.nkj.ru/interview/8370>.
- Большое интервью с академиком Олегом Фаворским об энергетике. Портал по энергосбережению Энергосовет. <http://www.energosoвет.ru/news.php?zag=1522673166>.
- А. Г. Тумановский, О. Н. Брагин, А. М. Зыков и др. Экологические проблемы угольных ТЭС//Электрические станции, 2018, № 1. С. 15-24.
- Отраслевые инструменты инновационной политики/Отв. ред. Н. И. Иванова. М.: ИМЭМО РАН, 2016. 161 с.
- В. В. Иванов. Инновационная парадигма XXI. Российская академия наук. 2-е изд., доп. М.: Наука, 2015. 383 с.
- Tracking Clean Energy Innovation Progress. Paris, OECD Publishing, 2017. P. 116.
- Reimagining Our Electricity Future GE. Boston, MA: General Electric (GE), November, 2017. https://www.ge.com/content/dam/gepower-pw/global/en_US/documents/ge-reimagining-our-electricity-future-035.pdf.
- A. Berger, F. Tell, C. Berggren, J. Watson. Technological capabilities and late shakeouts: industrial dynamics in the advantages gas turbine industry, 1987-2002//Industrial and Corporate Change. Vol. 17. Number 2. 2008. P. 335-392.
- Н. Горбачева. Угольная генерация в условиях нового индустриального развития//Мировая экономика и международные отношения. 2016. Т. 60. № 6. С. 42-51.
- В. И. Суслов, Н. В. Горбачева, А. В. Кузнецов, Н. О. Фурсенко. Форсайт-исследование технологий угольной генерации энергии//ЭКО, № 4 (442), 2011. С. 60-71.
- C. Fan, Z. Zhang, J. Dong, W. Xu. China's R&D of advanced ultra-supercritical coal-fired power generation for addressing climate change//Thermal Science and Engineering Progress 5, 2018. P. 364-371.
- The Supercritical Transformational Electric Power (STEP) program. <https://www.netl.doe.gov/coal/sco2>.
- И. Г. Дежина, А. С. Фролов. Научно-технологическое обеспечение нефтедобычи в России: оценки компаний//Инновации, № 5 (235), 2018. С. 54-61.
- С. В. Ратнер, Р. М. Нижегородцев. Анализ опыта реализации проектов в области возобновляемой энергетике в России//Теплоэнергетика, 2017, № 6. С. 38-47.
- S. Yeh, E. S. Rubin. A review of uncertainties in technology experience curves//Energy Economics, 34, 2012. P. 762-771.
- M. Rahul. Learning from Learning Curves//Joule 2, September 19, 2018. P. 1637-1638.
- V. Sivaram. Taming the Sun, innovations to harness solar energy and power the planet. Massachusetts, MIT University Press, 2018.
- Chen Tain-Jy. The development of China's solar photovoltaic industry: why industrial policy failed//Cambridge Journal of Economics, 2016, 40. P. 755-774
- Е. Огородников. В рассеянных лучах российского солнца//Эксперт № 37, 2017. С. 26-28.
- B. J. Sovacool. A comparative analysis of renewable electricity support mechanism for Southeast Asia//Energy, 35, 2010. P. 1779-1793.
- С. Сергеев. Следствие запиталось от солнечных батарей//Газета «КоммерсантЪ», № 195 от 24.10.2018 г. С. 4.
- OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017: The digital transformation. Paris, OECD Publishing, 2017. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264268821-en>.
- InfluenceMap Report. Who Owns the World's Fossil Fuels?
- С. З. Жизнин, В. М. Тимохов. Международное технологическое сотрудничество в энергетике//Известия СПбГЭУ. 2017. № 1-2 (103). С. 25-32.
- N. Ferguson. The Square and the Tower: Networks and Power, from the Freemasons to Facebook. N. Y., Penguin Press. 563 p.
- А. А. Кравцов. Развитие исследований инновационных процессов на основе патентной статистики: аналитический обзор//Журнал НЭА, № 3 (35), 2017. С. 144-167.
- World Intellectual Property Indicators 2017. https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_941_2017.pdf.
- D. M. Kammen. Best Research-Cell Efficiencies. https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/cell_efficiency_explanatory_notes.pdf.
- World Energy Investment 2018. Paris, OECD Publishing, 2018. P. 247.
- F. McCaffret. MIT Energy Initiative announces new class of membership geared toward energy startups. http://energy.mit.edu/news/mit-energy-initiative-announces-new-class-of-membership-geared-toward-energy-startups/?utm_source=MIT+Energy+Initiative&utm_campaign=a560f2ccae-Energy_Futures_Autumn_2017_COPY_01&utm_medium=email&utm_term=0_eb3c6d9c51-a560f2ccae-75886073&mc_cid=a560f2ccae&mc_eid=648c5a741a.
- H.R.5841 — Foreign Investment Risk Review Modernization Act of 2018. <https://www.congress.gov/115/bills/hr5841/BILLS-115hr5841pcs.pdf>.
- Т. Дятел. Зеленую энергетику отправят за границу//Газета «КоммерсантЪ», № 198 от 29.10.2018 г. С. 7.

Innovations in conventional and renewable power generation. Comparative analysis

N. V. Gorbacheva, candidate of science (economics),

docent, senior research fellow, Institute of economics and industrial engineering of the Siberian branch of the Russian academy of sciences, Siberian institute of management — branch of RANEPА.

Innovations in power generation appear to reveal themselves as the drivers of New Industrial Revolution and digital economy. These innovations are capable to change our views upon true benefits and costs of this or that source of electricity. Comparative analysis of conventional and renewable energy demonstrated different models of innovative activities. Mature, with large expenditures on capital intensive R&D, conventional power generation is grounded on own corporate investment and focuses more on technological depth, than technological width of research. Coexistence of innovations and conventional energy stop to be unusual, as it is demonstrated by patent analysis of coal generation, prevailing in the world. Innovative, with the highest rate of patent activity, but less significant R&D budget, renewable energy prefers to diversity of technological decisions and involves the net forms of support. Prospects of power generation are interwoven with energy startups and net forms of innovation activity, important for solving problems of ineffective expenditures on R&D, intellectual fraud, technological lock-in.

Keywords: New Industrial Revolution, digital economy, power generation, fossil fuels, renewable energy, comparative analysis, innovation, R&D expenditures, patent activity, startups, technological lock-in.