

УДК 338.92
ББК 65.9(2p)30.5
Р 17

Рецензенты:

доктор экономических наук А.В. Алексеев
доктор экономических наук В.И. Клисторин
доктор экономических наук А.Т. Юсупова

Р 17 **Развитие инновационной экономики: анализ, методы и модели** //
отв. ред. В.И. Суслов, науч. ред. О.В. Валиева, ИЭОПП СО РАН –
Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2020. – 440 с.

Авторы:

А.О. Баранов, В.Г. Басарева, Г.В. Бобылев, О.В. Валиева, Ю.П. Воронов,
Н.В. Горбачева, Е.А. Горюшкина, Д.А. Доможиров, Н.М. Ибрагимов,
М.А. Канева, Н.А. Кравченко, М.В. Королькова, Б.Л. Лавровский,
М.В. Лычагин, Е.И. Музыко, Т.С. Новикова, Ю.М. Слепенкова, В.И. Суслов,
Г.А. Унтура, А.А. Федоров, С.Р. Халимова, Е.А. Шильдин

ISBN 978-5-89665-345-5

В монографии отражены исследования авторского коллектива по целому ряду направлений. Эти направления, различны по своему исследовательскому ядру, но связаны одной неразрывной нитью – обращением к экономике знаний, инновациям, научно-техническому прогрессу, высокотехнологичным отраслям экономики. В монографии обосновывается важность процессов реиндустриализации экономики, дается анализ роли инновационных процессов на глобальном, национальном и региональном уровнях, поднимаются вопросы, связанные с оценкой крупных научно-технологических проектов и их влияния на экономику региона.

Монография будет интересна широкому кругу читателей и исследователей, интересующихся вопросами инновационной экономики, теоретикам и практикам, занимающимся оценкой инновационных проектов, органам власти, агрегирующим подходы к изучению факторов экономического роста.

УДК 338.92
ББК 65.9(2p)30.5

Монография подготовлена в рамках планов НИР ИЭОПП СО РАН по проекту XI.170.1.2. (0325-2017-0013) «Формирование основ теории инновационной экономики: операциональные определения, измерения, модели, научно-технологические прогнозы и программы» № АААА-А17-117022250128-5 и проекту XI.170.1.1. (0325-2019-0007) «Инновационные и экологические аспекты структурной трансформации российской экономики в условиях новой геополитической реальности».

ISBN 978-5-89665-345-5

© ИЭОПП СО РАН, 2020
© Коллектив авторов, 2020

4.3. Инновации в традиционной и возобновляемой электроэнергетике. Сравнительный анализ

Возникновение в середине 2010-х годов и укрепление двух глобальных трендов – Новой промышленной революции и цифровой экономики – могут кардинально изменить наши представления о подлинных выгодах и затратах традиционных и возобновляемых источников генерации. Так, в свое время возобновляемый источник энергии – дрова и децентрализованная энергосистема Великобритании были на грани исчезновения и невозобновляемый уголь исправил ситуацию в Первую промышленную революцию, а позже централизованные электросети позволили в XX веке провести масштабную индустриализацию в Европе. Само понятие «возобновляемости» меняется – от масштабной увлеченности строительством крупных гидро- и атомных электростанций в 1970-х годах и выращиванием сельскохозяйственных культур для биотоплива в 1990-е годы до признания в начале 2000-х значительного ущерба от такого рода инноваций и установления эталонных возобновляемых источников, преимущественно в виде солнечной и ветровой энергии.

Наступление новой энергетической эры, как отмечает V. Smil, соотносится с теорией долгосрочных волн деловых циклов J. Schumpeter и концепцией инновационных кластеров G. Mensch (рис. 4.7). Эти теории *«безошибочно показали корреляцию между, с одной стороны, новыми источниками энергии и движителями и, с другой стороны, ускорением инвестиций в инновации»* [Vaclav Smil, 2017, с. 410]. Внедрение новых источников и движителей энергии образует новые кластеры постепенных усовершенствований и фундаментальных технологических инноваций.

Текущий цикл экономического развития связан с Новой индустриализацией¹, которая в научном дискурсе имеет разные

¹ Речь идет о развитии именно *промышленного* сектора, а не *всех индустрий, т.е. отраслей* экономики, как следует из буквального перевода на русский язык слова “*industrial*”. Возрождение исследовательского интереса к промышленности связано с появлением в начале XXI века Новой промышленной революции (New Industrial Revolution), которая названа по аналогии с Первой промышленной революцией (First Industrial Revolution) начавшейся в конце XVIII века. Поэтому прилагательное “*industrial*” отождествляется, прежде всего, с промышленным производством товаров, а не технологическим развитием *всех* отраслей экономики, как это встречается во многих отечественных публикациях по проблематике новой индустриализации России.

интерпретации – Новая промышленная революция, пятая по счету, по П. Маршу [Marsh, 2012] и К. Андерсону [Anderson, 2012], Третья индустриальная революция по Дж. Рифкину [Рифкин, 2014], Четвертая промышленная революция по К. Швабу [Шваб, 2016].

Несмотря на различия в классификации эксперты едины в понимании необходимости возврата к промышленному производству на основе использования новых материалов, прорывных технологий и выпуска совершенно новой продукции. *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, взамен кремниевых, неорганические перовскитные солнечные батареи, промышленные аккумуляторы большой емкости, предъявляют повышенный спрос на электроэнергию.

Эксперты в области новой индустриализации по-разному расставляют приоритеты 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 [Marsh, 2012]. Перспективными возобновляемыми источниками автор считает энергию волн и солнца, технические характеристики и стоимость производств которой кардинально улучшатся.

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» [Шваб, 2016, с. 69].

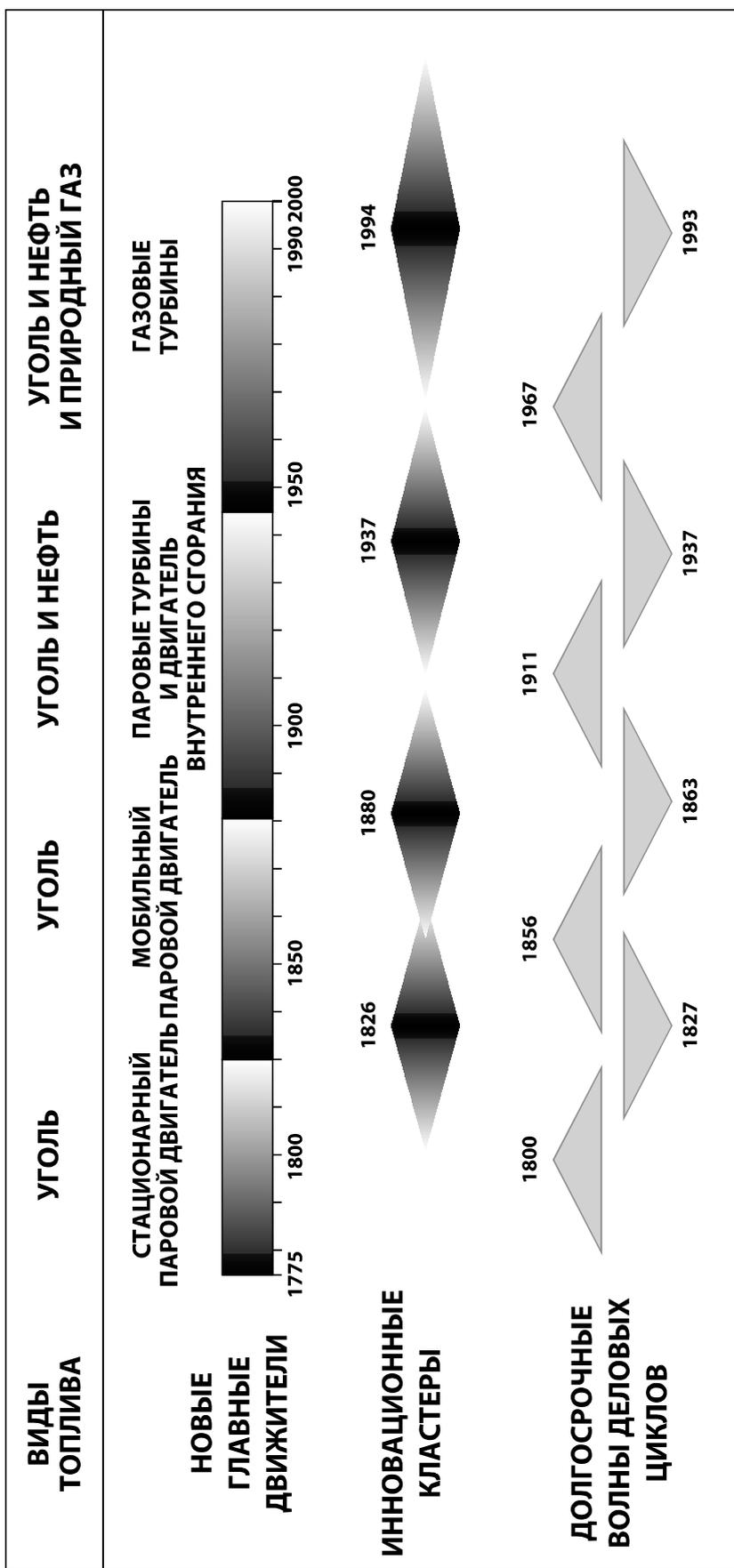


Рис. 4.7. Новые виды энергии и движители в динамике деловых циклов и инновационных кластеров
 Источник: адаптировано автором на основе [Vaclav Smil, 2017, с.412]

Четыре столпа будущего энергетики выделил Дж. Рифкин: 1) возобновляемые источники (ветер и солнце), 2) превращение зданий в электростанции, 3) частичное накопление энергии за счет водорода и 4) энергетический Интернет [Рифкин, 2014]. Последний ассоциируется также с новым явлением, так называемой цифровой экономикой, которая зародилась в русле Новой индустриализации, но затем выделилась в самостоятельный тренд [Новая индустриализация..., 2016]. Как известно, данные в форме цифры используются не один десяток лет, но масштабное и интенсивное применение цифровых технологий способствовало появлению нового типа экономики – цифровой экономики [Acemoglu, Pascual, 2018; Бриньолфсон, Макафи, 2017]. Цифровая экономика базируется на концепции Интернета вещей (Internet of Things, IoT), впервые представленной в 1994 г. и суть которой заключалась в прикреплении датчиков и сенсоров к обычным объектам для управления ими удаленно через Интернет. К 2010 г. усовершенствование информационных технологий позволило применить идею Интернета вещей к промышленному оборудованию, так возник Индустриальный Интернет (Industrial Internet, ИИ), который открыл возможности для оптимизации деятельности во многих секторах экономики, в том числе в энергетике [Глобальная..., 2018].

В результате этих тенденций спрос на электроэнергию, по оценкам международной консалтинговой фирмы McKinsey, будет расти на 1,5% ежегодно до 2035 г. [Beyond, 2017]. Одновременно снизится мировой спрос на первичные источники энергии – нефть и уголь на 2% и 24% соответственно по сравнению с 2013 г., а ожидаемый рост спроса на газ, прежде всего в электроэнергетике, будет испытывать конкуренцию со стороны возобновляемых источников. И в итоге к 2050 г. электроэнергия станет доминантным конечным энергоносителем, опережая даже нефтепродукты (бензин, керосин и т.д.), и доля возобновляемых источников энергии¹ (преимущественно ветровые и солнечные электростанции) к 2050 г. будет составлять 80% в электрогенерации в мире (сейчас – около 24%).

Мир готовится к масштабной электрификации, и такая трансформация влечет немало преимуществ. Электроэнергия в отличие от нынешнего доминантного энергоносителя – нефти

¹ С учетом гидроэлектростанций.

считается более доступной многим странам, ее выработка локальна и может быть легко организована в самых бедных регионах мира, что важно для борьбы с неравенством и нищетой. Данный сектор с потреблением электричества «здесь и сейчас» трудно монополизировать в отличие от углеводородов, запасы которых аккумулированы неравномерно, что влечет картельные сговоры, злоупотребления в рыночном доминировании, геополитические риски.

Экологические выгоды получения «чистой» электроэнергии связаны с развитием возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ). Грамотный учет погодных и географических условий позволяет обеспечить многих электроэнергией, начиная от индустриально развитых стран как Германия и США до бедных, преимущественно аграрных африканских стран.

Выработка электроэнергии поощряет кооперацию и сотрудничество. Увеличение объема электричества влечет не только рост мощностей для его выработки, но и расширение сетей высоковольтных линий и подстанций вблизи крупных городов. В условиях сетевой связанности независимое поведение страны-транзитера без согласования с другими игроками рынка может оказаться деструктивным и невыгодным для всех участников. Эпоха электричества, в отличие от углеводородного XX века с нефтяными эмбарго и газопроводными санкциями, представляется более благоприятным периодом для выстраивания партнерских отношений.

Вместе с вышеперечисленными преимуществами, электроэнергетика имеет ряд недостатков. Она менее лояльна к потребителям. В отличие от нефтепродуктов и природного газа с развитой инфраструктурой хранения электроэнергию трудно аккумулировать продолжительное время и в случае отсутствия спроса оставить в недрах земли как углеводороды. Доступ к передовым технологиям для производства электроэнергии и редкоземельным металлам и минералам, необходимым для растущего внедрения возобновляемой энергетике, может быть предметом торговых войн и протекционизма.

Другой негативный фактор для электроэнергетики заключается в значительных потерях при передаче электроэнергии на большие расстояния. Известно, что электроэнергия эффективно вырабатывается и удобно используется при пониженном напряжении, но издержки при транспортировке возрастают с квадратом

расстояния, поэтому эффективнее на большие дистанции передавать ток под высоким постоянным напряжением, через так называемые высоковольтные линии электропередач (ЛЭП), и затем понижать напряжение с помощью трансформаторов и доставлять до конечного потребителя с помощью распределительных сетей. Такая комплексная доставка электричества имеет значительные издержки. Например, Россия и Индия входят в *пятерку* стран мира с самыми высокими потерями в электросетях [Shrivastava, Singh, 2017]. Передача и распределение электроэнергии требуют во многом ручного, дирижистского управления, что делает энергосистему чувствительной к субъективным ошибкам и недобросовестному поведению.

Все же мир, насыщенный электроэнергией, сулит больше выгод, чем издержек, и считается более желанным будущим. Соотношение выгоды и издержек электроэнергии зависит от характеристик источников ее выработки. Будучи «всеядной», электроэнергия может производиться из разных источников энергии – в 2017 г. в мире электроэнергия выработана на 38,3% за счет угля; на 23,1% – природного газа; на 3,7% – нефти; на 10,4% – атомной энергии; на 16,6% – гидроисточников; на 5,6% – возобновляемых источников и на 2,3% – биомассы и бытовых отходов.

Варьируя использование разных источников энергии электроэнергетика как самый крупный отраслевой потребитель первичной энергии способна создавать реальную конкуренцию между ними. Поэтому небольшие изменения в преимуществах и недостатках того или иного источника могут кардинально поменять энергетическую парадигму и дать значимый совокупный эффект для общества.

Представляет интерес сравнить главные источники традиционной энергетики – газовую и угольную генерацию, и быстрорастущие возобновляемые источники – солнечную и ветровую энергии. Ведь поляризация взглядов экспертов от одного полюса – акцента на неисчерпаемости ископаемого топлива благодаря сланцевой революции и другим инновациям в ресурсном секторе, до другого полюса – «100% возобновляемой генерации к 2050 году для 139 стран мира», только повышает ставки в борьбе за лидерство в электроэнергетике [Jaconson et al., 2017].

Плюс к этому, неопределенность энергетического выбора усиливается отсутствием консенсуса в академической среде. Так, академик *Ж.И. Алферов* считает, что будущее за возобнов-

ляемой энергетикой: «...к середине 21 в. будут получены новые наноматериалы для фотоэнергетики, которые смогут обеспечить человечество дешевой электроэнергией за счет прямого преобразования солнечной энергии» [Интернет-интервью, 2018]. По мнению академика *Фаворского О.Н.*, напротив, будущее – за газовой генерацией и для России «при сохранении современного расхода газа можно увеличить при необходимости до 60% производство электроэнергии» [Большое интервью, 2018]. Академик *Тумановский А.Г.* выступает за ренессанс угольной генерации и указывает на разнообразные инновационные решения для экологизации сжигания угля при производстве электроэнергии [Тумановский и др., 2018].

Сравнение источников энергии предлагается провести по *принципу инновационности*, который выступает комплексным параметром сравнительной оценки. Принцип инновационности делает акцент на прорывных технологиях, которые в свою очередь увеличивают обеспеченность ресурсами, доступность самой электроэнергии, улучшают экологические характеристики и надежность управления производством электроэнергии.

Идея состоит в сравнении сначала текущих преимуществ и недостатков инноваций в традиционной и возобновляемой электроэнергетике. Затем их «погружение» в условия новой индустриализации и цифровизации экономики дает возможность определить дополнительные потенциальные эффекты, которые усиливают или элиминируют текущие выгоды и затраты источников энергии в инновационной сфере.

Представляется важным выявление новых факторов оценки перспективных источников энергии в условиях разворачивания новой индустриализации и цифровизации мировой экономики. Сравнение текущих лидеров – угольной и газовой генерации, и претендующих на первенство – быстрорастущих солнечной и ветровой генерации, позволяет на контрапункте их инновационности рельефнее показать современные факторы оценки перспективных источников электроэнергии в условиях набирающих силу двух трендов.

Сравнительные преимущества традиционной и возобновляемой энергетике в инновационной сфере

Научные открытия и прорывные технологии в энергетике становятся особо востребованы в условиях Новой индустриализации и цифровизации экономики. Американские эксперты *R.K. Lester* и *D.M. Hart* указывают на то, что электроэнергия – это прежде всего сырье и «*в высокой степени оптимизированная система, которая принадлежит и управляется финансово состоятельными, утвердившимися и политически влиятельными компаниями, которые формировались и укрепились в течение ста лет для предложения этого сырья. Это труднейшая среда для инноваций*» [Lester, Hart, 2012].

Плюс к этому, электроэнергетика имеет *двойственный характер* в инновационной сфере. С одной стороны, электроэнергетика базируется на углеводородах, которые представляют зрелую отрасль для внедрения инноваций. С другой стороны, возобновляемая энергетика предлагает совершенно новые способы выработки электроэнергии и является самостоятельным драйвером инноваций. Дуализм в инновационной сфере, который проявляется в том, что традиционные источники выступают как *реципиент* инноваций, а возобновляемая энергия – как *агент* инновации, придают электроэнергетике особую значимость.

Расходы на исследования и разработки (далее – ИР), как убедительно показано в работах по инновационной экономике [Отраслевые инструменты..., 2016; Инновационная..., 2015], выступают важным индикатором инновационного характера отрасли и играют ключевую роль в обеспечении конкурентоспособности источников энергии.

Динамика расходов на ИР в сфере мировой энергетике демонстрирует, *во-первых*, что в топливную энергетике направляется 2,5 раза больше расходов, нежели в возобновляемую, и *во-вторых*, что исследовательский интерес к традиционной энергетике проявляет прежде всего частный сектор по тематикам с предсказуемой рентабельностью – нефтегазовый сектор, трансмиссионный бизнес и тепловые электростанции (рис. 4.8). Разработки по ВИЭ поддерживаются преимущественно государством, которое в целом пока тратит на ИР в сфере энергетике на 15% меньше своего пикового значения в 1980 г.

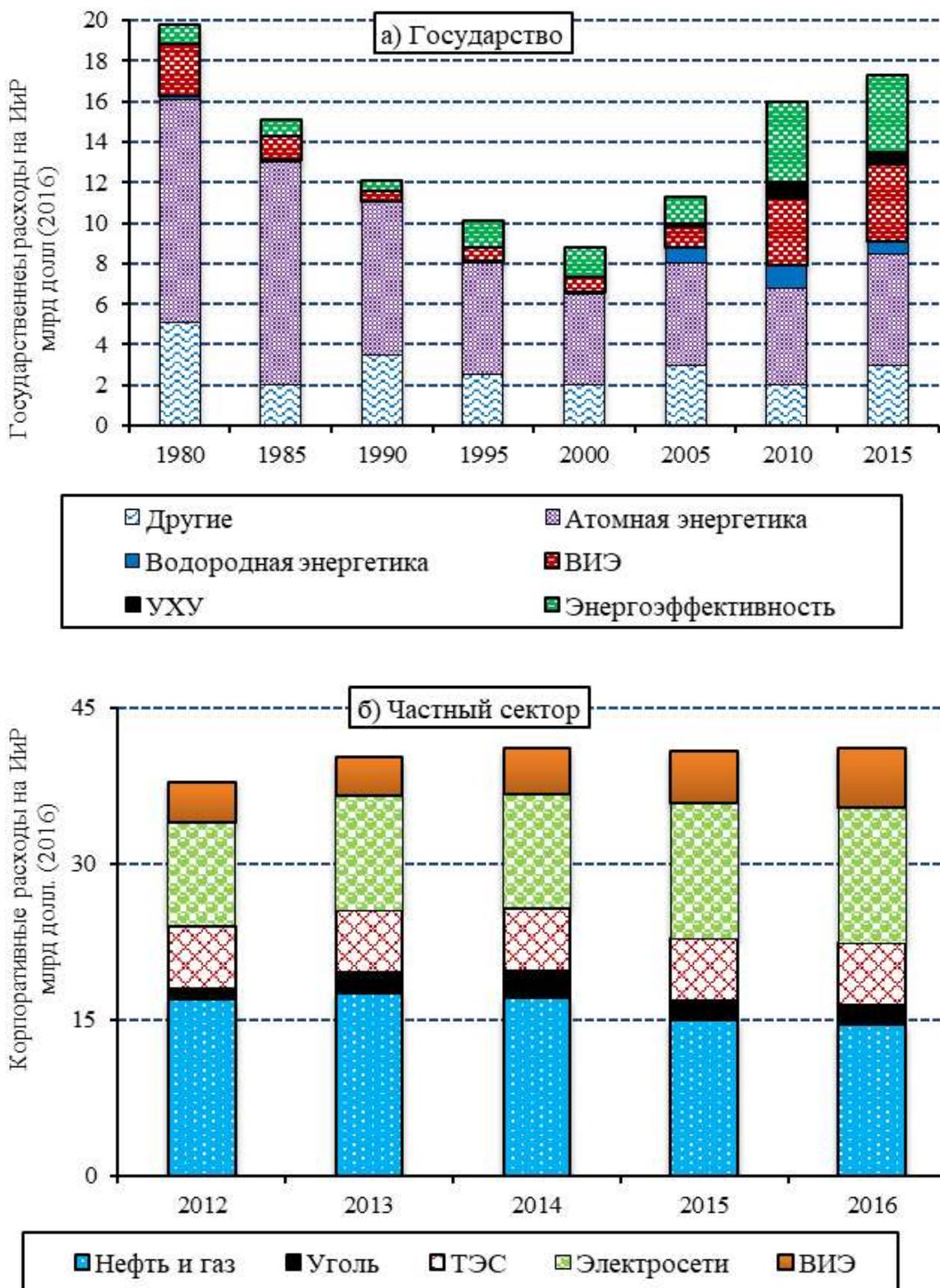


Рис. 4.8. Расходы на исследования и разработки в мировой энергетике, в ценах 2016 г.

Источник: составлено автором на основе [Taskinrg , 2017]

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 Electric с бюджетом ИР 4536 млн евро в 2017 г., что составляет 3,9% чистой выручки компании (табл. 4.6). Для сравнения, ее ближайший конкурент в России – компания «Силовые машины» потратила на НИОКР 64 млн руб., или 0,12% выручки, в 2017 г.

Таблица 4.6

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

Компания	Страна	Расходы ИР, млн евро	Интен- сивность, ИР* %	Рента- бель- ность**, %	Капитало- ем- кость***, %	Кол-во работни- ков, тыс. чел.
<i>Возобновляемая энергетика</i>						
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
<i>Традиционная электроэнергетика</i>						
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

Продолжение табл. 4.6

<i>Добывающие компании</i>						
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	Велико-британия	962,0	0,4	2,4	9,5	92,0
CHINA PETROLEUM & CHEMICALS	Китай	811,0	0,3	4,2	3,5	451,6
<i>Энергомашиностроение</i>						
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.

Главным бенефициаром инноваций в традиционной энергетике стала *газовая генерация*. Радикальные технологические усовершенствования газотурбин в 1990-е годы сделали газ наиболее гибким и многоцелевым топливом. После нескольких лет конкуренции две из четырех крупнейших энергомашиностроительных компаний (GE, ABB, Siemens, Westinghouse) покинули отрасль. Залогом успеха 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 [Berger et al., 2008]. Именно последнее становится «моментом истины» инновационных технологий в традиционной энергетике, которая высокочувствительна к простоям и сбоям в работе энергоблоков. Сланцевая революция 2000-х годов стала гарантом еще одного преимущест-

ва – относительно низких цен на газ, что особенно важно для газовой выработки, затраты на топливо составляют 60%.

Все это предоставило фору газу перед угольной генерацией, которая также имеет прорывные разработки, как показано в нашей работе [Горбачева, 2016]. Либерализация электроэнергетики в 1990-е годы во многих развитых странах привела к тому, что перспективные угольные технологии стали для бизнеса менее привлекательными несмотря на их радикальные технические усовершенствования, так как их сложнее и дольше внедрять, чем в газовую генерацию, а возрастающие технологические риски и невозвратные издержки все труднее переложить на потребителей в условиях усиливавшейся межтопливной конкуренции. Угольная генерация обладает высоким потенциалом для развертывания «*эффекта масштаба*» при перевооружении существующих станций, но испытывает хроническое недофинансирование государством на создание новейших прототипов небольшой мощности и пилотных промышленных образцов.

Возобновляемая энергетика превосходит традиционную электроэнергетику по интенсивности вложений в ИР (см. табл. 4.6). 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 многих средних нефтегазовых компаний, таких как китайской CNOOC или венесуэльской Petroleos. Крупнейший российский инвестор в солнечную энергетика компания «Хевел» в 2017 г. потратила 4% выручки на ИР (или 200 млн руб.), что в разы меньше ее главного конкурента – американской SunPower, которая затратила 11% доходов (или 116 млн долл.) на ИР в 2017 г.

Возобновляемая энергетика, как и энергомашиностроение, привлекая для выполнения работ высококвалифицированные кадры, обеспечивает высокие показатели объема ИР на одного занятого, т.е. 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, но в несколько раз меньше американских и европейских представителей [Дежина, Фролов, 2018].

Патентная активность – еще один индикатор, который часто используется исследователями для оценки инновацион-

ной активности предприятий, отраслей, стран [Кравцов, 2017]. ВИЭ имеют самые высокие темпы патентной активности из всех секторов электроэнергетики – ежегодный средний темп роста числа патентов составляет 8% в год за период 2005–2015 гг., по данным Всемирной организации интеллектуальной собственности (WIPO) [World, 2017]. 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 (т.н. УХУ), которые отражают только часть инновационных решений в данном секторе энергетике.

Для оценки патентной активности нами был проведен анализ уровня патентования в превалирующей в мире угольной генерации по данным авторитетной патентной статистики the Thomson Derwent database за период 1966–2016 гг. [Горбачева, 2019]. Результаты анализа показали, что, *во-первых*, в середине 2010-х годов произошел скачкообразный, почти трехкратный, рост числа патентных заявок по коду классификации «угольные электростанции» – с 401 заявки за 2001–2005 до 1129 заявок за 2006–2010 гг. *Во-вторых*, в этот «переломный момент» происходит наибольшее приращение числа патентных записей по узким нишевым областям знаний, т.е. один и тот же патент может иметь несколько записей по разным областям знаний. 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 имеют записи только 10% патентов, но число этих записей увеличилось в 11 раз за период 2006–2016 гг. по сравнению с аналогичными десятью годами ранее, т.е. 1995–2005 гг. По компьютерным технологиям как предвестникам 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 велись записи по патентам в сфере угольных электростанций.

В зрелой традиционной отрасли зарождается «инновационный» имидж угольной генерации, который базируется на инженерных науках, но все чаще вовлекает другие смежные дисциплины для разработки всего нескольких прорывных технологий – технологии циркулирующего кипящего слоя (ЦКС), технологии

сжигания угля в ультрасуперкритических параметрах пара и температуры, технологии улавливания и хранения двуокиси углерода.

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 [Kammen, 2018]. За меньшие чем в топливной энергетике деньги, но благодаря высокой конкуренции достигнуты значительные результаты как патентной активности, так и по масштабам внедрения опытных разработок в сфере ВИЭ.

Плюс к этому ВИЭ в отличие от традиционной энергетики имеет важного партнера в инновационной сфере – это *некоммерческие организации*, так называемый третий сектор экономики. В настоящий момент усиливается роль некоммерческих организаций в научной сфере, и *филантропическая деятельность* составила 2,4% глобальных расходов на ИР в 2015 г. Некоммерческие организации аккумулируют финансовые средства для прямого финансирования инновационных проектов и выполнения исследовательских программ в сфере ВИЭ, а также реализации гуманитарных и общественных инициатив по формированию позитивного восприятия обществом ВИЭ перед «грязным» имиджем углеводородной энергетики. Нами были проанализированы направления вложения 66 самых крупных филантропов в мире и выявлена 21 некоммерческая организация, которые получили гранты в размере свыше 50 млн долл. для развития возобновляемой энергетики и по смежным тематикам – исследования изменения климата, окружающей среды и здоровья населения [Горбачева, 2019].

Некоммерческие организации диверсифицируют каналы финансирования ВИЭ и в случае отсутствия должной поддержки компенсируют выпадающие расходы на ИР. Также они выступают важным просветителем в сфере «чистой» энергетики и транслятором экологических ценностей посредством запуска образовательных программ и научных инициатив в крупных исследовательских центрах и университетах. Например, Целевой фонд (Эндаумент) Стенфордского университета как крупнейший в США образовательный центр имел разнообразные программы в

области ископаемых видов топлива, в том числе и по угольной тематике, но с 2014 по 2016 год прекратил их финансирование и запустил ряд направлений по возобновляемой энергетике.

Еще одно преимущество ВИЭ состоит в том, что возобновляемая энергетика привлекательна для *международных исследовательских партнерств*, которые позволяют вскладчину реализовать прорывные технологии. Глобальное партнерство *Breakthrough Energy Coalition*, в котором участвуют индивидуальные частные инвесторы, мультинациональные корпорации и финансовые организации из 10 стран¹ поддерживает 12 перспективных направлений в электроэнергетике: 1) технологии следующего поколения термоядерного синтеза; 2) усовершенствованные геотермальные системы; 3) ультрадешевые ветряки; 4) ультрадешевые солнечные панели; 5) технологии термоядерного синтеза; 6) ультрадешевые накопители электроэнергии; 7) ультрадешевые аккумуляторы тепла; 8) ультрадешевые технологии электропередачи; 9) следующего поколения технологии сверхгибкого управления распределительных сетей; 10) маневренные с низкой эмиссией парниковых газов электростанции; 11) технологии с низкой эмиссией парниковых газов для обеспечения надежности работы распределительных сетей; 12) технологии улавливания CO₂; 13) технологии депонирования CO₂ и дальнейшего его использования.

Кроме частных инициатив правительства 23 стран в 2015 г. создали *Mission Innovation*² для удвоения государственных расходов на исследования и разработки в области «чистой» энергетики, прежде всего в возобновляемой энергетике, и выделяют по 15 млрд долл 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 реализовать коммерческие интересы в сфере интеллектуальной собственности и мировой торговли.

¹ Индия, США, Саудовская Аравия, Великобритания, Китай, Южная Африка, Франция, Германия, Япония и Нигерия.

² 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.

Научно-исследовательские консорциумы образуются между правительствами углеводородных держав, чтобы вскладчину реализовать капиталоемкие разработки и довести их до промышленного освоения. Например, Китай и США создали в 2009 г. специальный исследовательский центр *U.S.–China Clean Energy Research Center* (CERC) с пятилетним объемом финансирования НИОКР в 50 млн долл. (25 млн долл. предоставлено со стороны Китая, 12,5 млн долл. – Министерством энергетики США (DOE) и 12,5 млн долл. выделили американские компании). В Азиатско-Тихоокеанском регионе, на долю которого приходится более 60% потребления угля, создан исследовательский консорциум *ASEAN Centre for Energy* для обмена опытом и знаниями в области перспективных технологий сжигания угля для производства электроэнергии.

Эффекты сетевых коммуникаций формируют у стран-партнеров устойчивые преимущества в сфере инноваций в энергетике за счет распространения опыта и знаний среди участников кооперации. Известный экономист-историк Н. Фергюсон утверждает, что в настоящий «век сетей» горизонтальные формы исключительно важны для продвижения нового и прорывного, так как, *во-первых*, они укрепляют начинания – «птицы сбиваются в стаи», *во-вторых*, «слабые связи» усиливаются благодаря подключению к другим кооперациям, даже посредством слабых каналов, *в-третьих*, «сети никогда не спят», потому что они не статичны и находятся в динамике, постоянно развиваясь и адаптируясь к новым условиям социально-экономического контекста [Ferguson, 2017].

Недостатки инновационной деятельности в традиционной и возобновляемой энергетике

Несмотря на положительную коннотацию «инноваций» они образуют ряд проблем в энергетике. Увеличение расходов на ИР в энергетике сопряжено 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 дальнейшего усовершенствования технологии при дальнейшем ее масштабировании. Счи-

тается, что эффект обучения во многом объясняет успех солнечной и ветровой генерации с началом инвестиционного бума середины 2010-х годов. 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 годы. *Во-вторых*, по мере роста инвестиций и производства возникает другой эффект – *экономии на масштабе*, когда на единицу дополнительной продукции приходится все меньше постоянных издержек.

Демаркация 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. 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 В. Сиварам указывает на факторы такой технологической «блокировки» в сфере ВИЭ в мире – инвестиции направлены не на разработку перспективных технологий, а на массовое внедрение и незначительные улучшения существующих технологий [Sivaram, 2018]. 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 кардинально увеличить добавленную стоимость в отрасли для привлечения бизнеса. В. Сиварам отмечает необходимость господдержки исследований и разработок посредством создания *совместных* лабораторий, демонстрационных промышленных образцов и госзаказов на опытное производство только новейших, а не уже существующих, технологий для развития инновационной и промышленной деятельности внутри страны, а не наоборот, как в случае с двумя крупнейшими американскими компаниями SunPower и First Solar, чья инновационная деятельность сосредоточена в США, а промышленная – за рубежом.

Другой недостаток расходов на ИР – нецелевое использование и неэффективное управление. Как показано в работе Б. Сова-

кула, многие научно-исследовательские проекты в энергетике, поддержанные правительствами в Юго-Восточной Азии, не только нецелевым образом тратили деньги налогоплательщиков, но и поощряли коррупцию и nepотизм в процессе их реализации [Sovacool, 2010]. Плюс к этому расходы на ИР восприимчивы к секвестру госбюджета из-за выполнения базовых обязательств перед гражданами (создание дорог, жилья и социальных активов), поэтому затраты на науку формируются по остаточному принципу для исследований с небольшим бюджетом, который мал для осуществления прорывных исследований. Например, в таких странах, как Южная Корея, Вьетнам, выигрывают конкурсы на выполнение энергетических исследований не много малых инновационных фирм, а небольшое число крупных компаний, находящихся в аффилиации с государством. Предоставляются весьма скромные инвестиции для независимых проектных групп, мыслящих нестандартно, с отклонением от технологического мейнстрима, заданного правительством. Таким образом, расходы на ИР идут на незначительные улучшения технологий для узкого круга крупных энергокомпаний и не имеют прорывного значения для мировой науки и большой ценности для общества в целом.

Высокая патентная активность в энергетике связана с издержками защиты интеллектуальной собственности и трансфера прорывных технологий. США как лидер в сфере инноваций в энергетике, на долю которого приходится 40% иностранной интеллектуальной собственности в мире, принял серию законов, например, H.R. 5841, внесенный на второй сессии 115-го собрания Конгресса 27 июня 2018 г. 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 [H.R.5841..., 2018]. Датская Vestas фиксирует в контрактах по локализации производства с зарубежными партнерами ограничения на реэкспорт ветроустановок в третьи страны. Так, в договоре Vestas с «Роснано» поставки российского оборудования могут идти только в страны СНГ, а растущие рынки Юго-Восточной Азии и Африки закрыты для российского экспорта [Дятел, 2018]. Стоит отметить, что риски интеллектуальной собственности нарастают и в традиционной энергетике. Трудности в переговорах между российскими энергомашиностроительными компаниями («Силовые маши-

ны», «РЭП Холдинг») и американской GE и немецкой Siemens для производства 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, надежных разработок, которых у России пока нет.

Ожидаемые эффекты Новой индустриализации и цифровизации энергетики

Благодаря новой индустриализации и цифровизации электроэнергетика с относительно низкой интенсивностью ИР превращается в динамичный инновационный сектор с новыми игроками – *хайтеком и стартапами*, которые были не свойственны этой капиталоемкой и инертной отрасли. В 2017 г. частный бизнес инвестировал в энергетические стартапы 6,1 млрд долл. (рис. 4.9), из которых 17% вложили нефтегазовый бизнес и электроэнергетика против 62% средств высокотехнологичных компаний ИКТ.

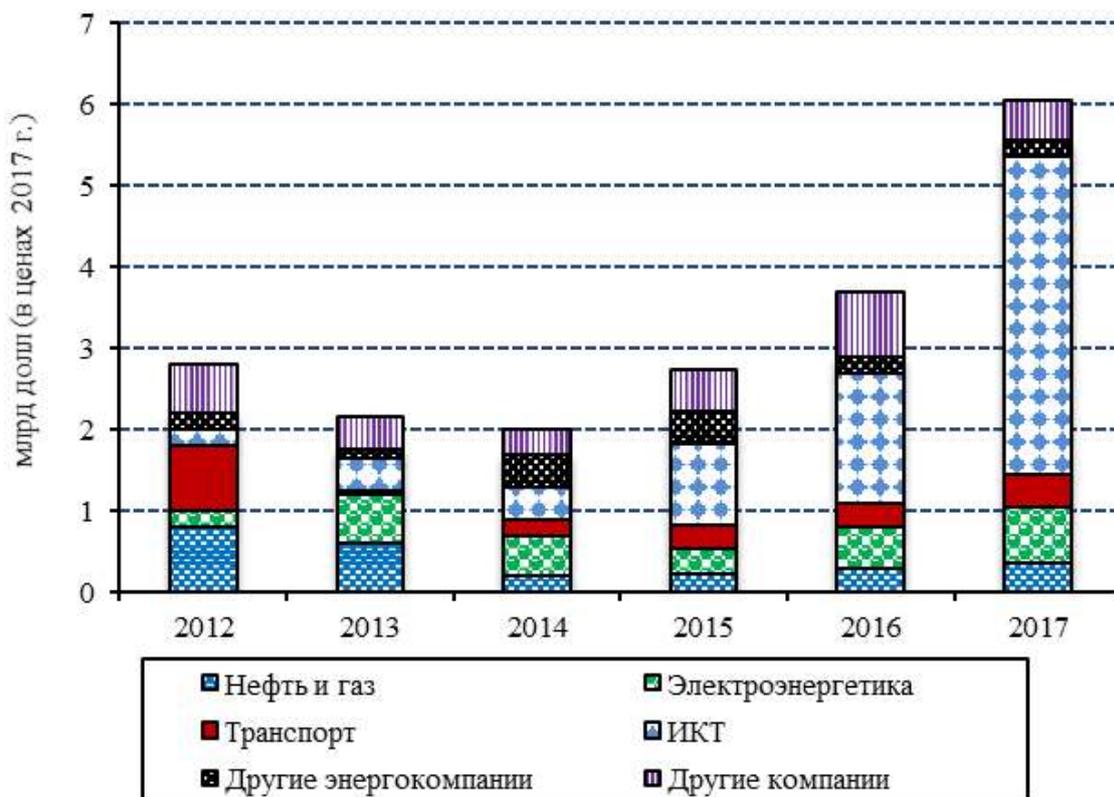


Рис.4.9. Отраслевые источники частных инвестиций в энергетические стартапы

Источник: WEI, 2018

Традиционная энергетика проявляет интерес к стартапам для изучения новых разработок, повышения квалификации сотрудников и выстраивания отношений с основателями перспективных фирм, чтобы в случае их успеха иметь льготные условия лицензирования или покупки софта. Энергетические стартапы характеризуются высокой неопределенностью, где «победитель получает все», поэтому стратегия состоит в разнообразии вложений в прорывные направления. Диверсификация стимулирует нефтегазовые компании вкладывать в новые фирмы в сфере 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 энергии вкладывают в цифровые стартапы. В 2018 г. японская компания TEPSCO инвестировала в высокотехнологичные фирмы, британскую Electron и сингапурскую April Electrify, по созданию блокчейн – технологий для индивидуальной торговли электроэнергией домохозяйствами. Одновременно с энергокомпаниями крупный хайтек самостоятельно поддерживает серию стартапов. Компания Google в партнерстве со стартапом Aclima из Кремниевой долины разработала инновационное приложение Streetview map по мониторингу загрязнения воздуха вблизи электростанций в конкретных районах мира. Другой пример – Alibaba апробирует онлайн-систему по отслеживанию условий сделок с нефтью.

Некоммерческий сектор инициирует проекты к продвижению цифровизации энергетике. Крупная неправительственная организация *The Energy Futures Initiative* под руководством бывшего министра энергетики Э. Мониза в 2018 г. заявила о намерении инвестировать 100–300 млн долл. в венчурные предприятия в сфере блокчейн-технологий в электроэнергетике.

Образовательные центры запускают новый класс исследовательских партнерств по созданию стартапов в энергетике. Лидер в области инноваций в энергетике Массачусетский технологический институт в октябре 2018 г. запустил специальную программу по энергетическим стартапам [McCaffret , 2018]. Институт предоставляет свои лаборатории, новейшее оборудование, мелкосерийное промышленное производство для прорывных разработок

и перспективных исследователей, чтобы открыть возможности для «свежих идей» в энергетике на перспективу 10–15 лет.

Другой положительный эффект – цифровизация электроэнергетики обеспечит глобальную экономию на капитальных и операционных затратах работающих электростанций в размере 80 млрд долл. ежегодно в течение 2016–2040 гг. (рис. 4.10) Такая экономия особо важна для угольной генерации, стоимость которой на 60% зависит от капвложений. В частности, цифровизация российской электроэнергетики, по оценкам Центра стратегических разработок, позволит снизить стоимость электроэнергии на 30–40% и увеличить экспорт энергооборудования в 4 раза до 40 млрд долл. к 2035 г. [Княгин, Холкин, 2017].

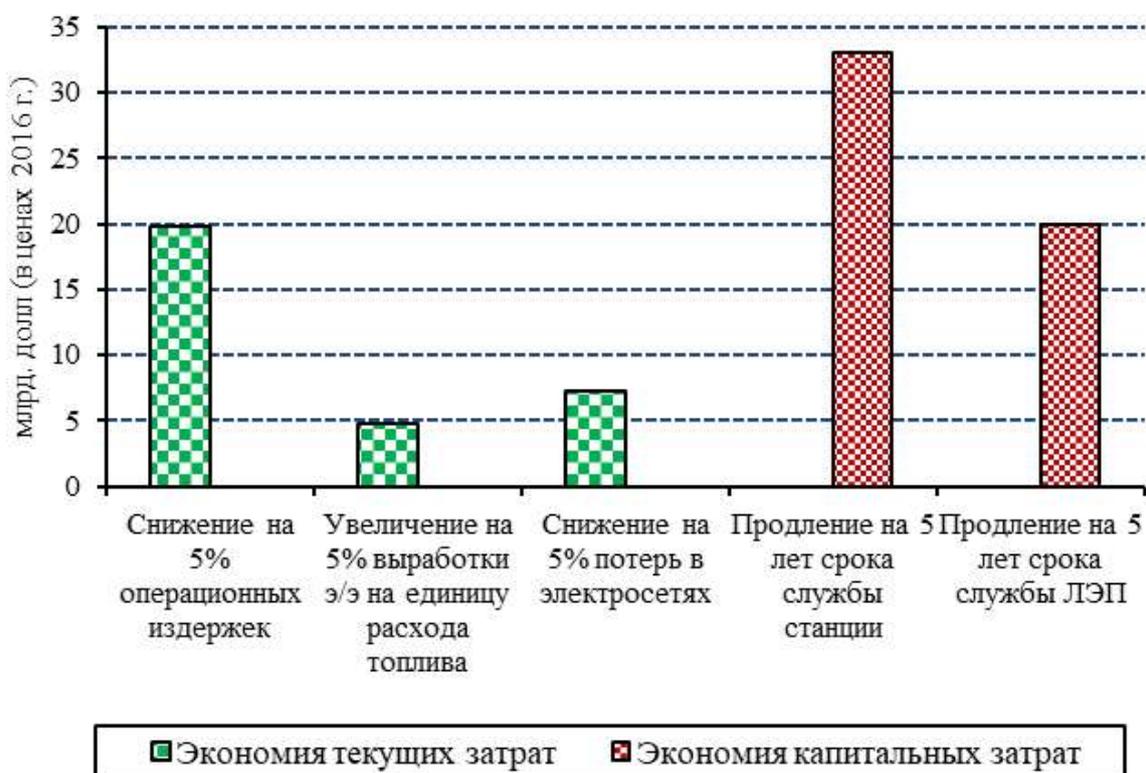


Рис. 4.10. Экономия текущих и капитальных затрат в условиях цифровизации электроэнергетики

Источник: [Digitalization..., 2017].

Выводы

Сравнительный анализ традиционной и возобновляемой электроэнергетики демонстрирует разные модели инновационной деятельности. Достоинства традиционной электроэнергетики состоят в высоких расходах, прежде всего, частного сектора на междисциплинарные исследования, концентрации на небольшом числе прорывных технологий и извлечение «эффекта масштаба» при промышленном освоении. Но высокая капиталоемкость разработок и слабые сетевые коммуникации сдерживают инновационные процессы.

Возобновляемая энергетика за более скромный исследовательский бюджет, но благодаря высокому уровню интенсивности ИР и патентования диверсифицирует набор технологических решений. Отсутствие значительного интереса частных компаний компенсируется в некоторой степени вниманием крупнейших филантропов мира и некоммерческих организаций, которые начинают играть заметную роль в инновационной сфере и поддерживают инновационные проекты в сфере ВИЭ. 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. В дополнение международные коллаборации усиливают сетевые эффекты в сфере ВИЭ. Уверенность в перспективах и ценностные ориентации среди богатых и влиятельных людей мира по отношению к ВИЭ могут «стоять больше» для долгосрочного развития инноваций в энергетике, чем текущее превосходство углеводородов в абсолютных расходах на ИР.

Новая индустриализация и цифровизация превращают электроэнергетику в динамичный инновационный сектор с новыми игроками – *хайтеком* и *стартапами*, которые дают шанс возобновляемой энергетике решить проблему «технологической блокировки». Плюс к этому, традиционные электростанции получают возможность значительно снизить операционные и капитальные затраты. Перспективы электроэнергетики связаны с тем, насколько каждый из источников энергии сможет привлечь энергетические стартапы и «сетевые» формы организации для решения проблем «технологической блокировки», неэффективного расходования средств на ИР, и интеллектуального мошенничества.