

# Инновации, устойчивый рост и энергетика: возможен ли цивилизационный рывок?

Владимир Миловидов

Заведующий кафедрой международных финансов <sup>a</sup>; руководитель Центра социально-экономических исследований <sup>b</sup>, vmilovidov@hotmail.com

<sup>a</sup> Университет МГИМО, 119454, Москва, пр-т Вернадского, 76

<sup>b</sup> Российский институт стратегических исследований, 125413, Москва, ул. Флотская, 15Б

## Аннотация

В статье исследуется связь между экономическим развитием, технологиями и потреблением энергии. Научно-технический и социальный прогресс трудно представить без энергетических ресурсов, потребление которых обеспечивает рост социального благосостояния. Технологическая революция в энергетике в прошлом веке дала импульс к возникновению современного информационного общества. Ресурс свободной энергии служит важнейшим фактором долгосрочного развития мировой экономики. Автор показывает, что на определенном этапе опережающего развития запасы энергоресурсов иссякают и повышается вероятность их нехватки, сдерживающей дальнейший прогресс. По его мнению, современные концепции устойчивого развития справедливо выделяют в качестве

одной из важнейших задач сбережение традиционных невозобновляемых энергоресурсов. Это важно не только с экологической, но и с экономической точки зрения. Вместе с тем, в рамках данной концепции уделяется повышенное внимание таким источникам энергии, эффективность и объем которых пока несопоставимы с углеводородами, а потому задачи устойчивого развития противоречат интересам прогресса. Технологии, которые призваны сократить расточительное потребление ископаемых видов топлива, зачастую приводят к их дополнительному расходованию. Автор предлагает объективно проанализировать риски следования концепции устойчивого развития и предостерегает от необоснованных ожиданий, чреватых длительной стагнацией или даже регрессом.

**Ключевые слова:** устойчивое развитие; энергоэффективность; инновации в энергетике; подрывные инновации; экспоненциальный рост.

**Цитирование:** Milovidov V. (2019) Innovation, Sustainable Growth, and Energy: Is Leap Forward for Civilization Possible? *Foresight and STI Governance*, vol. 13, no 1, pp. 62–68. DOI: 10.17323/2500-2597.2019.1.62.68

Лейтмотивом современных долгосрочных прогнозов и оценок общественного прогресса выступает обеспечение устойчивого развития (*sustainable development*). Эта концепция закреплена в 17 целях, одобренных Генеральной Ассамблеей ООН в 2015 г. и запланированных к реализации до 2030 г. [UN, 2015]. В идее устойчивого развития воплощена вполне закономерная надежда человечества на создание нового общества процветания, в котором будет обеспечен относительно равный всеобщий доступ к благам цивилизации, искоренены опасные болезни, ключевые факторы загрязнения окружающей человека среды, расовые и иные формы дискриминации — все то, что делает сегодняшний мир несовершенным, неравным, расточительным и даже опасным. Устойчивая долгосрочная трансформация общества рассматривается в документах ООН как достижение нового качества жизни будущих поколений. Важнейшим ресурсом реализации модели устойчивого развития должна стать качественно новая, неуглеродная энергетика. Нынешнему поколению предстоит заложить фундамент для достижения указанных целей, равно как и удостовериться в их обоснованности, соответствии долгосрочным тенденциям развития человечества и целесообразности затрачиваемых усилий.

Общественное развитие — инновационный, зачастую неупорядоченный процесс с высокой степенью неопределенности и риска [Миловидов, 2015а]. Известный американский антрополог Дэвид Грэбер (David Graeber) [Graeber, 2015] задается вопросом: где все те изобретения, о которых мечтал каждый ребенок в середине XX века — телепортация, защитные силовые поля, лучи, захватывающие предметы, колонии на Марсе, трикодеры для дистанционной диагностики состояния организма, летающие автомобили? Человеку свойственно постоянно ошибаться в прогнозировании будущего, тогда как далеко не всегда достижения или идеи, выглядящие важными и значимыми на одном этапе технологического прогресса, остаются таковыми на последующих его этапах. История знает множество примеров, когда одно увлечение сменялось другим, так и не став, как писал Джаред Даймонд (Jared Diamond), «матерью необходимости» [Diamond, 1997]. Даже казавшаяся дешевой и способной кардинально изменить жизнь человека атомная энергетика перестала будоражить воображение. Совсем иной оказалась судьба авиа- и автомобилестроения, технологий двигателей внутреннего сгорания или бензина — подрывных инноваций, революционизировавших быт и деятельность миллиардов людей. Сегодня перед человечеством стоит задача выйти на новый этап развития, не ошибившись в выборе технологических драйверов и верно рассчитав оставшиеся в нашем распоряжении ресурсы.

В статье анализируется связь между экономическим развитием, технологиями и энергетическим потенциалом человечества и оцениваются риски, связанные с реализацией концепции устойчивого развития, чреватой, по нашему мнению, длительной стагнацией и даже регрессом.

## Цивилизационный рывок и энергоресурсы

Известный канадский исследователь инноваций в области энергетики Вацлав Смил (Vaclav Smil) писал:

Современная цивилизация — продукт непрерывного крупномасштабного сжигания угля, нефти, природного газа и неуклонно расширяющегося производства электроэнергии из ископаемого топлива, кинетической энергии воды и за счет реакции разделения ядер урана [Smil, 2010].

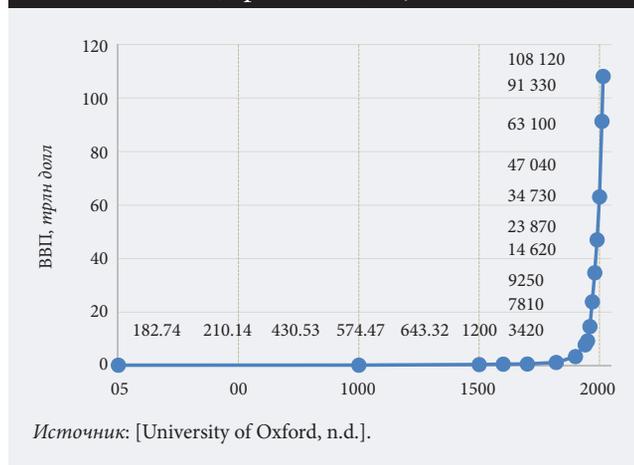
Последнее утверждение выглядит некоторой натяжкой на фоне современных тенденций отказа от атомной энергетики в целом ряде развитых стран, тем не менее общий смысл сказанного, очевидно, имеет под собой основания. Структура потребления энергии не просто связана с характером и формами развития общества, но и во многом определяет их.

Описанная зависимость в последнее время стала предметом целого ряда исследований. Смил был одним из тех, кто первыми попытались ее описать и измерить [Smil, 1991]. В дальнейшем эту работу продолжила международная группа ученых в составе Тимоти Лентона (Timothy Lenton), Питера-Пола Пихлера (Peter-Paul Pichler) и Хельги Вейз (Helga Weisz) [Lenton et al., 2016]. Британский экономист Ангус Мэддисон (Angus Maddison) обобщил данные о росте мирового ВВП за период более 2000 лет [Maddison, 2001]. Сегодня по методологии Мэддисона специалисты Университета Гронингена (University of Groningen) ведут постоянно обновляемую базу данных уровня глобального ВВП<sup>1</sup>. Результаты этих исследований агрегируются на сайтах, посвященных экономической истории, а также в рамках специальной программы по популяризации исторических знаний Our World in Data, организованной Оксфордским университетом (University of Oxford) [University of Oxford, n.d.]. Подобные ресурсы позволяют сопоставлять уровни энергопотребления с темпами экономического роста на различных этапах человеческой истории. При рассмотрении долгосрочной динамики мирового ВВП (рис. 1) прежде всего бросается в глаза его экспоненциальный рост начиная с промышленной революции середины XVIII в. Если в 1700 г. мировой ВВП оценивался в 643.3 млрд долл., то спустя 120 лет он практически удвоился, достигнув 1.2 трлн долл. К 1900 г. произошло его утроение до отметки 3.42 трлн долл., а к концу XX в. мировой ВВП достиг 63.1 трлн долл., то есть вырос еще в 18.5 раза, или в 100 раз за 300 лет. В исторической ретроспективе это выглядит как цивилизационный взрыв.

Известному американскому футурологу Рею Курцвейлу (Ray Kurzweil) приписывают термин «вторая половина шахматной доски» (*second half of the chessboard*), которым тот определял процессы, развивающиеся экспоненциально [Kurzweil, 2004]. Термин не был каким-то изобретением Курцвейла, но лишь ввел в научный обиход известную притчу о шахматной доске, число зерен, помещенных на которую, удваивается на каждой клеточ-

<sup>1</sup> Maddison Project database 2018. Режим доступа: <https://www.rug.nl/ggdc/historicaldevelopment/maddison/releases/maddison-project-database-2018>, дата обращения 07.07.2018.

**Рис. 1. Динамика мирового ВВП за период 1–2015 гг. (трлн долл., в ценах 2011 г.)**



ке и начинает стремительно расти с пятой горизонтали. Представленные на рис. 1 данные позволяют отнести промышленную революцию к экспоненциально масштабируемым событиям, вызывающим радикальные изменения в обществе [Миловидов, 2015b]. Какие условия привели к столь мощному росту масштабов и результативности человеческой деятельности?

Помимо технологических изобретений, таких как паровая машина, особое место среди факторов экспоненциального роста мировой экономики со времен промышленной революции занимают энергетические ресурсы и прежде всего уголь, добыча которого стала реальным двигателем прогресса [Allen, 2009]. Если в 1800 г. потребление энергии от сжигания каменного угля составляло 96.2 Твт·ч (1.8% совокупного), а от дров и иного биологического топлива — 5555.56 Твт·ч (98.3%), то уже к 1850 г. удельный вес угля в совокупном энергобалансе вырос до 7.3% (569.44 Твт·ч), а к 1900 г. — до 47.3% [University of Oxford, n.d.]. Промышленная революция фактически была угольной и состояла в стремительном взлете потребления ископаемого топлива в сравнении с привычными, используемыми на протяжении тысячелетий биологическими его видами и, как следствие, способствовала резкому росту энергопотребления в целом.

Лентон и его коллеги попытались оценить масштабы потребления энергии человеком на протяжении десятков тысяч лет [Lenton et al., 2016]. Их данные подтверждают, что экспоненциальный рост энергопотребления приходится на период промышленной революции и четко следует за ростом объемов ВВП (табл. 1). Внимание заслуживает также показатель объемов потребляемой энергии на производство 1 млрд долл. ВВП, снизившихся с 5.2 Твт·ч (по расчетам Лентона с соавт. — 13.86 Твт·ч) в 1820 г. до 1.4 Твт·ч — в 2015 г. с прогнозом дальнейшего сокращения до 1.2–0.6 Твт·ч к 2050 г. Очевидным является толкование такой динамики как роста энергоэффективности хозяйственной деятельности человека вслед за увеличением производительности энергоустановок, обслуживающих современную экономику. Но как тогда объяснить крайне низкий удельный вес энергопотребления в производстве материальных благ в начале новой

эры — 0.3 Твт·ч? Означает ли это, что наши предки умели добиваться более высоких результатов на том уровне затрат энергии, к которому мы приблизимся лишь к середине XXI в.?

Низкая энергоёмкость может объясняться различными причинами, связанными с особенностями используемой энергии и характером труда. Мнимая энергоэффективность хозяйственной деятельности в древности была обусловлена отсутствием у человека широкого выбора производительных энергоресурсов и соответствующих технологий. Важнейшим источником энергии был огонь, труд был преимущественно ручным либо с использованием тягловой силы домашних животных. Человек постепенно овладевал энергией воды и ветра, но, несмотря на эти технологические открытия, условный «энергобаланс» оставался крайне примитивным и дефицитным.

Промышленная революция XVIII в. в корне изменила ситуацию, принеся с собой не только принципиально новую технологию парового двигателя, но и новые энергетические ресурсы. Вероятно, именно массовое распространение угля как энергоносителя и привело к существенному повышению энергозатрат на производство ВВП. К слову, уже в эпоху промышленной революции звучали предложения об экономии энергии.

Известный английский экономист Уильям Джевонс (William Jevons) одним из первых обратил внимание на эффект энергопотребления. Он сформулировал парадокс, получивший в дальнейшем его имя — парадокс Джевонса: повышение эффективности использования некоторого ресурса увеличивает его потребление [Jevons, 1865]. Как показали последующие исследования, этот эффект не ограничен конкретной исторической эпохой промышленной революции [Rubin, 2004; Herring, 2006; Polimeni, 2008]. На эти же работы ссылается Смил, развенчивающий миф о том, что энергоэффективность снижает энергозатраты [Smil, 2010]. В контексте упомянутых исследований снижение расходов энергии на производство 1 млрд долл. ВВП может трактоваться как признак не роста энергоэффективности, а сокращения энергетической базы расширенного воспроизводства.

Таким образом, с самого начала промышленной революции человечество движется к неизбежной нехватке энергоресурсов, чреватой замедлением экономического роста в долгосрочной перспективе. Сложившийся уро-

**Табл. 1. Динамика роста ВВП и энергопотребления**

Год	ВВП (млрд долл., в ценах 2011 г.)	Потребление энергии (Твт·ч)	Потребление энергии на 1 млрд долл. ВВП (Твт·ч)
1	183	55.6	0.3
1820	1202	6263.9	5.2
2000	63 101	112 810	1.8
2015	108120	150 307.8	1.4
2050	230 000–330 000	180 000–280 000	1.2–0.6

Источник: расчеты автора по материалам [Lenton et al., 2016]; Our World in Data [University of Oxford, n.d.].

вень энергопотребления служит необходимым условием развития общества. Такие ресурсы, как нефть и газ, существенно ускорили прогресс цивилизации в XX в. В 1900 г. на нефть приходилось 180.56 Твт·ч потребляемой энергии (1.5% совокупного потребления), а в 2000 г. — уже 41 747.31 Твт·ч (36%). XXI век открывает многообещающие перспективы использования энергии природного газа, доля которого в энергобалансе устойчиво растет после Второй мировой войны. В 1950 г. потребление энергии сжигания природного газа составляло 2091.67 Твт·ч (7.5%), а в 2015 г. — 36 596.66 Твт·ч (24.3%) [University of Oxford, n.d.].

Соединение новых технологий и энергоресурсов обеспечило за последние 150 лет цивилизационный рывок человечества. За XX век добыча материальных ресурсов выросла восьмикратно, а рост глобального ВВП — в 23 раза (в 18 — в ценах 2011 г.) [Hilty, Aebischer, 2015], что свидетельствует о разрыве двух индикаторов развития. К чему приведет сохранение этого разрыва? Ответ на этот вопрос во многом зависит от правильной классификации рисков. Повсеместно распространившаяся логика устойчивого развития и вездесущей наднациональной бюрократии диктует необходимость экономить ресурсы, сдерживать потребление, преодолевать материальное неравенство и справедливо распределять материальные блага. Однако решение этих задач должно быть комплексным и сбалансированным. Вычленение из информационного потока наиболее существенных фактов, разработка оптимальных алгоритмов управления инновационным развитием, всесторонняя оценка инициатив по широкому спектру показателей и рисков служат важнейшими навыками для объективного прогнозирования энергетического будущего человечества [Миловидов, 2015с].

## В поисках подрывных инноваций

В середине 1990-х гг. Клейтон Кристенсен (Clayton Christensen) выдвинул концепцию подрывных инноваций (*disruptive innovations*), т. е. технологических разработок и изобретений, в корне меняющих привычный уклад жизни людей [Christensen, 1997]. Как правило, адаптация таких нововведений носит экспоненциальный характер: они быстро распространяются среди значительного числа пользователей и становятся неотъемлемым элементом человеческой деятельности до следующей инновационной волны. Особенность подрывных инноваций состоит в том, что в самом начале их возникновения они, как правило, известны лишь узкому кругу лиц и малозаметны для массового пользователя, кажутся ему чем-то экзотичным, никчемным или забавным. Именно поэтому такие инновации крайне сложно выявлять или прогнозировать, а их подрывной характер дает о себе знать на той стадии, когда остановить их распространение уже невозможно [Миловидов, 2018].

Жертвами подрывных инноваций пали многие крупные компании. История энергетической сферы изобилу-

ет подобными примерами, как в сфере добычи энергоресурсов, так и в процессе их преобразования в энергию, ее потребления на производстве или в быту. Зачастую новации были продиктованы бурным развитием технологий в других областях человеческой деятельности, таких как автомобилестроение, коммуникации, создание новых производственных процессов или материалов и т. д. В свое время само использование электричества в быту стало подрывной инновацией, вытеснившей многие иные способы обеспечения жилья энергией. Так, в 1908 г. электрифицированы были лишь 10% американских домохозяйств, но уже в 1928 г. их доля достигла 64%, а к 1958 г. — 99% [University of Oxford, n.d.].

В «информационном» XXI в. наиболее впечатляющие технологические разработки так или иначе связаны с накоплением и анализом больших массивов информации — «больших данных» [Миловидов, 2017]. Эти технологии создают дополнительный спрос на энергоресурсы. В 2007 г. Летиция Сушон (Laetitia Souchon) с коллегами проанализировали феномен «энергетического айсберга», заключающегося в том, что потребление электроэнергии инфраструктурой информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) (интернет-серверы, базовые станции мобильных сетей, дата-центры, системы бесперебойного снабжения энергией и т. д.) существенно превышает энергозатраты на поддержание работы конечных устройств (персональные компьютеры, мобильные телефоны) [Souchon et al., 2007]. В целом до 2/3 потребляемой энергии может приходиться на инфраструктуру. По оценкам группы шведских исследователей под руководством Йенса Малмодина (Jens Malmodin), в 2007 г. суммарное потребление энергии используемыми в мире ИКТ, включая инфраструктуру и конечные устройства, составило 1286 Твт·ч в год [Malmodin et al., 2010]. Оценки и прогнозы других авторов позволяют сделать вывод о дальнейшем росте потребления энергии в связи с растущей информатизацией общества [Hilty, Aebischer, 2015].

Дополнительное давление на ожидаемый рост энергопотребления в мире оказывает распространение таких технологий, как социальные сети и криптовалюты. С 2011 по 2016 г. спрос на энергию сети Facebook вырос с 532 до 1830 Гвт·ч (0.5–1.8 Твт·ч), т. е. более чем втрое<sup>2</sup>. При сохранении текущих темпов роста энергопотребления в 2050 г. социальная сеть может потреблять свыше 10 Твт·ч электроэнергии. Еще более впечатляющим оказывается рост энергопотребления майнеров биткоина. По данным портала Digiconomist, только за год с февраля 2017 г. по июль 2018 г. энергозатраты, связанные с эмиссией (майнингом) и обращением этой криптовалюты, возросли с 9.6 до 71 Твт·ч, приблизившись к совокупному энергопотреблению такой страны, как Чили. Этот уровень эквивалентен 1.7% потребления электроэнергии в США, 7.5% — России, 12.4% — Германии или 29.9% — Австралии<sup>3</sup>.

Ответом на столь радикальное развитие информационного общества и рост энергопотребления могут стать лишь научные исследования и разработки (ИиР) прин-

<sup>2</sup> Режим доступа: <https://www.statista.com/statistics/580087/energy-use-of-facebook/>, дата обращения 07.07.2018.

<sup>3</sup> Режим доступа: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>, дата обращения 07.07.2018.

ципиально новых технологий энергоснабжения. Однако вопреки логике объемы их финансирования имеют ярко выраженную цикличность, связанную с изменениями конъюнктуры рынка энергоресурсов (рис. 2) и свидетельствующую об отсутствии в большинстве стран мира сколь-либо долгосрочной стратегической научной политики в этой области. Вместе с тем если рассматривать структуру государственных инвестиций в науку в целом, то, к примеру, в США в 2006–2016 гг. удельный вес финансирования энергетических ИиР возрос с 6.67 до 9.33%. Эту динамику можно сопоставить с увеличением удельного веса расходов на аэрокосмические исследования — с 4.79 до 8.64% [NSF, 2018], доля которых в общем объеме средств, выделяемых государством на науку, намного (кратно) отстает от затрат на интеллектуальную деятельность в военной сфере.

Циклический характер финансирования ИиР в энергетике сопровождается структурными сдвигами в их тематике и направленности. По данным Международного энергетического агентства, удельный вес расходов на ИиР за период 1974–2017 гг. снизился с 75 до 19% в атомной энергетике и остался на прежнем уровне 8–9% в сегменте ископаемых топлив. Доля затрат на ИиР, связанных с энергоэффективностью, выросла с 4 до 23%, а в сферах возобновляемых источников энергии и ее аккумуляции — с 3 до 19% и с 2 до 9% соответственно. При этом с 8 до 20% увеличилась доля затрат на междисциплинарные исследования [IEA, n.d.], тогда как уровень финансирования таких, казалось бы, подрывных энергетических инноваций, как топливные элементы или водородная энергетика, остается весьма скромным — менее 3%.

Приложение Google Trends<sup>4</sup> позволяет оценить наиболее популярные среди пользователей интернета темы. Здесь специальные запросы соседствуют с самыми общими, такими как «новая энергия» (*new energy*)

или «энергетическая эффективность» (*energy efficiency*). И если первая оказалась наиболее популярной (60 баллов из 100 возможных) среди жителей Новой Зеландии, Колумбии, Италии, Индонезии, Пакистана и Польши, то второй (41 балл) чаще интересуются на Шри-Ланке, в Саудовской Аравии, Гонконге, Португалии, Финляндии и ЮАР, а на всем наблюдаемом с 2004 г. интервале популярность этого запроса снизилась с 64 до 24 баллов. Стремительно снижалась популярность запросов «топливные элементы» (*fuel cells*) — с 86 баллов в 2004 г. до 9 баллов в июне 2018 г. Однако в Дании, Японии, Мексике, Тайване, Египте и Иране интерес к данной проблематике остается высоким. Популярность запроса по другой потенциально подрывной технологии — «хранение и накопление энергии» (*energy storage*) — выросла с 14 до 20 баллов, преимущественно в Южной Корее, Чехии, Иране, Таиланде, Египте и Португалии. Наконец, внимание к технологиям сбора кинетической энергии при работе различных механизмов и движении человека (*energy harvesting*) пока не очень высокое (всего 3 балла) и отмечается в основном в Южной Корее, Тайване, Иране, Малайзии и Японии. Иными словами, выявить возникновение чего-то принципиально нового характер поисковых запросов пока не позволяет.

### Назад в будущее?

Первые автомобили использовали технологии парового двигателя и электрической тяги. В 1896 г. на первых в США автогонках победил автомобиль с электродвигателем, а с 1897 г. началось их серийное производство [Smil, 2010]. Спустя несколько лет инициатива перешла к автомобилям с двигателями внутреннего сгорания — не только в силу их скорости и мощности, но прежде всего благодаря более эффективному масштабированию серийного выпуска, цепочек поставок комплектующих и в конечном счете массовому конвейерному производству, позволившему снизить себестоимость и значительно нарастить прибыль. Сегодня мир, вооруженный современными, гораздо более амбициозными технологиями, вновь возвращается к идее электромобилей. С 2040 г. сразу несколько стран планируют полностью прекратить выпуск автомобилей на двигателях внутреннего сгорания. Рассмотрим факторы, способные существенно подорвать веру в электромобиль в среднесрочной перспективе.

Производство автомобилей в целом и электрических в частности — крайне энергоемкий процесс. В 2010 г. ученые Аргоннской национальной лаборатории США (Argonne National Laboratory) провели ревизию совокупных объемов энергии, затрачиваемой в ходе полного цикла производства автомобилей за последние 30 лет [Sullivan et al., 2010]. В период 1972–2010 гг. этот показатель варьировал в диапазоне 13.5–52.8 ГДж ( $3.75 \times 10^6$  —  $14.7 \times 10^6$  Твт·ч). Собственная оценка авторов исследования лежит в тех же пределах — 33.92 ГДж ( $9.42 \times 10^6$  Твт·ч). По их же расчетам, количество энергии, затрачиваемой при создании электромобиля, составляет 50.73 ГДж

**Рис. 2. Динамика государственных расходов на ИиР в энергетике и среднегодовые цены на нефть (ОПЕК) за период 1977–2017 гг.**



Источник: расчеты автора по данным [IEA, n.d.; Statista, 2018].

<sup>4</sup> Режим доступа: <https://trends.google.com/trends/>, дата обращения 27.07.2018.

( $14.09 \times 10^6$  Твт·ч), т. е. производственный цикл автомобилей на двигателе внутреннего сгорания оказывается более энергоэкономичным. Представленные расчеты можно дополнить данными о потреблении энергии при эксплуатации автомобилей, например, в течение 10 лет. В случае автомобилей с двигателями внутреннего сгорания совокупные энергозатраты могут достигать 247 ГДж ( $68.6 \times 10^6$  Твт·ч), а для электромобилей — 187 ГДж ( $51.94 \times 10^6$  Твт·ч), т. е. разница на десятилетней дистанции немногим превосходит 30%<sup>5</sup>, а на двухлетней отсутствует вовсе, и это без учета множества дополнительных обстоятельств, которые могут склонить чашу весов в ту или другую сторону за несколько лет. Так, по оценкам оксфордских специалистов, энергия, которая необходима для зарядки аккумулятора разработанного компанией Tesla тяжелого электрогрузовика Semi, эквивалентна потребляемой 4000 средних частных домов [WEF, 2017].

Дополненные прогнозами роста годовых продаж автомобилей, представленные оценки позволяют датировать наступление новой эры автопроизводства 2040 г., когда производственные энергозатраты, по подсчетам автора, достигнут 1130 Твт·ч для автомобилей с двигателем внутреннего сгорания и 704 Твт·ч — для электромобилей. После прекращения производства первых вторым предстоит занять соответствующую рыночную долю. В итоге годовое потребление энергии может достичь уровня 1600–2800 Твт·ч (примерно 240 млн т в нефтяном эквиваленте), что в 2.3–3.8 раза превосходит текущие совокупные масштабы потребления всех участвующих в автопроизводстве смежников. Значительный рост энергопотребления в результате массового перехода на электромобили всех типов и моделей, весьма вероятно, приведет к дополнительному спросу на традиционные источники энергии.

Переход на электромобили станет вызовом для добывающей промышленности и производителей аккумуляторов. Изготовление одного аккумулятора электромобиля требует от 5 до 15 кг кобальта, адекватной замены которому пока не найдено, хотя такие исследования ведутся [Felter, 2018]. Мировые разведанные запасы кобальта оцениваются в 25 млн т, а с учетом океанического дна — в 120 млн т. Впрочем, производители ориентируются на данные Геологической службы США (U.S. Geological Survey), согласно которым в 2017 г. официально подтвержденные и промышленно разрабатываемые запасы составляли 7.1 млн т. Текущий ежегодный уровень добычи в 110–120 тыс. т к 2026 г. может достичь 190 тыс. т [USGS, 2018], т. е. при 150 тыс. т среднегодовой добычи кобальтовые ресурсы будут исчерпаны к 2064 г., или через 24 года после того, как мир предположительно переседет на электромобили.

Борьба за месторождения кобальта уже началась и отразилась в росте цен на него. Сегодня 60% этого металла добывает Демократическая Республика Конго (ДРК) в сотрудничестве с Китаем, обеспечивающим полный цикл кобальтодобычи вплоть до переработки. Это позво-

ляет некоторым экспертам говорить о доминировании китайской «цепи поставок», подталкивающим ряд стран, прежде всего Германию, к поиску альтернативных поставщиков. Россия не входит в число главных мировых производителей кобальта — его отечественные запасы сравнительно невелики. Однако согласно перечню критического сырья стран ЕС, утвержденному Европейской комиссией в 2017 г., Россия значится основным поставщиком этого металла в ЕС с долей 91%. Конкуренцию ей может составить Финляндия, где возросшие рыночные цены позволили начать добычу кобальта в 2017 г., благодаря чему самообеспеченность ЕС в нем достигла 32% [European Commission, 2017].

В описанных условиях путь к полной электрификации автотранспорта будет сложным и противоречивым, порождающим вопросы не только к энергоэффективности производства, но и к его социально-политическим аспектам, таким как эксплуатация труда рабочих на кондолезских рудниках или загрязнение атмосферы металлургическими предприятиями. Не исключены также передел сырьевых рынков и иные системные риски, включая экологические. Серьезным вызовом остается низкая эффективность возобновляемой энергетики. Полезный КПД электрогенерации достигает наибольших значений — до 90% — в гидроэнергетике, тогда как в ходе генерации электричества при сжигании ископаемых видов топлива (угля, нефти и газа) потери энергии превышают 60%<sup>6</sup>. Впрочем, альтернативная энергетика не предлагает принципиальных решений. Эффективность ветрогенерации пока еще составляет не более 37%, солнечной энергетики — менее 20%, переработки биомассы — чуть более 35%. Наилучшие показатели среди альтернативных видов энергетики — у топливных элементов. Их эффективность в зависимости от типа используемых носителей (например, расплавленный карбонат) достигает 57%, что даже несколько выше газогенерации (55%). Топливные элементы эффективнее угля (40–45%) и нефтепродуктов (37%)<sup>7</sup>, хотя и не радикально. Объем инвестиций, необходимых для развития этой технологии, внутренняя норма доходности проектов и затраты на установку оборудования могут свести на нет всякую выгоду от нее.

Сколь бы тенденциозным ни выглядел этот вывод, но ископаемым видам топлива пока нет адекватной по затратам и эффективности альтернативы. Мировые запасы нефти, газа и угля конечны, но достаточны для обеспечения очередного технологического рывка. Дальнейшие перспективы туманны и требуют усилий по геологоразведке, развитию технологий добычи полезных ископаемых, повышению эффективности используемых ресурсов (не экономии, а роста производительности генерации). Разработка существующих резервов сама по себе может дать импульс технологическим преобразованиям. Вместе с тем использование этих ресурсов способно преобразовать всю технологическую цепочку. Например, полная замена автомобилей внутреннего сгорания на электромобили при сохранении угля в качестве

<sup>5</sup> Режим доступа: <https://www.quora.com/How-much-energy-is-required-to-build-an-electric-car>, дата обращения 23.05.2018.

<sup>6</sup> Режим доступа: <https://flowcharts.llnl.gov>, дата обращения 22.07.2018.

<sup>7</sup> Режим доступа: <http://bxhorn.com/power-generation-efficiency/>, дата обращения 11.08.2018.

основного энергетического ресурса в восприятии будущих поколений останется не более чем лицемерием.

Концепция устойчивого развития предполагает отказ от традиционных ресурсов в пользу более дорогих и менее эффективных альтернатив. Возможно, прав Дэвид Грэбер, призывающий покончить с засильем бюрократии, не только поглощающей значительную долю создаваемой производительным трудом добавленной стоимости, но и создающей собственный образ будущего, который на определенном этапе может разойтись с интересами всего человечества [Graeber, 2018].

\* \* \*

Проблема обеспечения долгосрочного развития общества необходимыми и достаточными энергетическими

ресурсами играет ключевую роль на современном этапе. На сегодняшний день отсутствует сколь-либо однозначное и общепризнанное решение противоречия между экологией и ростом энергопотребления, что создает питательную почву для спекуляций о завершении эпохи ископаемого топлива. Задачи защиты окружающей среды следует решать не в ущерб прогрессу человеческой цивилизации, отнюдь не склонной к дауншифтингу. Было бы неправильно превозносить потребительскую природу людей, однако именно она побуждает их к открытиям, освоению новых земель и даже покорению космоса. Законы развития общества и хозяйственной деятельности время от времени ставят человека на место в его безграничных мечтаниях, но гораздо опаснее в борьбе с ними обольщаться экологической утопией.

## Библиография

- Миловидов В.Д. (2015a) Управление инновационным процессом: как эффективно использовать информацию // Нефтяное хозяйство. № 6. С. 10–16.
- Миловидов В.Д. (2015b) Управление рисками в условиях асимметрии информации: отличай различное // Мировая экономика и международные отношения. Т. 59. № 8. С. 14–24.
- Миловидов В.Д. (2015c) Проактивное управление инновациями: составление карты знаний // Нефтяное хозяйство. № 8. С. 16–21.
- Миловидов В.Д. (2017) Информационная асимметрия и «большие данные»: грянет ли пересмотр парадигмы финансового рынка? // Мировая экономика и международные отношения. Т. 61. № 3. С. 5–14.
- Миловидов В.Д. (2018) Услышать шум волны: что мешает предвидеть инноваций? // Форсайт. Т. 12. № 1. С. 88–97.
- Allen R. (2009) *The British Industrial Revolution in Global Perspective* (New Approaches to Economic and Social History). Cambridge: Cambridge University Press. DOI:10.1017/CBO9780511816680.
- Christensen C. (1997) *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*. Boston, MA: Harvard Business Review Press.
- Diamond J. (1997) *Guns, Germs, and Steel*. New York: W.W. Norton.
- European Commission (2017) Study on the review of the list of critical raw materials. Brussels: European Commission. Режим доступа: <http://ec.europa.eu/docsroom/documents/25421>, дата обращения 15.06.2018.
- Felter C. (2018) The cobalt boom // Council on Foreign Relations website, 15.06.2018. Режим доступа: <https://www.cfr.org/backgrounder/cobalt-boom>, дата обращения 07.07.2018.
- Graeber D. (2015) *The Utopia of Rules: On Technology, Stupidity, and the Secret Joys of Bureaucracy*. New York, London: Melville House. ISBN 978-1-61219-375-5.
- Graeber D. (2018) *Bullshit jobs*. New York: Simon & Shuster.
- Herring H. (2006) Energy efficiency – a critical view // *Energy*. № 31. P. 10–20.
- Hilty L., Aebischer B. (eds.) (2015) *ICT innovations for sustainability*. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer.
- IEA (n.d.) Energy technology RD&D: Tracking trends in spending on research, development and deployment. Режим доступа: <http://www.iea.org/statistics/rdd/>, дата обращения 07.07.2018.
- Jevons W.S. (1865) *Coal question. An inquiry concerning the progress of the nation, and the probable exhaustion of our coal-mines*. London: Macmillan and Co.
- Kurzweil R. (2004) *The Law of Accelerating Returns* // Alan Turing: Life and Legacy of a Great Thinker / Ed. C. Teuscher. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer. P. 381–416.
- Lenton T.M., Pichler P., Weisz H. (2016) Revolutions in energy input and material cycling in Earth history and human history // *Earth System Dynamics*. № 7. P. 353–370.
- Maddison A. (2001) *The World Economy: A Millennial Perspective*. Paris: OECD.
- Malmodin J., Moberg A., Lunden D., Finnveden G., Lovehagen N. (2010) Greenhouse gas emissions and operational electricity use in the ICT and entertainment & media sectors // *Journal of Industrial Ecology*. Vol. 14. № 5. P. 770–790. Режим доступа: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1530-9290.2010.00278.x>, дата обращения 17.02.2018.
- NSF (2018) National Science Board. *Science & Engineering Indicators 2018*. Alexandria, VA: National Science Foundation. Режим доступа: <https://www.nsf.gov/statistics/2018/nsb20181/assets/nsb20181.pdf>, дата обращения 07.07.2018.
- Polimeni J.M., Mayumi K., Giampietro M., Ascott B. (2008) *The Jevons Paradox and the Myth of Resource Efficiency Improvements*. London: Earthscan.
- Rubin A. (2004) How greater efficiency increases resource use. Paper presented to the North Central Sociological Association, April 2, Cleveland, Ohio.
- Smil V. (1991) *General Energetics Energy in the Biosphere and Civilization*. New York: John Wiley.
- Smil V. (2010) *Energy Myths and Realities: Bringing Science to the Policy Debate*. Washington, D.C.: AEI Press.
- Souchon L., Aebischer B., Roturier J., Flipo F. (2007) Infrastructure of information society and its energy demand // *European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE) Summer Studies Proceedings*. P. 1215–1225. Режим доступа: [https://www.eceee.org/library/conference\\_proceedings/eceee\\_Summer\\_Studies/2007/Panel\\_6/6.233/](https://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2007/Panel_6/6.233/), дата обращения 26.04.2018.
- Statista (2018) Change in OPEC crude oil prices since 1960. Режим доступа: <https://www.statista.com/statistics/262858/change-in-opec-crude-oil-prices-since-1960/>, дата обращения 07.07.2018.
- Sullivan J.L., Burham A., Wang V. (2010) *Energy-consumption and carbon-emission analysis of vehicle and component manufacturing*. Lemont, IL: Argonne National Laboratory.
- UN (2015) *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. Geneva: United Nations. Режим доступа: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication>, дата обращения 15.01.2018.
- University of Oxford (n.d.) *Our World in Data*. Режим доступа: <https://ourworldindata.org/economic-growth>, дата обращения 07.07.2018.
- USGS (2018) *Mineral commodity summaries*. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey. Режим доступа: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf>, дата обращения 07.07.2018.
- WEF (2017) Tesla's electric truck 'needs the energy of 4000 homes to recharge', say researchers. Режим доступа: <https://www.weforum.org/agenda/2017/12/tesla-s-electric-truck-needs-the-energy-of-4-000-homes-to-recharge-say-researchers/>, дата обращения 09.05.2018.