

УДК 338.45:620.9:504.052
JEL: O13, P48, Q3, Q4, Q5

DOI: <http://dx.doi.org/10.21202/1993-047X.14.2020.2.249-265>

Д. А. ЖДАНОВ¹,
К. Т. МОЛДАБАЕВ²

¹Центральный экономико-математический институт Российской академии наук, г. Москва, Россия

²Российская академия народного хозяйства и государственной службы
при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Россия

ТЕНДЕНЦИИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ: ВОЗМОЖНОСТИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ И ТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Контактное лицо:

Жданов Дмитрий Алексеевич, доктор экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Центральный экономико-математический институт РАН
Адрес: 117418, г. Москва, Нахимовский просп., 47, тел.: +7 (499) 129-08-22
E-mail: djhdanov@mail.ru
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9372-2931>
Web of Science Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/Y-6024-2018>
SPIN-код: 5875-1109, AuthorID: 321070

Молдабаев Каныш Танибергенович, докторант программы DBA, РАНХиГС при Правительстве РФ
Адрес: 119571, г. Москва, просп. Вернадского, 82, тел.: +7 (495) 937-02-99
E-mail: k.moldabayev@mail.ru

Цель: исследование тенденции повышения энергоэффективности современной экономики с учетом возможностей возобновляемой генерации, традиционного (ископаемого) топлива и привлечения энергосбережения, а также сопоставление параметров, определяющих скорость энергетической трансформации.

Методы: для реализации поставленной цели использовался неинституциональный методологический подход, и в частности, методы микроэкономического анализа.

Результаты: дискуссии относительно преимуществ и перспектив возобновляемых источников энергии относительно традиционных не прекращаются на протяжении последних десятилетий. Проведенный анализ свидетельствует, что традиционные источники энергии по-прежнему будут оставаться основными на протяжении еще нескольких десятков лет. В работе проводится анализ возможности повышения энергоэффективности экономики с учетом перспектив возобновляемой генерации, традиционного (ископаемого) топлива и привлечения энергосбережения, а также анализ влияния отмеченных факторов на скорость энергетической трансформации.

С помощью выбранного инструментария проведено сравнение предельных затрат на производство энергии и энергосбережение, что позволило определить его оптимальные объемы. Выделены и проанализированы три направления повышения энергоэффективности: за счет активизации энергосбережения как одного из доступных «альтернативных источников энергии»; сокращения субсидий на традиционную энергию; дифференцированного налогообложения различных источников, учитывающего экологические эффекты. В завершение показано влияние на скорость энергетического перехода снижения расходов на возобновляемые источники энергии, изменения тарифов на ископаемое топливо и включения в его цену экологических экстерналий.

Научная новизна: продемонстрировано, что стоимость энергосбережения оптимизируется при объемах, когда предельные затраты на него равны предельным затратам на солнечную энергию, также проведено ранжирование отмеченных факторов, влияющих на скорость энергетической трансформации: снижения расходов на возобновляемые источники энергии; различных сценариев поведения цен на ископаемое топливо; учета экологических затрат.

Практическая значимость: полученные результаты могут быть полезны для модельного описания взаимодействия основных факторов, влияющих на повышение энергоэффективности экономики.

Ключевые слова: экономика и управление народным хозяйством; возобновляемые источники энергии; ВИЭ; энергосбережение; субсидии; энергетический переход; экологические экстерналии

Конфликт интересов: авторами не заявлен.

Как цитировать статью: Жданов Д. А., Молдабаев К. Т. Тенденции повышения энергоэффективности: возможности возобновляемой и традиционной энергетики // Актуальные проблемы экономики и права. 2020. Т. 14, № 2. С. 249–265. DOI: <http://dx.doi.org/10.21202/1993-047X.14.2020.2.249-265>

D. A. ZHDANOV¹,

K. T. MOLDABAEV²

¹Central Institute for Economics and Mathematics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²Russian Academy of Economy and State Service under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

TRENDS OF INCREASING ENERGY EFFICIENCY: OPPORTUNITIES OF RENEWABLE AND TRADITIONAL ENERGY SECTORS

Contact:

Dmitry A. Zhdanov, Doctor of Economics, Associate Professor, Leading Researcher, Central Institute for Economics and Mathematics of the Russian Academy of Science
Address: 47 Nakhimovskiy prospekt, 117418 Moscow, tel.: +7 (499) 129-08-22

E-mail: djhdanov@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9372-2931>

Web of Science Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/Y-6024-2018>

Kanysh T. Moldabaev, doctoral student of DBA program, Russian Academy of Economy and State Service under the Government of the Russian Federation

Address: 82 Vernadskogo prospekt, 119571 Moscow, tel.: +7 (495) 937-02-99

E-mail: k.moldabayev@mail.ru

Objective: to study the trend of increasing energy efficiency in the modern economy, taking into account the possibilities of renewable energy generation, traditional (fossil) fuels and energy savings; to compare the parameters determining the speed of energy transformation.

Methods: to achieve the set objective, a neoinstitutional methodological approach was used, and, in particular, methods of microeconomic analysis.

Results: discussions about the advantages and prospects of renewable energy sources relative to traditional ones have been ongoing over the past decades. The performed analysis shows that traditional energy sources will continue to be the main ones for several decades to come. The paper analyzes the possibility of improving the energy efficiency of the economy, taking into account the prospects of renewable energy generation, traditional (fossil) fuels and energy savings, as well as the analysis of the impact of these factors on the speed of energy transformation.

The selected tools allowed comparing the marginal costs of energy production and energy saving, and to determine their optimal volumes. Three directions of energy efficiency improvement are identified and analyzed: by activating energy saving as one of the available “alternative energy sources”; by reducing subsidies for traditional energy; and by differentiated taxation of various sources, taking into account environmental effects. Finally, it was shown how the speed of energy transition is influenced by the impact of cost reduction for renewable energy sources, changes in fossil fuels tariffs, and inclusion of environmental externalities in its price.

Scientific novelty: it is shown that the cost of energy saving is optimal for volumes when its marginal cost is equal to the marginal cost of solar energy; the ranking of factors that affect the speed of energy transformation is carried out: reducing the cost of renewable energy sources; various scenarios for the behavior of fossil fuel prices; and accounting for environmental costs.

Practical significance: the results obtained can be useful for a model description of the interaction of the main factors that affect the increase in energy efficiency of the economy.

Keywords: Economics and national economy management; Renewable energy sources; RES; Energy saving; Subsidies; Energy transition; Environmental externalities

Conflict of Interest: No conflict of interest is declared by the authors.

For citation: Zhdanov D. A., Moldabaev K. T. Trends of increasing energy efficiency: opportunities of renewable and traditional energy sectors, *Actual Problems of Economics and Law*, 2020, Vol. 14, No. 2, pp. 249–265 (in Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.21202/1993-047X.14.2020.2.249-265>

Введение

Дискуссии о роли возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ) в современном энергобалансе, о необходимости все более активного использования альтернативных решений и экологических последствиях применения традиционных источников генерации постоянно ведутся в обществе. Происходящая энергетическая трансформация, переход от ископаемого топлива к возобновляемым источникам ставит задачу удовлетворения растущего спроса на энергоресурсы при одновременном сокращении выбросов углекислого газа. В последние годы темпы такой трансформации привлекают все больше внимания, поскольку ее экологический аспект стал в том числе политическими популистским инструментом воздействия¹, а первоочередные варианты решения проблемы, как правило, видятся в форсировании перехода к возобновляемой энергетике.

В современном информационном поле возможности возобновляемой энергетики, при всей справедливости экологических соображений, нередко идеализируются, зачастую из конъюнктурных соображений, а традиционная энергетика однозначно отвергается, ей предрекается скорый конец. Но все ли тут так однозначно с экономической точки зрения? Ведь известно, что использование ветровой или солнечной генерации в Евросоюзе пока не смогло обеспечить длительное и бесперебойное снабжение потребителей, а отсутствие «страховки» со стороны традиционных источников приводит к дополнительным затратам.

Несмотря на активное развитие возобновляемых источников², многие эксперты ожидают, что в ближайшие двадцать лет традиционная генерация останется преобладающим элементом энергопотребления, что

проиллюстрировано на рис. 1, где приведен подготовленный компанией *British Petroleum (BP)* прогноз потребления энергии в 2040 г. [2]. Его авторы считают, что произойдет увеличение роли ВИЭ в потреблении, но ископаемая энергия все же останется доминантой мирового энергобаланса, хотя ее доля и уменьшится, поскольку энергопотребление в целом вырастет.

В качестве еще одной иллюстрации происходящих процессов рассмотрим прогноз энергобаланса Китая, наиболее динамичной на сегодня экономики и одного из лидеров использования ВИЭ. По расчетам той же *BP*, к 2030 г. доминирующая роль в энергопотреблении страны также останется за традиционными источниками, доля ВИЭ увеличится, но все же останется незначительной (рис. 2).

Таким образом, с одной стороны, можно наблюдать все более активное использование ВИЭ и их повсеместную поддержку, а с другой – процессы, говорящие о долговременном сохранении традиционной энергетикой своих позиций³.

С учетом обозначенной проблематики целью настоящей работы стало исследование приоритетных тенденций и возможностей повышения энергоэффективности экономики с учетом перспектив возобновляемой генерации, традиционного (ископаемого) топлива и привлечения энергосбережения, а также анализ влияния отмеченных факторов на скорость энергетической трансформации.

Для решения поставленной задачи выбрана следующая исследовательская логика. Сначала проанализированы факторы, обуславливающие стоимость новых возобновляемых источников, что показало особенности их ценообразования, затем продемонстрированы возможности энергосбережения как одного из доступных «альтернативных источников энергии», далее оценено влияние энергетических субсидий и экологических экспортных на стоимость традиционного топлива и энер-

¹ Тут можно отметить деятельность Греты Трунберг, юной шведской экологической активистки, ставшей одной из главных мировых медийных персон после речи в ООН в защиту экологии.

² Так, с 2000 по 2019 гг. число государств, где действуют проекты возобновляемой энергетики, выросло более чем вдвое (до 91 страны), а мощности увеличились в 37 раз [1, с. 26–31].

³ Например, в структуре потребления первичной энергии в России доля ВИЭ (без гидроэнергии) составила в 2018 г. только 0,03 % [4].

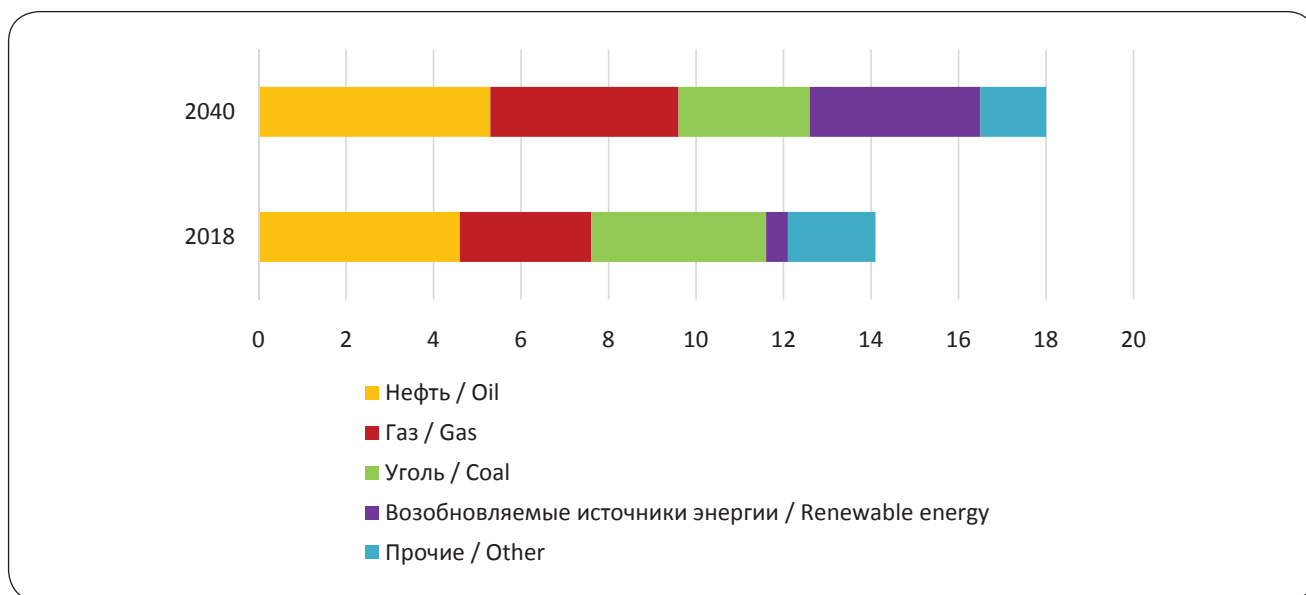


Рис. 1. Первичное потребление энергоресурсов в мире, млн т н. э.

Источник: составлено авторами на основе [1, с. 26–31].

Fig. 1. Primary global consumption of energy resources, mln tons in oil equivalent

Source: compiled by the authors based on [1, pp. 26–31].

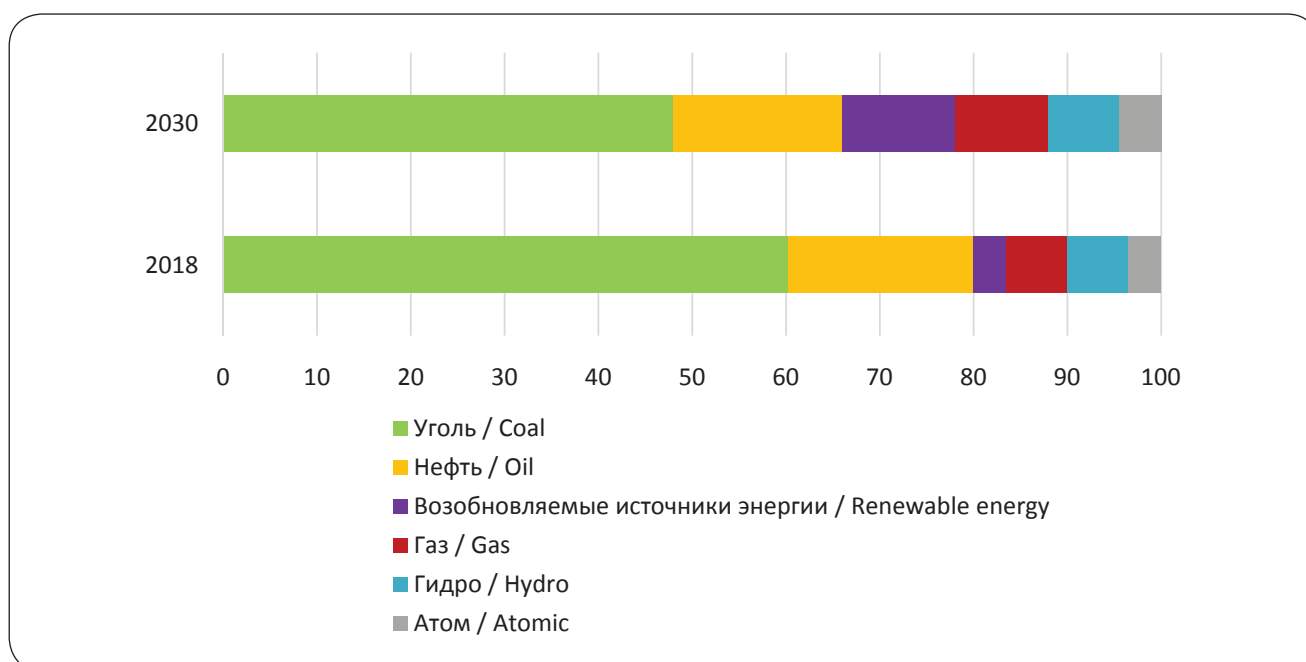


Рис. 2. Структура энергобаланса Китая (%)

Источник: составлено авторами на основе [3, с. 12–18].

Fig. 2. Structure of energy balance in China (%)

Source: compiled by the authors based on [3, pp. 12–18].

гоэффективность. В завершение продемонстрированы возможности ускорения темпов энергетического перехода с помощью отмеченных факторов.

В качестве инструментария исследования, помимо численного анализа, использовались модели микроэкономического анализа. С их помощью изучалось, в частности, поведение предельных затрат на производство и энергосбережение, динамика предложения источников энергии, а также спроса на нее, что позволило провести оценку оптимальных объемов энергосбережения или влияния на госрасходы отказа от энергетических субсидий.

В качестве рассматриваемого периода выбрана среднесрочная перспектива, охватывающая два ближайших десятилетия, что позволяет оценить предстоящие, но все же идентифицируемые тенденции. Отметим также, что на данный временной период, по прогнозам, придется фаза быстрого роста шестого технологического уклада, предполагающего, в частности, новые решения в области энергосбережения.

Факторы, определяющие стоимость возобновляемой энергетики

В настоящее время около 80 % энергии, вырабатываемой в мире, получается из ископаемого топлива, поскольку оно самое дешевое. Однако его ценовое преимущество, по сравнению с ВИЭ, в последние годы снижается, а некоторые альтернативные источники уже сегодня с ним конкурируют. Ожидается, что стоимость возобновляемой энергии в ближайшем будущем будет и далее падать. Для того чтобы ВИЭ стали конкурентоспособными, их стоимость должна стать меньше оптовой цены на электроэнергию промышленным потребителям. Для некоторых источников, таких как гидроэнергетика, биомасса, ветер или геотермальная энергетика, это уже практически произошло. Солнечная энергия обходится дороже, но, поскольку солнечные фотоэлектрические устройства могут использоваться отдельными лицами, цена на такую энергию может упасть до уровня дотируемой розничной цены.

Говоря о стоимости возобновляемой генерации, следует учитывать, что ее величину, помимо технологических факторов, определяют также три ключевых обстоятельства: низкая энергетическая рентабельность, необходимость сочетания различных источников энергии и высокая капиталоемкость. Рассмотрим данные позиции подробнее.

Энергетическая рентабельность. Для оценки энергоемкости источников воспользуемся показателем «энергетическая рентабельность»⁴ (EROI). Ископаемое топливо представляет собой очень концентрированные запасы энергии, что определяет его высокую рентабельность. В табл. 1 приведены показатели EROI различных источников⁵. Для одного и того же источника искомым показателем может значительно различаться в зависимости от технологии и условий производства, о чем свидетельствует разница рентабельностей различных вариантов энергии биомассы (последние три строки в таблице). Как можно видеть, ВИЭ, как правило, имеют низкую рентабельность по сравнению с ископаемыми видами топлива, особенно такими, как нефть и уголь. Хотя на землю поступает большое количество солнечного излучения, оно рассеивается по поверхности и его сбор обходится дорого.

Необходимость совмещения источников. Большинство ВИЭ не могут давать энергию столь же регулярно, как традиционные: в некоторые периоды ветер не дует, а солнце не светит, реки пересыхают. Поскольку на рынке электроэнергии предложение должно соответствовать спросу, указанная особенность становится проблемой, так как большинство видов возобновляемой энергии не обеспечивает выполнение данного требования. Настоящая задача решается несколькими способами, один из них – совместное использование разных видов генерации. Например, солнечная энергия в большей степени вырабатывается летом, а энергия ветра – зимой. Их сочетание может обеспечить более стабильное поступление энергии в течение всего года, чем каждого источника в отдельности. Другое решение – хранение электричества, но в этом случае стоимость энергии будет равна не только затратам на производство, но и на хранение. При этом нужно помнить, что стоимость ВИЭ варьируется в зависимости от условий окружающей среды, так, при отсутствии ветра, воды или солнца затраты существенно растут.

⁴ Показатель «энергетическая рентабельность», или EROI (energy return on investment), характеризует отношение пригодной к использованию энергии, полученной из определенного источника, к количеству энергии, затраченной на получение этого энергетического ресурса [5, pp. 102–118].

⁵ В исследовании [6, с. 56–64], где приведен ретроспективный обзор EROI различных источников энергии, также указаны значения показателей, близкие представленным в табл. 1.

Таблица 1

Энергетическая рентабельность (EROI) различных видов топлива

Table 1. Energy return on investment (EROI) for various types of fuel

Источник энергии / Energy source	EROI
Нефть (мировое производство) / Oil (global production)	35
Природный газ / Natural gas	10
Уголь / Coal	80
Сланцевая нефть / Shale oil	5
Ядерная / Nuclear	5–15
Гидроэнергетика / Hydro	>100
Ветер / Wind	18
Фотоэлектрические элементы / Photovoltaic elements	6,8
Этанол (сахарный тростник) / Ethanol (sugarcane)	0,8–10
Этанол (на основе кукурузы) / Ethanol (maize)	0,8–1,6
Биодизель / Bio diesel	1,3

Источник: составлено авторами на основе работы Murphy D. J. Hall, C.A.S. Year in review – EROI or energy return on (energy) invested // Annals of the New York Academy of Sciences. 2010. Vol. 1185. Pp. 102–118 [5].

Source: compiled by the authors based on Murphy D. J. Hall, C.A.S. Year in review – EROI or energy return on (energy) invested // Annals of the New York Academy of Sciences. 2010. Vol. 1185. Pp. 102–118 [5].

Таблица 2

Капитальные затраты на производство электроэнергии из различных источников

Table 2. Capital costs for electric energy production from various sources

Источник, или энергия / Source or energy	Номинальная мощность предприятия (МВт) / Nominal capacity of an enterprise (Mwatt)	Удельные капитальные затраты (\$ / кВт) / Unitcapital investment (\$ / Kwatt)	Коэффициент использования мощности (%) / Capacity coefficient (%)	Удельные капитальные затраты с учетом коэффициента мощности (\$ / кВт) / Unit capital investment accounting for capacity coefficient (\$ / Kwatt)
Природный газ: комбинированный цикл / Natural gas: combined cycle	620	917	90	1 019
Уголь: пылеугольное топливо / Coal: coal-dustfuel	650	3 246	90	3 607
Гидроэлектростанция: обычная / Hydroelectric power station: standard	500	2 936	75	3 915
Ядерная энергия / Nuclear energy	2 344	5 530	90	6 144
Ветер: установка на суше / Wind: on-land facility	100	2 213	25	8 852
Комбинированный цикл биомассы / Combined cycle of biomass	20	8 180	90	9 089
Ветер: морская установка / Wind: marine facility	400	6 230	35	17 800
Солнечная: фотоэлектрическая / Sun: photovoltaic	150	3 873	20	19 365
Солнечная: тепловая электрическая / Sun: heatelectric	100	5 067	20	25 335

Источник: составлено авторами на основе EIA. Updated capital cost estimates for utility scale electricity generating plants. Energy Information Administration, Washington D.C. 2013 [7].

Source: compiled by the authors based on EIA. Updated capital cost estimates for utility scale electricity generating plants. Energy Information Administration, Washington D.C. 2013 [7].

Капиталоемкость. В табл. 2 приведены затраты на производство электроэнергии из различных источников. Как можно видеть, большинство возобновляемых источников требуют больших капиталовложений на переработку по сравнению с ископаемым топливом. Так, при получении электроэнергии из ископаемого топлива, например природного газа, существенная часть суммарных затрат приходится на покупку газа, и эта доля будет распределена во времени. Возобновляемые источники солнечной и ветровой энергии имеют меньшие текущие расходы – после строительства генерирующих мощностей ежегодные затраты на производство энергии невелики, но такое операционное преимущество нивелируется более высокими единовременными первоначальными затратами.

Строительство завода по производству возобновляемой энергии аналогично строительству электростанции на ископаемом топливе плюс покупка почти всего топлива, которое будет использоваться в течение срока службы. Нечасто домовладельцы покупают газовую печь и одновременно весь газ, который будет использоваться в последующем в ее работе. Тем не менее такая ситуация характерна для большинства ВИЭ. Существенные капитальные затраты на строительство генерирующих мощностей означают также, что стоимость полученной электроэнергии будет чувствительна к процентным ставкам на первоначальные вложения. Высокие ставки делают возобновляемые источники менее привлекательными по сравнению с ископаемым топливом, а низкие, наоборот, более доступными.

Потенциал энергосбережения

Энергосбережение обладает существенным потенциалом компенсации возрастающих потребностей в электроэнергии. Для того чтобы продемонстрировать данные возможности и обозначить оптимальные объемы экономии ресурсов, рассмотрим поведение предельных затрат на ВИЭ и на энергосбережение. Отметим также, что для максимизации прибыли предельный доход от деятельности должен быть равен предельным затратам⁶.

Объекты солнечной, ветровой или гидроэнергетики изначально стараются строить в наиболее продуктивных и/или наименее затратных местах.

⁶ Данное традиционное микроэкономическое положение отражено в различных источниках. См., например, [8].

Впоследствии для получения дополнительных объемов приходится осваивать все более дорогие и менее продуктивные участки, таким образом, предельные затраты растут с увеличением объемов. Для получения наибольшего эффекта от использования различных ВИЭ на некоторой территории они должны иметь одинаковые предельные издержки. Так, если предельные затраты на ветер меньше, чем на солнечное электричество, то следует продолжать строить ветровую генерацию, чтобы полностью использовать более дешевый источник, и только потом переходить к более дорогому, что позволит минимизировать общие затраты. Таким образом, лучшее сочетание ВИЭ, согласно эквимаржинальному подходу, соответствует равенству предельных затрат всех источников. Это означает также, что каждый тип энергии будет включать как более дешевые, так и более дорогие источники.

На рис. 3 (а) и 3 (б) проиллюстрирован данный подход для нескольких ВИЭ в некотором регионе. По осям графиков отложены объем потребляемой энергии (Q) и ее цена (P). На рис. 3 (а) показаны графики предельных затрат (MC), используемых в примере возобновляемых источников (гидроэнергии, ветра и солнца). Для MC характерна восходящая траектория, поскольку, как отмечалось, предельные расходы растут с увеличением объемов производства, приходится использовать все менее благоприятные и более затратные условия. Гидроэнергетика обычно является самой дешевой возобновляемой энергией, по крайней мере, при начальных объемах, хотя предельные затраты на нее быстро растут по мере запуска более сложных гидроэлектростанций⁷. Ветроэнергетика несколько дороже, чем гидроэнергия, при начальных объемах, но она обычно более доступна (особенно в прибрежных зонах) и ее объем может быть увеличен при меньших предельных затратах. Солнечная фотоэлектрическая энергия является самым дорогим возобновляемым источником, но она доступна практически в неограниченных количествах, ее предельные затраты при больших объемах меньше иных источников.

На рис. 3 (б) показаны кривая совокупных предельных издержек комбинации из трех отмеченных возобновляемых источников ($MC_{\text{сум}}$), а также спрос

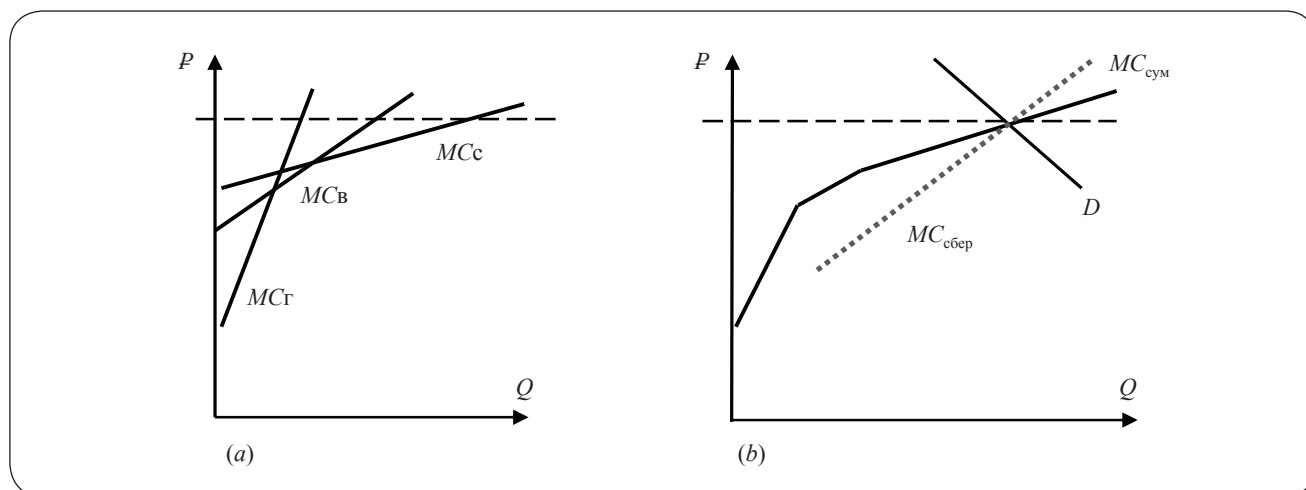
⁷ Конечно, строительство новых объектов потребует времени и результат таких вложений проявится в среднесрочной перспективе, но это принципиально не меняет рассматриваемый подход.

на энергию (D). Пересечение восходящей кривой совокупного предложения и нисходящей кривой спроса показывает, сколько энергии будет производить наш региональный рынок. Пунктирная горизонтальная линия на рисунках показывает, что в соответствии с эквимагжинальным подходом для получения лучшего результата предельные затраты всех используемых ВИЭ должны быть равны. Хотя при небольших объемах гидроэлектроэнергия дешевле, чем солнечная, необходимый объем энергопоставок обеспечивается комбинацией гидроэнергии, энергии ветра, а также солнечной энергии.

Предельные затраты на самый дорогой источник энергии, необходимый для удовлетворения спроса, определяют предельные затраты остальных используемых источников. Обычно солнечная фотоэлек-

трическая система является наименее ограниченным возобновляемым источником энергии, и именно ее стоимость оказывает существенное влияние на всю экономику использования. Отсюда возможность снижения предельных затрат солнечной энергии имеет решающее значение для использования всех возобновляемых источников.

Если эффективность требует равенства предельных затрат всех источников, то это относится и к энергосбережению, которое может обеспечить доступность энергии за счет сокращения ее использования. В таком случае предельные затраты на энергосбережение также должны равняться предельным затратам на возобновляемую энергию, что показано на рис. 3 (b), данный уровень позволяет обозначить рациональный объем таких работ⁸.



$MC_{Г}$ – предельные затраты гидроэнергетики / marginal costs for hydroenergy sector, $MC_{В}$ – предельные затраты ветра / marginal costs for wind, $MC_{с}$ – предельные затраты солнечной энергии / marginal costs for sun energy, $MC_{сбер}$ – предельные затраты энергосбережения / marginal costs for energy saving, $MC_{сум}$ – предельные затраты совокупности ВИЭ / marginal costs for the set of renewable energy sources, D – спрос на энергию / demand for energy, Q – объем потребляемой энергии / amount of energy consumed, P – цена / price

Рис. 3. Зависимость расходов на энергосбережение от предельных затрат на возобновляемую генерацию

Источник: составлено авторами на основе [9].

Fig. 3. Dependence of costs of energy saving on marginal costs for renewable regeneration

Source: compiled by the authors based on [9].

⁸ График поведения предельных затрат на энергосбережение также представлен в осях Q (объем потребляемой энергии) и P (ее цена), поскольку объемы сберегаемой энергии будут расти с ростом потребляемой энергии при сохранении, а тем более увеличении ее доли во всем объеме потребляемой энергии.

В настоящее время предельные затраты на энергосбережение малы по сравнению со стоимостью возобновляемых источников, особенно солнечной энергии, которая в ближайшее время, вероятно, будет определять предельные затраты всей возобновляемой энергетики. В данной связи насущной задачей, решаемой при замене ископаемого топлива на ВИЭ, является развитие энергоэффективности и энергосбережения. Если дешевле снизить потребление энергии, чем платить за нее, то, конечно, стоит сократить использование.

Считается, что в связи с ростом мировой экономики, особенно в развивающихся странах, спрос на энергоносители будет продолжать расти. Компания ВР прогнозирует его увеличение с 2018 до 2040 гг. на 25 % (что показано на рис. 1). Рост спроса будет подталкивать к повышению энергоэффективности, поскольку удорожание ресурсов в период энергетической трансформации делает энергосбережение все более экономически привлекательным, что, в свою очередь, будет ограничивать повышение спроса. Хотя цена не единственный фактор, определяющий использование энергии, она является критическим параметром. Революция в области ВИЭ способна одновременно стать и революцией в области энергосбережения.

Данные о потенциале энергосбережения указывают на то, что оно может быть весьма действенным «альтернативным источником энергии». Так, благодаря повышению энергоэффективности в развитых странах в последние 25 лет наблюдается существенное замедление роста энергопотребления [10]. Например, в Европе, где исторически высокие налоги на бензин, транспортные системы менее энергоемкие, чем в США.

Государство может содействовать энергосбережению путем принятия соответствующих стандартов, позволяющих согласовать покупательские предпочтения с задачей энергосбережения и повышения энергоэффективности, например, вводя высокие требования к энергоэффективности зданий, бытовых приборов, электроники или лампочек. Потребители уже сегодня с помощью соответствующей маркировки информируются об энергоэффективности различных продуктов. Так, товарам, соответствующим высоким стандартам эффективности, за рубежом присваивается знак *Energy Star*, и в США порядка 75 % потребителей, купивших товары с этикеткой *Energy Star*, отмечали, что это было важным фактором при покупке [9].

В России потенциал энергосбережения особенно велик. Так, в 2018 г. энергоемкость ВВП страны превысила мировой уровень на 46 % и оказалась выше уровня США на 44 %, Канады – на 17 %. В соответствии с прогнозом Минэкономразвития снизить энергоемкость ВВП России до сегодняшнего среднемирового уровня удастся не ранее 2035 г. и только при ускоренной модернизации технологической базы. Однако с учетом продолжающегося повышения энергоэффективности в развитых странах отставание энергоемкости ВВП РФ от среднемирового уровня составит в 2035 г. около 28 % [4].

Роль энергетических субсидий и экологических экстерналий

Предыдущее обсуждение предполагало нерегулируемый свободный рынок энергии, но многие формы использования энергии финансируются или субсидируются правительствами, это относится как к традиционным носителям, так и к ВИЭ. Рассмотрим, как влияет практика субсидирования энергоресурсов на экономику использующих их стран.

В соответствии с определением МВФ субсидии производителям возникают, когда «цены, получаемые продавцами, превышают эталонную цену» либо «производители несут убыток при продаже по эталонной цене» [11]. Субсидии потребителям возникают тогда, когда «цена, уплачиваемая потребителями, устанавливается на уровне ниже эталонной цены» [11].

Субсидии на возобновляемую энергетику в Евросоюзе за последние десять лет выросли более чем втрое – с 25 млрд до 76 млрд евро. По прогнозу Международного энергетического агентства, к 2035 г. общемировые субсидии для возобновляемой энергетики вырастут в два раза – до 300 млрд долларов в год. Всего до 2040 г. на субсидирование возобновляемой энергетики в мире будет направлено порядка пяти триллионов евро [1, с. 26–31].

Сегодня энергетические субсидии на ВИЭ принимают различные формы, в первую очередь это:

– прямые платежи или льготные кредиты: правительство может выплачивать компаниям субсидии для производства ВИЭ или предоставлять им кредит на льготных условиях;

– налоговые льготы и вычеты. Правительство может предоставлять пользователям льготы за экономию энергии, например, за приобретение экономичного автомобиля;

– поддержка затрат: тариф, по которой реализуется возобновляемая энергия, может быть выше традиционного уровня цен. Например, высокие ставки приобретения солнечной и ветровой энергии гарантируются правительством;

– квоты обязательных закупок: сюда входят законы, требующие, чтобы бензин содержал определенный процент этанола, или обязательства государства купить определенный процент энергии из возобновляемых источников.

Рассмотрим влияние субсидий на положение участников рынка (рис. 4). Введение субсидий на энергоносители приводит к перемещению кривой предложения от уровня S_1 к уровню S_2 . С учетом существующего спроса (он обозначен кривой D), цена топлива уменьшится с равновесного уровня P_2 до уровня P_3 , оно становится более доступным потребителям. В данной связи спрос будет составлять объем Q_2 , который также выше равновесного уровня Q_1 . В случае отказа от субсидий спрос вернется на равновесный рыночный уровень, что приведет к потерям потребителей из-за подорожания топлива (с P_3 до P_2) и потерям производителей (цена их продаж упадет с P_1 до уровня P_2). Однако расходы государства снизятся еще в большей степени из-за отказа от поддержания избыточного объема (разницы между Q_2 и Q_1), что позволяет сделать вывод об улучшении в итоге его экономического положения.

Таким образом, субсидирование энергоресурсов ухудшает макроэкономическое положение вводящих его стран, увеличивается дефицит государственного бюджета и сокращаются темпы экономического роста. Авторы исследований воздействия энергетических субсидий на экономический рост, представленных в [13], также сходятся во мнении, что это влияние негативно, а возможная отмена субсидий могла бы стимулировать увеличение темпов роста ВВП на величину от 0,1 до 1 %.

Правда, данные тенденции в первую очередь относятся к традиционной генерации как самой распространенной. Так, в Египте, после того как энергетические субсидии составили 20 % государственного бюджета, правительство для предотвращения кризиса платежного баланса было вынуждено их срочно сократить [13]. Субсидирование воздействует и на конкурентоспособность компаний. Например, поддержка ВИЭ в Китае привела к банкротству немецкого производителя солнечных элементов, не выдержавшего новых ценовых условий [14].

Считается, что негативное воздействие энергетических субсидий на энергоэффективность и распределение ресурсов связано с тем, что они изымаются из областей, где предельная производительность вложений в рыночных условиях была бы выше. В результате искажаются цены на топливо и, как следствие, на иные товары, корректируются решения субъектов экономической деятельности.

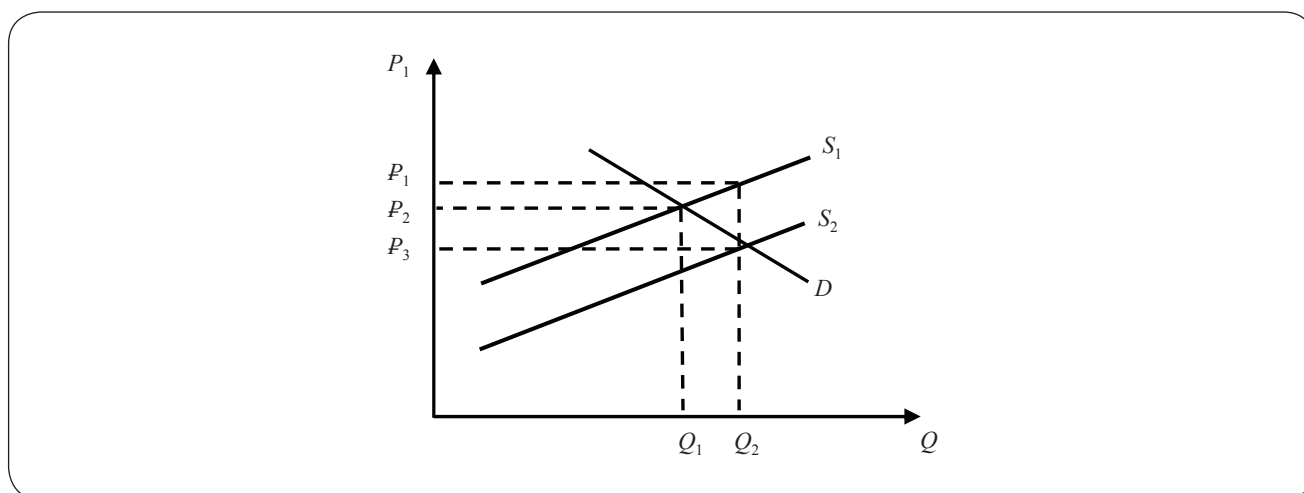


Рис. 4. Сокращение госрасходов при отказе от энергетических субсидий

Источник: составлено авторами на основе [12, с.19].

Fig. 4. Reduction of state expenditures under refusal from energy subsidies

Source: compiled by the authors based on [12, p. 19].

Помимо субсидий, следует учесть наличие экологических экстерналий. Цена энергии должна отражать полные затраты, в том числе на компенсацию вредных эффектов. Принято считать (см., например, [9]), что существенной проблемой, мешающей переходу на ВИЭ, является некорректный учет внешних факторов, а «правильное» установление цен послужит четким сигналом потребителям о дороговизне в зависимости от ископаемого топлива.

На рис. 5 представлена информация о диапазоне внешних затрат, связанных с различными источниками электроэнергии в Европе⁹. Как можно увидеть, особенно велики внешние затраты на уголь: от 2 до 15 евроцентов за кВт·час¹⁰. Внешние эффекты,

связанные с природным газом, существенно ниже, они находятся в диапазоне от 1 до 4 евроцентов за кВт·час. Внешние затраты, связанные с ВИЭ, еще ниже – менее одного евроцента за кВт·час. Таким образом, хотя ископаемое топливо может иметь ценовое преимущество по сравнению с ВИЭ, при учете внешних факторов большинство ВИЭ стали бы более доступными, в частности, энергия ветра на суше, геотермальная или энергия биомассы. Внешние эффекты ядерной энергии относительно невелики, поскольку она почти не загрязняет воздух и не выбрасывает парниковые газы. Но с ней связаны существенные потенциальные проблемы в виде хранения ядерных отходов и рисков аварий. Эти воздействия трудно

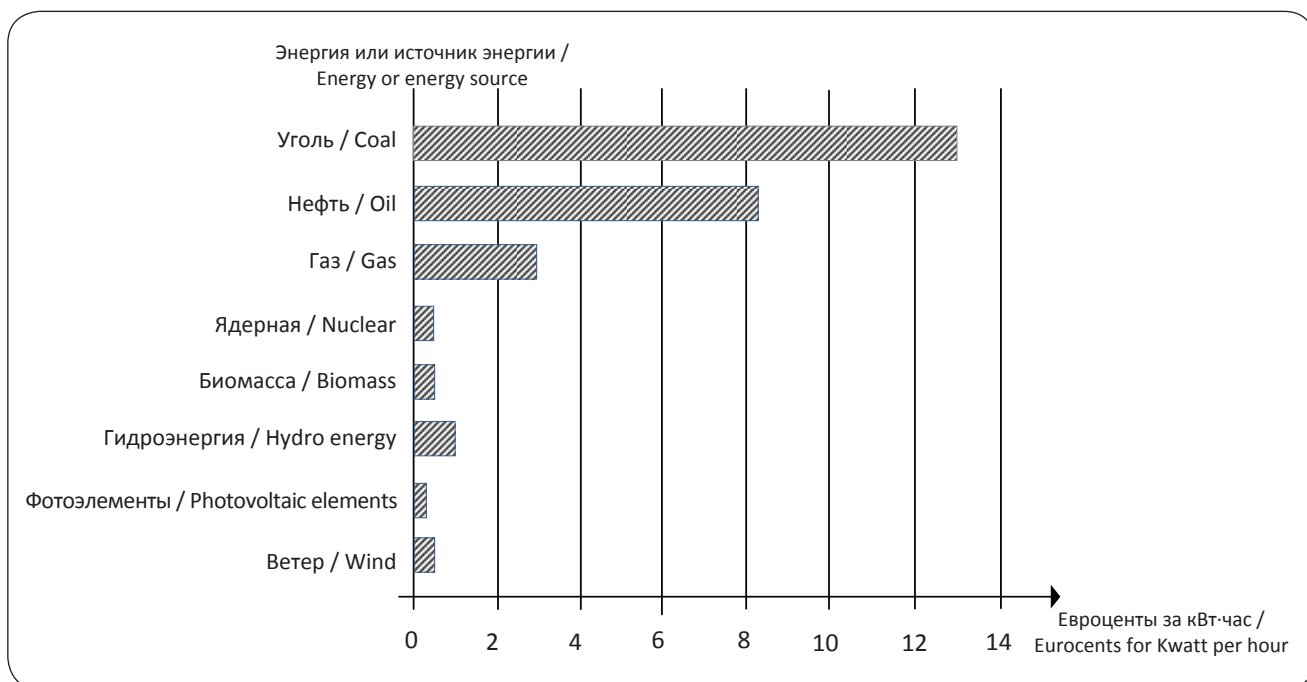


Рис. 5. Внешние затраты различных источников электроэнергии в Евросоюзе

Источник: составлено авторами на основе работы Owen A. D. Renewable energy: externality costs as market barriers // Energy Policy. 2006. № 34. Pp. 632–642 [16].

Fig. 5. External costs for various sources of electric energy in the European Union

Source: compiled by the authors based on Owen A. D. Renewable energy: externality costs as market barriers // Energy Policy. 2006. № 34. Pp. 632–642 [16].

⁹ Данные, приведенные на рис. 5, описывают положение, сложившееся к середине нулевых годов. Авторам не удалось найти оценки на более поздние даты, вероятно, из-за сложности их расчета.

¹⁰ В США внешние затраты на уголь оцениваются примерно в 6 центов за кВт·час [15, с. 1170–1190].

оценить в денежном выражении, в результате оценка, показанная на рис. 6, может недооценивать истинные негативные последствия, связанные с ядерной энергетикой.

Ускорение темпов энергетического перехода

Чем дольше на рынке будут доминировать традиционные источники энергии, тем больший урон природе будет нанесен. В данной связи рассмотрим, как повлияют на скорость декарбонизации экономики следующие отмеченные ранее ключевые тенденции:

- динамика цен на ископаемое топливо;
- снижение цен на возобновляемую энергию;
- учет факторов, отражающих косвенные (экологические) затраты на ископаемое топливо.

Для ответа на поставленный вопрос проанализируем с помощью рис. 6 поведение каждого из отмеченных факторов в прогнозном периоде. Нам также понадобятся следующие обобщенные параметры: средняя цена единицы возобновляемого топлива $C_{\text{возобн.}}$ и ископаемого топлива $C_{\text{ископаем.}}$

Динамика цен на ископаемое топливо. Рассмотрим два возможных сценария изменения цен на ископаемое топливо: 1-й сценарий – рост цен, 2-й – их стагнация.

В качестве базового возьмем сценарий «рост цен». Данного взгляда придерживаются ведущие мировые эксперты, прогнозирующие повышение цен на ископаемое топливо к 2040 г.¹¹ Считается, что в дальнейшем в связи с повышением энергопотребления данная тенденция, скорее всего, сохранится и такие источники в итоге станут дороже ВИЭ. На рис. 6 динамика цен ископаемого топлива для 1-го сценария отображена с помощью восходящего графика $C_{\text{ископаем.}}$.¹ Но с учетом существенных запасов такого топлива, а также продолжающегося совер-

шения технологии его добычи и переработки рост цен на традиционное топливо не будет носить ярко выраженный характер¹².

Снижение цен на возобновляемую энергию. В ближайшей перспективе благодаря развитию технологий ожидается дальнейшее сокращение затрат на возобновляемую энергию. Так, в 2017 г. глобальным сообществом REN21 опрашивались эксперты на предмет оценки развития ВИЭ. Им, в частности, задавался вопрос, ожидают ли они роста или снижения стоимости оборудования для ВИЭ. Примерно 3/4 его участников отметили, что затраты на возобновляемые источники энергии будут продолжать падать [19]. Удешевление производства ВИЭ является, по оценке экспертов, важнейшим элементом ускорения энергоперехода [10].

На рис. 6 данный ценовой тренд ВИЭ демонстрирует снижающаяся кривая $C_{\text{возобн.}}$. В момент времени T_1 графики ископаемого топлива и ВИЭ пересекутся и затраты сравняются. Позднее T_1 возобновляемая энергия будет уже дешевле, чем ископаемое топливо, и рыночные силы будут способствовать переходу к ВИЭ практически без внешней помощи. Так произошло, например, в Исландии, где использование геотермальной горячей воды для отопления зданий дешевле, чем применение угля или нефти (хотя для создания системы централизованного теплоснабжения потребовалась государственная помощь).

Следует учитывать, что с расширением использования ВИЭ все сильнее будут проявляться ее фундаментальные (природные) ограничения, что будет замедлять снижение затрат. Гидроэнергетика и биомасса могут поставлять энергию по ценам, близким к ископаемому топливу, но их объем весьма ограничен. Солнечные фотоэлектрические источники и прибрежные ветры могут стать единственными ВИЭ, способными вытеснить ископаемое топливо. По прогнозам РОСНАНО, в России достижения стоимостной конкурентоспособности ВИЭ с традиционной генерацией с учетом существующих трендов можно ожидать в начале 2030-х гг. [20].

¹¹ Эксперты по-разному оценивают перспективы изменения цены ископаемого топлива, но в целом они сходятся на том, что она будет увеличиваться. Например, Всемирный банк ожидает к 2030 г. увеличения цены нефти на 4 %, а газа на 10–16 %, правда, они планируют снижение цены на уголь [17]. Эксперты Института энергетических исследований РАН прогнозируют восходящую динамику цен на нефть и газ в коридоре от 0 до 20 % к 2040 г. [10]. Международное энергетическое агентство во всех сценариях развития прогнозирует рост цен на нефть и газ к 2040 г. на 5–15 % (в зависимости от выбранного сценария) [18].

¹² В качестве иллюстрации можно отметить, что новые технологии удешевляют добычу нефти из сланцевых пластов, разработаны такие заменители нефти, как нефть из битуминозных песков, а запасы природного газа увеличиваются при использовании технологии гидроразрыва пласта.

Учет последствий использования ископаемого топлива. Существенная проблема, связанная с использованием традиционных источников, – это попутное получение углекислого газа, вызывающего изменение климата. Данные соображения – серьезный аргумент для включения компенсационных затрат в цену топлива. Интернализация внешних затрат на ископаемое топливо для 1-го сценария отражена на рис. 6 с помощью кривой $SC_{\text{ископаем. 1}}$.

Средством учета экологических затрат является соответствующее налогообложение ископаемого топлива по типу так называемых налогов Пигу¹³. Примером таких налогов является налог на бензин. Он предназначен для отражения затрат общества на использование бензина, хотя часто воспринимается как способ пополнения бюджета. Стоимость сырой нефти определяется мировыми ценами, но розничная цена бензина в отдельных странах из-за различной величины налогов сильно отличается. Так, в Европе

доля налогов в цене моторного топлива превышает 50 % и в 2018 г. с их помощью бюджет ЕС пополнился примерно на 300 млрд евро, или на 5 %.

В случае увеличения цены топлива до полноценного учета всех экстерналий возможно ускорение темпов энергоперехода с T_1 до T_2 . Иллюстрацией данного процесса является расположение $SC_{\text{ископаем.}}$ выше $C_{\text{ископаем.}}$.

Рассмотрим теперь, что произойдет с исследуемыми тенденциями в случае реализации менее ожидаемого 2-го сценария «стагнация цен на ископаемое топливо». Возможным основанием его осуществления являются длительный экономический застой, связанный с эпидемиологической ситуацией или иными кризисными явлениями, ценовые войны, давление избыточных запасов сырья, технологические достижения, способные затормозить повышение цен. На рис. 6 данная ситуация отображена с помощью горизонтального графика $C_{\text{ископаем. 2}}$.

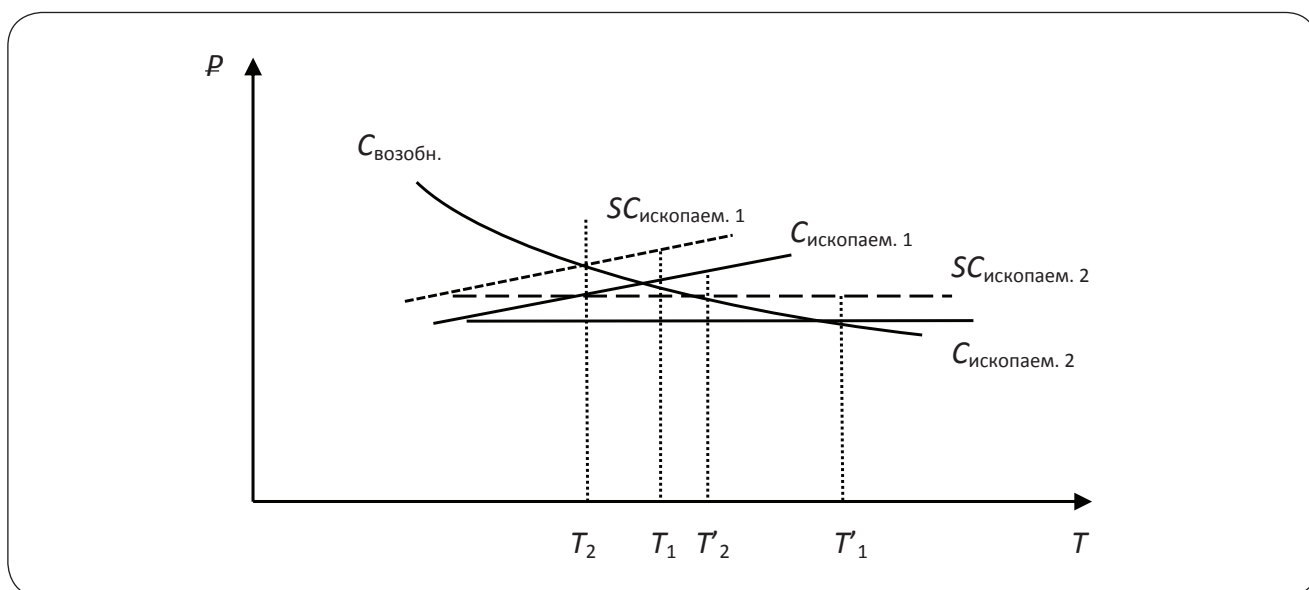


Рис. 6. Влияние интернализации затрат на ископаемое топливо на скорость энергетического перехода

Источник: составлено авторами на основе [9].

Fig. 6. Influence of internalization of expenditures for fossil fuel on the speed of energy transition

Source: compiled by the authors based on [9].

¹³ Теоретическое обоснование введения налогов, взимаемых с производителей отрицательных внешних эффектов, предложил английский экономист Артур Пигу, поэтому данная категория налогов стала называться налогами Пигу.

В таком варианте пересечение цены ископаемого топлива и цены ВИЭ происходит в момент T_1 , т. е. срок наступления ценового паритета отодвигается. При учете в цене традиционного топлива компенсационных затрат время энергоперехода в данном сценарии сокращается до момента T_2 . Таким образом, реализация 2-го сценария отодвигает сроки наступления ценового паритета, и чем ниже будут цены, тем позднее он наступит. Еще одним следствием данного сценария является тот факт, что при низких ценах на ископаемое топливо меры, направленные на повышение энергоэффективности, становятся менее экономически оправданными.

Как можно видеть учет в цене традиционного топлива внешних затрат способен не только ускорить переход к ВИЭ, но также стать стимулом энергосбережения и совершенствования профильных технологий.

Помимо перечисленных путей ускорения перехода к возобновляемым источникам энергии, следует отметить еще два направления:

1) использование внутренних тарифов и субсидии на энергию, включая льготные налоговые условия и условия кредитования;

2) разработку новых технологических решений.

Как и льготные тарифы, субсидии должны постепенно сокращаться в том числе и на ВИЭ, поскольку они становятся все более конкурентоспособными. Недостатком субсидий, помимо отмеченного выше, является также то, что они не способствуют экономии энергии. Средства используются напрасно, если проблема не в увеличении возобновляемой энергии, а в уменьшении использования ископаемого топлива и выбросов углекислого газа. Но ввести субсидии часто проще, чем устанавливать новые налоги.

Еще одним ключевым способом изменения энергетической парадигмы в анализируемый период путем ускорения перехода на возобновляемую энергетику и сокращения экологического ущерба должен стать запуск передовых энергоэффективных технологий. Здесь следует отметить перспективы рационализации (сокращения) энергопотребления, открывающиеся в связи с развитием интернета вещей (*IoT*), привлечением искусственного интеллекта (*AI*) и иной цифровизацией¹⁴. Помощь здесь способны оказать

¹⁴ Правда, существуют мнения, что цифровизация сама способна создавать энергетические проблемы, например, согласно прогнозам Climate Home News, центры обработки данных

решения, позволяющие удешевить механизмы накопления и хранения энергии. Существенные возможности появляются также в связи с переводом в практическую сферу решений по использованию таких альтернативных источников, как термоядерная энергетика и производство водородного топлива¹⁵.

Выводы

В настоящее время происходит энергетическая трансформация, переход от традиционных источников к возобновляемым, что ставит задачу бесперебойного обеспечения необходимых объемов генерации при одновременном уменьшении стоимости энергии и экологического ущерба от ее использования. При этом замещение источников не должно привести к замедлению экономического роста и к потере накопленного капитала.

В то же время сегодня большинство ВИЭ менее доступны и/или более дорогие, чем ископаемое топливо, их высокие затраты определяются в том числе относительно небольшими значениями энергетической рентабельности, невозможностью постоянного использования и высокой капиталоемкостью. Новые технологии приведут к снижению затрат на ВИЭ, но в ближайшем будущем все же не сделают их цену конкурентной по сравнению с ископаемым топливом (если не учитывать все внешние факторы), прогнозы показывают сохранение ведущей роли традиционных источников как минимум до 2040 г. В данной связи преждевременно говорить об активном отказе от традиционной генерации.

Проведенный анализ, рассмотрение динамики затрат на производство энергии продемонстрировали, что в рассматриваемых условиях первоочередное внимание при определении мер повышения энергоэффективности следует обратить на следующие тенденции:

– активизацию энергосбережения как одного из «альтернативных источников энергии» (чему со-

к 2025 г. будут производить до 3,2 % общемирового выброса углерода и потреблять до 20 % энергии [21].

¹⁵ Готовность международного сообщества к решению данных задач демонстрирует, в частности, запуск в 2017 г. общеевропейской инициативы Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCHJU), а также создание Мирового совета по водороду (Hydrogen Council), объединивших на начало 2020 г. 22 и 20 стран соответственно.

действует удорожание энергоносителей), что будет способствовать сокращению использования топлива и увеличению энергоотдачи;

– сокращение субсидий на традиционное топливо и постепенное их снижение на ВИЭ, что ускорит процесс энергосбережения, так как удорожание энергии подтолкнет потребителей к уменьшению расхода энергии. Такие действия позволят также уменьшить госрасходы, рационализировать распределение средств и способно привести пусть к небольшому, но увеличению ВВП;

– дифференцированное налогообложение традиционных источников энергии с целью более корректного учета в их цене последствий отрицательного влияния на природу.

Продemonстрировано, что стоимость энергосбережения оптимизируется при объемах, когда предельные затраты на него равны предельным затратам на энергию. А верхняя граница различных видов возобновляемых энергозатрат определяется сегодня стоимостью солнечной энергии как самого доступ-

ного источника, поэтому ее затраты будут определять и всю экономику энергосбережения.

Также показано, что ускорению темпов энергетического перехода будут содействовать удешевление возобновляемой генерации, тенденции к увеличению цены традиционного топлива и более полный учет экологических экстерналий в его цене, избирательно фиксирующих отрицательное влияние каждого из источников, поскольку их эффекты существенно различаются. В свою очередь, уменьшение стоимости традиционного топлива будет провоцировать замедление декарбонизации экономики и снижение интереса к энергосбережению.

Подводя итоги, отметим, что энергия является фундаментальным ресурсом экономических систем и для его поддержания нужен разумный баланс между традиционными и возобновляемыми энергоресурсами, учитывающий отмеченные экономические, экологические и организационные аспекты, в первую очередь удешевление солнечной энергии и возможности энергосбережения.

Список литературы

1. Сечин И. И. Цена нестабильности // Эксперт. 2019. № 45–46 (1141). С. 26–31.
2. BP Statistical Review of World Energy 2019: an unsustainable path. BP. 2019. URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/news-and-insights/press-releases/bp-statistical-review-of-world-energy-2019.html> (дата обращения: 20.11.2019).
3. Кудияров С. Сильный ход в глобальной газовой партии // Эксперт. 2019. № 50 (1145). С. 12–18.
4. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в РФ. Минэкономразвития, 2019. URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/d81b29821e3d3f5a8929c84d808de81d/energyefficiency2019.pdf> (дата обращения: 20.01.2020).
5. Murphy D. J., Hall C.A.S. Year in review – EROI or energy return on (energy) invested // Annals of the New York Academy of Sciences. 2010. Vol. 1185. Pp. 102–118. DOI:10.1111/j.1749-6632.2009.05282.x
6. Котов Д. В., Ефимова О. Ю. Ретроспективный обзор и прогноз технико-экономических характеристик источников альтернативной энергии // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. 2015. № 1. С. 56–64. DOI: 10.5510/OGP20150100234
7. EIA. Updated capital cost estimates for utility scale electricity generating plants. Energy Information Administration, Washington D.C. 2013. URL: <http://www.eia.gov/forecasts/capitalcost>
8. Пиндайк Р. С., Рубинфельд Д. Л. Микроэкономика. СПб.: Питер, 2002. 608 с.
9. Timmons D., Harris J., Roach B. The Economics of Renewable Energy / Global Development And Environment Institute, Tufts University. 2014. URL: <https://studylib.net/doc/18563910/the-economics-of-renewable-energy> (дата обращения: 20.01.2020).
10. Прогноз развития энергетики мира и России 2019. Институт энергетических исследований РАН, Центр энергетики Сколково, 2019. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Forecast_2019-02_Rus.pdf (дата обращения: 20.01.2020).
11. IMF. Reforming Energy Subsidies, Summary Note. URL: <https://www.imf.org/external/np/fad/subsidies/pdf/note.pdf> (дата обращения: 20.01.2020).
12. IMF. Energy Subsidy Reform: Lessons and Implications / International Monetary Fund. 2013, January. P. 19. URL: https://www.eisourcebook.org/cms/March_2013/Energy%20Subsidy%20Reform,%20Lessons%20&%20Implications.pdf (дата обращения: 20.11.2019).

13. Энергетические субсидии в современном мире. Страны «Группы двадцати» / под ред. Л. М. Григорьева, А. А. Курдина. М.: Асмин Принт, 2014. 400 с. URL: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/4811.pdf> (дата обращения: 20.01.2020).
14. Buchan D. The Energiewende – Germany’s gamble / Oxford Institute for Energy Studies. 2012, June.
15. Jacobson M. Z., Delucchi M. A. Providing all global energy with wind, water, and solar power, part II: reliability, system and transmission costs, and policies // *Energy Policy*. 2011. № 39. Pp. 1170–1190.
16. Owen A. D. Renewable energy: externality costs as market barriers // *Energy Policy*. 2006. № 34. Pp. 632–642.
17. World Bank Commodities Price Forecast, 2019. URL: <http://pubdocs.worldbank.org/en/598821555973008624/CMO-April-2019-Forecasts.pdf> (дата обращения: 20.01.2020).
18. IEA. World Energy Outlook 2019 / IEA. Flagship report. 2019, November. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019> (дата обращения: 20.01.2020).
19. REN21 / Renewables Global Futures Report: Great Debates towards 100% Renewable Energy. 2017. URL: <https://www.ren21.net/?s=Renewables+Global+Futures+Report%3A+Great+Debates+towards+100%25+Renewable+Energy> (дата обращения: 20.01.2020).
20. РОСНАНО. Программа поддержки ВИЭ на период 2025–2035 гг. URL: <http://рспп.рф/document/1/2/5/2502ae1262d70e4e020677e29ad60c23.pdf> (дата обращения: 20.11.2019).
21. Vidal J. ‘Tsunami of data’ could consume one fifth of global electricity by 2025 // *Climate Home News*. 2017. URL: <https://www.climatechangenews.com/2017/12/11/tsunami-data-consume-one-fifth-global-electricity-2025/> (дата обращения: 20.01.2020).

References

1. Sechin I. I. Price of instability, *Ekspert*, 2019, No. 45–46 (1141), pp. 26–31 (in Russ.).
2. *BP Statistical Review of World Energy 2019: an unsustainable path*. BP, 2019, available at: <https://www.bp.com/en/global/corporate/news-and-insights/press-releases/bp-statistical-review-of-world-energy-2019.html> (access date: 20.11.2019).
3. Kudiyarov S. Powerful move in global gas party, *Ekspert*, 2019, No. 50 (1145), pp. 12–18 (in Russ.).
4. *State report on the condition of energy saving and increasing energy efficiency in the Russian Federation*. Ministry of Economic Development, 2019, available at: <https://www.economy.gov.ru/material/file/d81b29821e3d3f5a8929c84d808de81d/energyefficiency2019.pdf> (access date: 20.01.2020) (in Russ.).
5. Murphy D. J., Hall C.A.S. Year in review – EROI or energy return on (energy) invested, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2010, Vol. 1185, pp. 102–118. DOI: 10.1111/j.1749-6632.2009.05282.x
6. Kotov D. V., Efimova O. Yu. Retrospective review and prognosis of technical and economic characteristics of the sources of alternative energy, *Nauchnye trudy NIPINeftegaz GNKAR*, 2015, No. 1, pp. 56–64 (in Russ.). DOI: 10.5510/OGP20150100234
7. EIA. *Updated capital cost estimates for utility scale electricity generating plants*. Energy Information Administration, Washington D.C., 2013, available at: <http://www.eia.gov/forecasts/capitalcost>
8. Pindaik R. S., Rubinfel'd D. L. *Microeconomics*, Saint Petersburg, Piter, 2002, 608 p. (in Russ.).
9. Timmons D., Harris J., Roach B. *The Economics of Renewable Energy*, Global Development And Environment Institute, Tufts University, 2014, available at: <https://studylib.net/doc/18563910/the-economics-of-renewable-energy> (access date: 20.01.2020).
10. *Prognosis of development of energy sector in Russia and the world 2019*, Institute for Energy Studies of the Russian Academy of Sciences, Skolkovo Energy Centre, 2019, available at: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Forecast_2019-02_Rus.pdf (access date: 20.01.2020) (in Russ.).
11. *IMF Reforming Energy Subsidies, Summary Note*, available at: <https://www.imf.org/external/np/fad/subsidies/pdf/note.pdf> (access date: 20.01.2020).
12. IMF. Energy Subsidy Reform: Lessons and Implications, *International Monetary Fund*, 2013, January, p. 19, available at: https://www.eisourcebook.org/cms/March_2013/Energy%20Subsidy%20Reform,%20Lessons%20&%20Implications.pdf (access date: 20.11.2019).
13. *Energy subsidies in the modern world. “The group of twenty” countries*, ed. L. M. Grigor'ev, A. A. Kurdin, Moscow, Asmin Print, 2014, 400 p., available at: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/4811.pdf> (access date: 20.01.2020) (in Russ.).
14. Buchan D. The Energiewende – Germany’s gamble, *Oxford Institute for Energy Studies*, 2012, June.
15. Jacobson M. Z., Delucchi M. A. Providing all global energy with wind, water, and solar power, part II: reliability, system and transmission costs, and policies, *Energy Policy*, 2011, No. 39, pp. 1170–1190.
16. Owen A. D. Renewable energy: externality costs as market barriers, *Energy Policy*, 2006, No. 34, pp. 632–642.

17. *World Bank Commodities Price Forecast*, 2019, available at: <http://pubdocs.worldbank.org/en/598821555973008624/CMO-April-2019-Forecasts.pdf> (access date: 20.01.2020).
18. IEA. *World Energy Outlook 2019, IEA. Flagship report*, 2019, November, available at: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019> (access date: 20.01.2020).
19. REN21, *Renewables Global Futures Report: Great Debates towards 100% Renewable Energy*, 2017, available at: <https://www.ren21.net/?s=Renewables+Global+Futures+Report%3A+Great+Debates+towards+100%25+Renewable+Energy> (access date: 20.01.2020).
20. *ROSNAO. Program of supporting renewable energy sources for 2025–2035*, available at: <http://rspp.rf/document/1/2/5/2502ae1262d70e4e020677e29ad60c23.pdf> (access date: 20.11.2019) (in Russ.).
21. Vidal J. ‘Tsunami of data’ could consume one fifth of global electricity by 2025, *Climate Home News*, 2017, available at: <https://www.climatechangenews.com/2017/12/11/tsunami-data-consume-one-fifth-global-electricity-2025/> (access date: 20.01.2020).

Дата поступления / Received 02.03.2020

Дата принятия в печать / Accepted 20.05.2020

Дата онлайн-размещения / Available online 25.06.2020

© Жданов Д. А., Молдабаев К. Т., 2020

© Zhdanov D. A., Moldabaev K. T., 2020

ПОЗНАНИЕ

Менеджмент 4.0 цифровой экономики Германии: опыт и инструменты для цифровой экономики России / Г. Шева, С. Хюзиг, Г. И. Гумерова, Э. Ш. Шаймиева. – Казань : Изд-во «Познание» Казанского инновационного университета, 2020. – 75 с.

В настоящей монографии содержатся результаты научно-исследовательской работы авторов за 2013–2019 гг., где инициатива «Индустрия 4.0» представлена на основе обзора трудов немецких ученых как ноу-хау немецкой экономической школы и как концептуально-программная разработка. Методологией исследования является авторская структура реализации «Индустрии 4.0» посредством инструментов «Менеджмент 4.0» в трех блоках: «Индустрия 4.0» – ноу-хау немецкой экономической школы для развития цифровой экономики; реализация «Индустрии 4.0» в организациях цифровой экономики; развитие компетенций в аналоговых и оцифрованных производственных процессах. Авторская структура «Менеджмент 4.0» учитывает пробелы в стартовом этапе российской цифровой экономики. На основе опыта и инструментов «Менеджмента 4.0» сформировано понятие «менеджмент цифровой экономики»: определен инструментарий и разработаны направления развития российской цифровой экономики.

Предназначена для обучающихся по программам бакалавриата и магистратуры по направлениям «Менеджмент», «Экономика», «Инноватика», руководителей, планирующих успешно управлять предприятием в условиях цифровой экономики; специалистов в области цифровой экономики, лиц, повышающих квалификацию или проходящих переподготовку по данным направлениям, а также исследователей, интересующихся вопросами развития теории и практики менеджмента цифровой экономики.