

DOI: 10.26794/1999-849X-2021-14-4-48-55
УДК 620.92(075.8):327(045)
JEL F63, O13, Q32

Адаптация российской энергетики к декарбонизации мировой экономики

А.Г. Глебова^а, Ю.О. Данеева^б

^а Финансовый университет, Москва, Россия; ^б Центр энергетики МШУ «Сколково»,
Московская область, Сколково, Россия

^а <http://orcid.org/0000-0002-9449-6013>; ^б <http://orcid.org/0000-0001-6575-4207>

АННОТАЦИЯ

Актуальность темы статьи обусловлена тем, что проблема высокой углеродоемкости экономики является одной из самых важных для многих развитых и развивающихся стран. Переход к низкоуглеродному потреблению особенно сложен для сырьевых экономик, хотя новая модель хозяйствования, характеризующаяся низким соотношением объемов выбросов CO₂ и количеством потребляемой энергии в кризисное время может предоставлять государству возможность осуществления качественного рывка в развитии экономики и посредством декарбонизации сделать ее более устойчивой в будущем. Решение данной проблемы особенно важно для России в свете принятия новых энергетических политик в большинстве стран мира. *Предмет исследования* – российская энергетика в условиях декарбонизации мировой экономики. *Цель работы* – выбор варианта сценария декарбонизации энергетической системы России для дальнейшей выработки стратегии развития отрасли и дорожной карты энергетического перехода, т.е. постепенного отказа от углеводородов в пользу «чистой» энергетики. Результаты исследования позволяют *сделать выводы* о том, что одно из главных отличий России от стран, проводящих политику декарбонизации, является то, что она находится под санкционным давлением на национальную экономику со стороны западных государств. В данных условиях трансформация энергетики требует значительных финансовых и политических ресурсов. Более рациональный путь решения данной проблемы видится в адаптации национального хозяйства к процессу декарбонизации, происходящему в мировой экономике, с последующим самостоятельным проведением декарбонизации промышленности и сельского хозяйства. Это тем более важно в связи с тем, что национальные экономики стран сильно взаимосвязаны, и изменения в энергетических системах других государств невозможно игнорировать ни с точки зрения экономики, ни политики. Необходимость в кооперации между государствами увеличивается тем больше, чем сильнее ухудшается климат на Земле. Переход к чистой энергетике уже не является только долгосрочным вектором развития, а становится единственным направлением развития для одних стран и насущной проблемой, угрожающей национальной безопасности, для других государств. **Ключевые слова:** мировая экономика; энергетика; энергетический сектор; экология; декарбонизация; низкоуглеродное развитие

Для цитирования: Глебова А.Г., Данеева Ю.О. Адаптация российской энергетики к декарбонизации мировой экономики. *Экономика. Налоги. Право.* 2021;14(4):48-55. DOI: 10.26794/1999-849X-2021-14-4-48-55

Adaptation of the Russian Energy Sector to the Decarbonization of the World Economy

A.G. Glebova^а, Yu.O. Daneeva^б

^а Financial University, Moscow, Russia; ^б Energy Center of Moscow School of Management “Skolkovo”,
Moscow Region, Russia

^а <http://orcid.org/0000-0002-9449-6013>; ^б <http://orcid.org/0000-0001-6575-4207>

ABSTRACT

The relevance of the topic is due to the fact that the problem of high carbon intensity of the economy is central for many developed and developing countries of the world. The transition to low-carbon consumption is particularly difficult for raw material economies, although the new economic model, characterized by a low ratio of CO₂ emissions and the amount of

energy consumed during the crisis, can provide the state with an opportunity to make a qualitative leap in the development of the economy and make it more sustainable in the future through decarbonization. The solution of this problem is especially important for Russia in the light of the adoption of new energy policies in most countries of the world. *The subject of the study* is the Russian energy sector in the conditions of decarbonization of the world economy. *The purpose of the work* is to develop a variant of the decarbonization scenario of the Russian energy system for further elaboration of the industry development strategy and the energy transition roadmap. The results of the study allow us *to conclude* that one of the main differences between Russia and countries pursuing a policy of decarbonization is that it is under sanctions pressure on the national economy from Western countries. In these conditions, the transformation of energy requires significant financial and political resources. A more rational way to solve this problem is seen in the adaptation of the national economy to the decarbonization process taking place in the world economy, followed by the independent decarbonization of industry and agriculture. This is all even more important because the national economies of different countries are strongly interconnected, and changes in the energy systems of other countries cannot be ignored either from the point of view of economics or politics. The need for adaptation to global changes and cooperation between countries increases the more the climate on Earth worsens. The transition to clean energy is no longer just a long-term vector of development, but is becoming the only direction of development for some countries and an urgent problem that threatens national security for other countries.

Keywords: world economy; energy sector; ecology; decarbonization; low-carbon development

For citation: Glebova A.G., Daneeva Yu.O. Adaptation of the Russian energy sector to the decarbonization of the world economy. *Ekonomika. Nalogi. Pravo = Economics, taxes & law*. 2021;14(4):48-55. (In Russ.). DOI: 10.26794/1999-849X-2021-14-4-48-55

ДЕКАРБОНИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ В УСЛОВИЯХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ МИРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Мировая энергетика подвергается в настоящее время многим испытаниям под влиянием ценовых войн за нефть, распространения коронавирусной инфекции и происходящих в мире процессов в общественной жизни в условиях энергетического перехода, характеризующегося масштабным расширением использования «зеленых» источников энергии и трансформацией мировых энергетических рынков, на которых ужесточается конкуренция между сторонниками традиционных и нетрадиционных источников энергии. Общее развитие человечества за последние десятилетия привело к неблагоприятным изменениям климата и стихийным бедствиям. Своими действиями люди оказывают негативное воздействие на окружающую среду, ставя под угрозу выживание человечества. Ответственное ведение бизнеса, которое обеспечивает долгосрочную эксплуатацию ресурсов, рассматривается в настоящее время как первостепенная задача в рамках выполнения концепции устойчивого развития, получившей развитие в 1970-х и особенно в 1980-х гг.

В 1987 г. Всемирная Комиссия ООН во главе с Гру Харлемом Брундтландом (*Gro Harlem Brundtland*), бывшим премьер-министром Норвегии, опубликовала доклад «Наше общее будущее», в котором была изложена концепция устойчивого развития, определяющая, как сделать, чтобы развитие, удовлетворяющее пот-

ребности настоящего времени, не ставило под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности.

Поскольку достижение устойчивого развития невозможно без измерения продвижения на его пути, были установлены 17 взаимосвязанных целей устойчивого развития (далее — ЦУР), направленных на решение глобальных проблем человечества, включая искоренение бедности, исключение неравенства, изменение климата и т.д. В частности, была поставлена ЦУР № 7 — обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех жителей Земли.

Измеримые индикаторы устойчивого развития позволяют составлять глобальный индекс¹ ЦУР (*SDG Index*) по каждому государству и устанавливать рейтинг стран² по устойчивому развитию. В связи с тем, что корпорации переходят к устойчивому развитию под давлением внешних заинтересованных сторон — инвесторов, правительств и граждан, они вынуждены ориентироваться в своей деятельности на числовые или порядковые показатели, которые берутся за основу организациями, занимающиеся оценкой качества

¹ Lafortune G., Fuller G., Moreno J., Schmidt-Traub G., Kroll Ch. *SDG Index and Dashboards Detailed Methodological paper*. September 2018. URL: <https://github.com/sdsna/2018GlobalIndex/raw/master/2018GlobalIndexMethodology.pdf>.

² *Transformations to achieve the SDGs. Sustainable Development Report 2019*. URL: <https://sdsna.github.io/2019GlobalIndex/2019GlobalIndexRankings.pdf>.

долговых обязательств эмитентов, при составлении соответствующих рейтингов.

Поскольку основным путем достижения поставленных климатических целей является снижение выбросов парниковых газов в виде газообразной составляющей атмосферы Земли естественного или антропогенного происхождения, поглощающей или отражающей инфракрасное электромагнитное излучение, а энергетика как область хозяйственно-экономической деятельности человека выделяет в процессе своей деятельности наибольшую долю парниковых газов, в мировом сообществе сложилось мнение, согласно которому трансформация хозяйственной деятельности человека в сторону применения чистой энергии, т.е. энергии, поступающей от возобновляемых источников с нулевым уровнем выбросов, является единственным путем решения экологических проблем для большинства стран мира. В силу глубокой взаимосвязанности национальных экономик данный тренд в развитии энергетики невозможно игнорировать ни с точки зрения экономики, ни политики, поскольку энергетическая изоляция не представляется реалистичным сценарием развития экономики. Основываясь на принципах кооперации, страны могут идти по пути прогресса в едином направлении к чистой энергии с учетом особенностей своих экономик и потребностей.

Научно доказанной причиной глобального потепления является усиление парникового эффекта из-за роста концентрации CO_2 в атмосфере вследствие деятельности человека (прежде всего в результате использования ископаемых видов топлива). В 5-м оценочном докладе Межправительственной группы специалистов ООН по изменению климата, состоящей из 1300 независимых научных экспертов, сделан вывод о том, что имеется высокая вероятность повышения температуры атмосферы нашей планеты в результате деятельности человека за последние 50 лет⁵. Общий нанесенный ущерб от природных катаклизмов с 1980-х гг. превысил 5 трлн долл. США⁴.

³ IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 p. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf.

⁴ Глобальная климатическая угроза и экономика России: в поисках особого пути. Центр энергетики Московской школы управления, Сколково, 2020. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Climate_Primer_RU.pdf.

Учитывая тот факт, что источниками около трех четвертей выбросов парниковых газов являются производство и использование энергии для обеспечения жизнедеятельности людей, проблемы низкоуглеродного развития могут быть решены только путем трансформации используемой энергии для смягчения последствий изменения климата посредством широкого применения возобновляемых источников энергии в сочетании с обеспечением энергоэффективности объектов промышленности и сельского хозяйства. В науке получил широкое применение термин «декарбонизация» [1–15].

На настоящий момент имеются три трактовка данного понятия:

- снижение углеродной интенсивности в энергопотреблении (т.е. в удельном понимании);
- сокращение выбросов CO_2 как конечное состояние или показатель;
- процесс снижения CO_2 или выбросов парниковых газов в виде трансформации экономики с фокусом на энергетическую систему.

На основании данных трактовок можно предложить следующую формулировку понятия «энергетический переход» — регулярный исторический процесс, который происходит, когда экономика переходит на новый, более эффективный в физическом смысле и экономически выгодный вид энергии.

По нашему мнению, декарбонизацию можно отнести к следующему виду энергетического перехода, поскольку она предполагает, что новым преобладающим видом энергии становятся возобновляемые источники энергии благодаря своему удешевлению и поддержке со стороны государства.

В ЕС, являющемся одним из основных потребителей российского экспорта минеральных ресурсов, предполагается введение углеродного налога в рамках закона о климате, который будет принят в 2021 г. Для России это означает значительное сокращение поставок российских сырьевых товаров в Европу. Чтобы оставаться конкурентоспособными на безуглеродном глобальном рынке будущего, России необходимо самостоятельно принимать необходимые меры по декарбонизации.

Конкуренция между производителями топлива будет только усиливаться по мере сокращения спроса и использования чистых технологий. Неустойчивость российского энергетического сектора была продемонстрирована во время пандемии коронавируса, когда спрос на невозобновляемое топливо резко сократился и цены на энергоносители обрушились, что повлекло падение курса рубля.

МОДЕЛЬ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

По нашему мнению, декарбонизация энергетической отрасли России требует адаптации национального энергетического сектора к процессам декарбонизации, происходящим в мировой экономике, на основе модели развития под условным названием фреймворк (*framework*), означающей в переводе на русский язык рамки или структуру, т.е. систему действий, представленную в виде модели в виде фигурального черного ящика с входящими и исходящими параметрами и проходящими внутри него адаптационными действиями и связями между ними, которая показывает, как должен проходить процесс адаптации к декарбонизации мировой экономики (см. рисунок). Для этого должны быть приняты меры, направленные на:

1) *повышение энергоэффективности экономики.* Этому способствуют:

- генерация такого же объема энергии с помощью меньшего количества топлива. В частности, угольные электростанции могут производить тот же объем энергии при условии обновления старых паровых турбин или их замены на новые высокоэффективные турбины;

- преобразование угольных электростанций в газовые электростанции комбинированного цикла с высокоэффективными газовыми турбинами, которые тоже можно обновить или заменить на более эффективные;

- использование цифровых технологий для оптимизации работы и увеличения энергоэффективности;

2) *развитие возобновляемых источников и технологий по хранению и передаче энергии*, а именно:

- увеличение гибкости работы электростанций и уменьшение потребления топлива с помощью технологий гибких решений;

- применение технологий по хранению энергии — батареи позволяют создавать возможности автономного пуска электростанции и балансировать разность нагрузки, возникающей из-за колеблющейся генерации из возобновляемых источников;

- использование газовых когенерационных электростанций, осуществляющих комбинированную выработку (генерацию) двух типов энергии — электричества и тепла;

- применение промышленных тепловых насосов, которые могут помочь с подключением возобновляемых источников в промышленном масштабе;

3) *повышение эффективности электросетей*, так как передача энергии играет большую роль в процессе декарбонизации. Для этого необходимо предпринять ряд мер, предусматривающих:

- повышение стабильности электросетей посредством, в частности, установки синхронных конденсаторов для уравнивания колебаний мощностей;

- улучшение гибкости сети: возобновляемые источники энергии, тепловые насосы и батареи могут способствовать развитию углеродно-нейтральных децентрализованных гибридных технологий. Однако использование традиционных источников будет все еще необходимо, если заряд батарей будет низким или если погодные условия влияют на генерацию (ветер, солнце);

4) *развитие электролизов*, превращающих избыточную энергию от возобновляемой энергии в водород, который можно хранить в больших объемах и использовать в газовых турбинах в качестве дополнительного источника энергии наряду с газом для уменьшения выбросов CO₂. В настоящее время уже существуют маленькие газовые турбины, которые работают только на «зеленом» водороде (т.е. произведенном с помощью возобновляемых источников энергии);

5) *развитие технологий водородной энергетики.* Газовые турбины, работающие на «зеленом» водороде, позволяют создавать безуглеродное децентрализованное оборудование на возобновляемых источниках. Это может делаться с помощью сочетания электролизов и систем для хранения энергии и электрификации на возобновляемых источниках (*RE-electrification*) в маленьких водородных теплоэлектростанциях;

б) *становление системы хранения энергии*, являющейся неотъемлемой частью новой энергетической системы: аккумулирование тепла должно осуществляться посредством использования тепловых насосов и впоследствии «зеленого водорода», а не батарей.

Данные действия приведут к декарбонизации энергетической системы, где газ играет ключевую роль в переходе на возобновляемые источники энергии. Повышение энергоэффективности зависит не только от используемых технологий, но и от объема потребляемой энергии.

Цифровые технологии могут помочь в решении проблем негибкости энергетической системы и ее сильной централизации. Как любой монополизированный рынок, российский рынок электроэнергетики подвержен коррупционному риску. Учитывая последствия энергетической реформы 1998–2008 гг., когда рынок стал еще более централизованным,

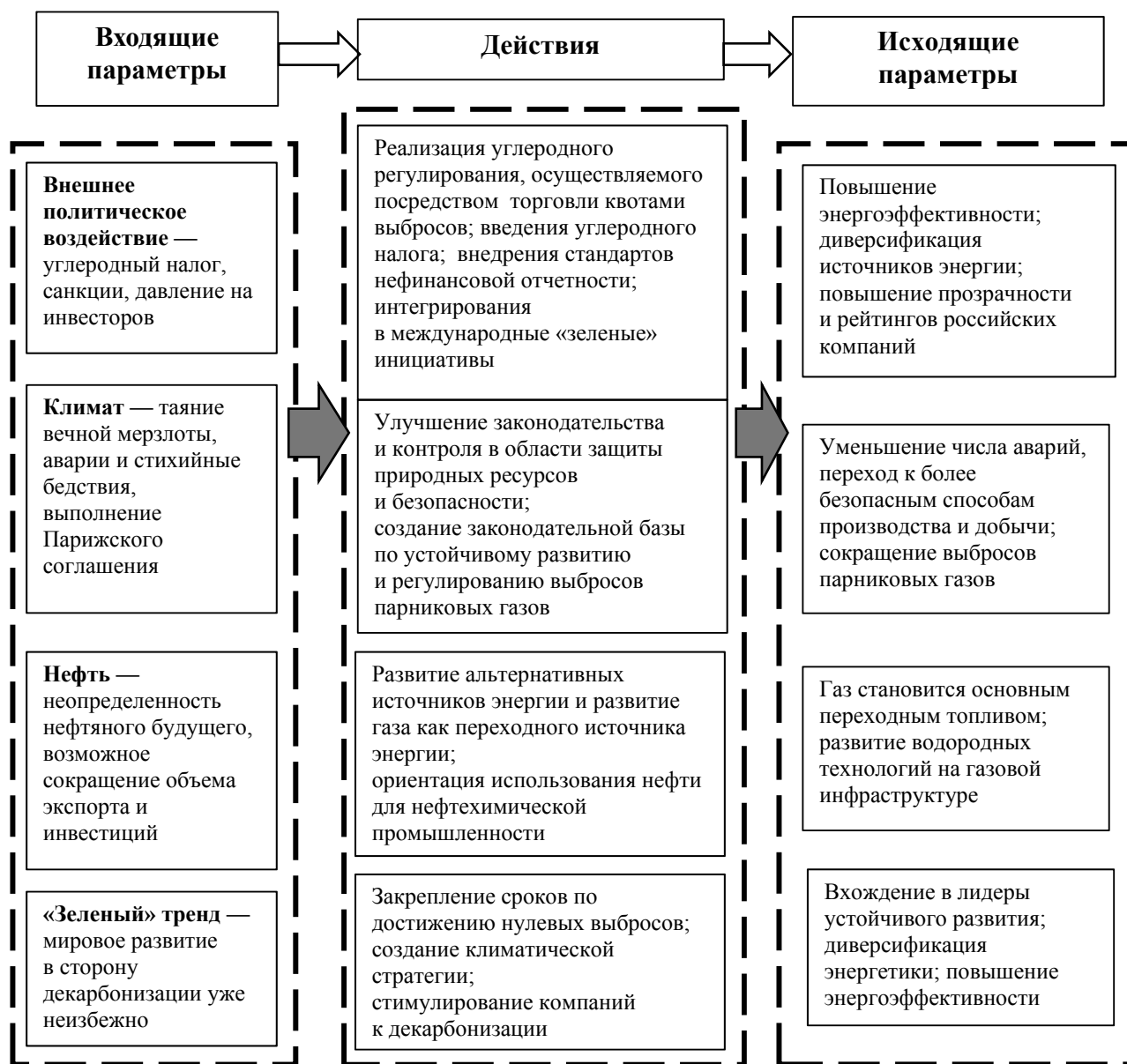


Рис. / Fig. Модель (фреймворк) адаптации российского энергетического сектора к декарбонизации мировой экономики / Model (framework) for adapting the Russian energy sector to the decarbonization of the world economy

Источник / Source: составлено авторами / compiled by the authors.

возникают, с одной стороны, опасения по поводу проведения энергетического перехода посредством еще одной реформы. С другой стороны, начатая ПАО «Россети» масштабная кампания по цифровизации отрасли является примером того, как крупная компания может взять курс на конкретные изменения стратегии своего развития, если ее инициативы поддержаны на государственном уровне. Соответственно, для проведения декарбонизации необходимы проявление политической воли со стороны

властей и поддержка государством устойчивого развития в целом.

С возвращением США в Парижское соглашение в 2021 г. тема декарбонизации получила новое развитие. От использования невозобновляемых источников энергии уже отказываются не только развитые, но и развивающиеся страны, которые намереваются сделать энергетический скачок и развиваться по чистому сценарию. Если Россия не будет использовать возможности газовой, а затем водородной системы, она

отстанет от многих развивающихся стран, получающих финансовую и экспертную поддержку от развитых стран. Кроме того, в силу практически монопольного рынка электроэнергетики зарубежные компании не смогут в России продвигать идеи декарбонизации.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТРУКТУРНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Цели климатических обязательств стран по сокращению выбросов парниковых газов для России соответствуют базовому сценарию развития в обычном понимании (*business-as-usual*), в котором целевой показатель по снижению выбросов парниковых газов к 2030 г. должен быть ниже на 25–30%-ного уровня 1990 г. и будет достигнут без дополнительных политических усилий. В более амбициозных сценариях сокращение выбросов к 2030 г. может быть ниже 38%-ного уровня 1990 г. Однако в настоящее время выбросы парниковых газов России уже находятся на уровне 52% от выбросов в 1990 г. С этой точки зрения Указ Президента Российской Федерации от 04.11.2020 № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов» об обеспечении к 2030 г. уменьшения выбросов парниковых газов до 70% относительно уровня 1990 г. можно расценивать как разрешение на увеличение этих выбросов, что противоречит самой цели данного Указа.

Таким образом, в настоящее время ситуация с пониманием идеи устойчивого развития и проблемы снижения выбросов парниковых газов на государственном уровне достаточно сложная.

Для успешного создания национальной законодательной базы декарбонизации можно обратиться к международному опыту и рассмотреть возможность наднационального регулирования процесса декарбонизации энергетики. В рамках наднационального регулирования могут быть использованы различные регулирующие инструменты, включая ценообразование на выбросы углерода или установление международных правил и/или стандартов по выбросам. Они могут быть нацелены на производственные процессы (например, ограничения выбросов CO₂ на тонну продукции) или на потребление (ограничение выбросов парниковых газов, включенных в конечный продукт).

Ландшафт глобального управления климатом в рамках энергетического регулирования относительно невелик. Институционального комплекса по декарбонизации энергетики в глобальном виде не существует — управление им сосредоточено среди

международных институтов. Парижское соглашение по климату, принятое 12 декабря 2015 г. по итогам 21-й конференции Рамочной конвенции ООН об изменении климата, потребовало от государств декарбонизации энергетического сектора, установив температурный показатель удержания роста глобальной средней температуры хотя бы на уровне 2–1,5 °С по сравнению с доиндустриальной эпохой и цель поэтапного прекращения чистых выбросов парниковых газов во второй половине XXI в. четко указывает на необходимость полной декарбонизации.

В совместном заявлении о намерениях подписантов Парижского соглашения сократить выбросы парниковых газов на 20–25% ниже обычного уровня к 2030 г. не установлены конкретные обязательства сторон. Потенциал международных организаций по определению соответствующих правил, которые подтолкнули бы энергетический сектор к декарбонизации и решению связанных с этим процессом проблем конкурентоспособности, практически не используется. Даже страны G20 не приблизились к установлению эффективных международных лимитов выбросов и/или ценообразования на выбросы углерода.

На наш взгляд, возможны три основные модели глобального климатического управления энергетикой, которые позволят обеспечить выполнение функций руководства и установление международных правил в этой сфере:

1) создание *единого центрального учреждения*, которое могло бы координировать решение проблемы декарбонизации энергетики в целом. Поскольку производство и потребление энергии относительно сконцентрированы, потребуется участие ограниченного числа стран и компаний с существующими глобальными отраслевыми ассоциациями в качестве потенциально полезных сторон в решении проблем декарбонизации;

2) *инициативы и международные «клубы» государств*, задействованные в конкретных подсекторах энергетики, могут способствовать масштабированию конкретных видов энергии и решать возникающие проблемы, связанные с политической неопределенностью, разделением рисков по внедрению новых технологий. Часть этих функций уже предусмотрена Инициативой по путям декарбонизации государств Евросоюза (*Decarbonization Pathways Initiative*), Инициативой по переходу на чистую энергию углеродоемких регионов (*DeCarb Europe initiative*), Инициативой по «озеленению» электросетей АСЕАН (*Greening ASEAN Power Grid Initiative*), Транснациональным клубом по де-

карбонизации сталелитейной индустрии (*Transnational Decarbonization Club for the Steel Industry*);

3) комплексная (смешанная) модель, в рамках которой наднациональное центральное учреждение могло бы координировать работу в целом, сосредотачивая свои усилия на решении общих для всех подсекторов энергетики проблем, тогда как международные «клубы» государств могли бы учитывать особенности того или иного подсектора, работая каждый в своей сфере. Выдвигаемые ими инициативы могли бы осуществляться под эгидой центрального учреждения по декарбонизации энергетики [например, по такой модели работает Европейское энергетическое агентство (*European Energy Agency*), объединяющее 25 европейских энергетических агентств с целью кооперации государств и других участников энергетического сектора Европы].

ВЫВОДЫ

Пандемия, вызванная *COVID-19*, потрясла социальную и экономическую жизнь всех стран. Введение карантина на больших территориях по всему миру вызвало крупнейший шок энергетической системы — произошло падение спроса на энергию, а также обвал цен на нефть в марте 2020 г., который показал ненадежность механизма ценообразования на данный вид топлива и повысил интерес инвесторов к альтернативным источникам энергии. Европейские банки стали подвергаться все большему давлению со стороны надзорных органов и акционеров, которые обеспокоены тем, что кредитные организации финансируют отрасли, которые могут

устареть. Многие банки признают риск, связанный с такими активами, и постепенно отказываются от использования ископаемого топлива (*BNP Paribas SA, Crédit Agricole SA*).

Для успешной декарбонизации необходимо не только внедрение новых технологий по выработке энергии из возобновляемых источников энергии, поскольку возникает проблема не только рентабельности и быстрой окупаемости, но и осуществления действий со стороны регулятора, который мог бы стимулировать распространение данных технологий, а также принятие других мер, способствующих декарбонизации. Учитывая комплекс различий в политических целях и технологиях, регулятору сложно охватить масштаб предстоящей трансформации отрасли. Поэтому в данном исследовании предлагаются план действий и модель по пониманию, как должна происходить декарбонизация энергетического сектора в России. Декарбонизация предполагает отказ от углерода, а не от нефти и газа, поскольку, *во-первых*, это невозможно на данном временном этапе, а также в некоторых отраслях производства, *во-вторых*, существуют различные механизмы «озеленения» деятельности, использующей невозобновляемые источники энергии. Это могут быть офсеттинг (от англ. *carbon offset* — уменьшение эмиссий) как наиболее простой вариант, а также технологии улавливания и захоронения углерода и др.

Таким образом, энергетический сектор, будучи локомотивом экономики, требует пристального внимания регулятора для начала структурной трансформации экономики — декарбонизации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Порфирьев Б.Н., Рогинко С.А. Проблемы и перспективы развития альтернативной энергетики на современном этапе модернизации мировой и российской экономики. В книге: Альтернативная энергетика как фактор модернизации российской экономики: тенденции и перспективы. Сборник научных трудов. М.; 2016:10–37.
Porfiriev B.N., Roginko S.A. Problems and prospects of alternative energy development at the present stage of modernization of the world and Russian economy. In: Alternative energy as a factor of modernization of the Russian economy: trends and prospects. Collection of scientific papers. Moscow; 2016:10–37. (In Russ.).
2. Фортов В.Е., Макаров А.А., Митрова Т.А. Глобальная энергетическая безопасность: проблемы и пути решения. *Вестник Российской академии наук*. 2007;77(2):99–107.
Fortov V.E., Makarov A.A., Mitrova T.A. Global Energy Security: Problems and solutions. *Vestnik Rossijskoj akademii nauk = Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2007;77(2):99–107. (In Russ.).
3. Митрова Т., Хохлов А., Мельников Ю. Глобальная климатическая угроза и экономика России: в поисках особого пути. Центр энергетики Московской школы управления. Сколково; 2020:69.
Mitrova T., Khokhlov A., Melnikov Yu. The global climate threat and the russian economy: in search of a special path. Energy Center of the Moscow School of Management. SKOLKOVO; 2020:69. (In Russ.).
4. Muradov N. Liberating energy from carbon: introduction to decarbonization. New York, United States: Springer-Verlag New York Inc. 2014.

5. Glebova A. G., Daneev O. V., & Daneeva Yu. O. Developing economic interpretation of decarbonization. In S. G. Maximova, R. I. Raikin, A. A. Chibilev, & M. M. Silantyeva, eds. *Advances in Natural, Human-Made, and Coupled Human-Natural Systems Research* (Vol. 3). Cham, Switzerland: Springer. 2021.
6. Daneeva Yu., Glebova A., Daneev O., Zvonova E. Digital transformation of oil and gas companies: energy transition. *Advances in Economics, Business and Management Research*. Vol. 148. In Proceedings of the Russian Conference on Digital Economy and Knowledge Management (RuDECK 2020). Atlantis Press SARL. 2020;148:199–205.
7. Finkbeiner M., Bach V. Life cycle assessment of decarbonization options — towards scientifically robust carbon neutrality. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2021;26:635–639. DOI: 10.1007/s11367–021–01902–4
8. Biber E., Kelsey N., & Meckling J. The political economy of decarbonization: a research agenda. *Brooklyn Law Review*. 2017;82(2):605–643.
9. Fay M., Hallegatte S., Vogt-Schilb A., Rozenberg J., Narloch U., & Kerr. T. Decarbonizing development: three steps to a zero-carbon future. *Climate Change and Development*. 2015.
10. Grübler A., & Nakicenovic N. Decarbonizing the global energy system. *Technological Forecasting and Social Change*. 1996;53(1):97–100
11. Williams J. H., Haley B., Kahrl F., Moore J., Jones A. D., Torn M. S., McJeon H. Pathways to deep decarbonization in the United States. The U.S. report of the deep decarbonization pathways project of the sustainable development solutions network and the institute for sustainable development and international relations. San Francisco: Energy and Environmental Economics, Inc. 2014.
12. Drozd W., Kinelski G., Czarnecka M., Wójcik-Jurkiewicz M., Maroušková A., Zych G. Determinants of decarbonization — how to realize sustainable and low carbon cities? *Energies*. 2021;14:2640. DOI: 10.3390/en14092640
13. Gupta A., Davis M., Kumar A. An integrated assessment framework for the decarbonization of the electricity generation sector. *Applied Energy*. 2021;288:116634. DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.116634
14. Karlsson L., Rootzén J., Toktarova A., Odenberger, M. Johnsson, F. Göransson L. Roadmap for decarbonization of the building and construction industry — a supply chain analysis including primary production of steel and cement. *Energies*. 2020;13:4136. DOI: 10.3390/en13164136
15. Mercader-Moyano P., Esquivias P. M. Decarbonization and circular economy in the sustainable development and renovation of buildings and neighbourhoods. *Sustainability*. 2020;12:7914. DOI: 10.3390/su12197914

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Анна Геннадьевна Глебова — доктор экономических наук, доцент, профессор Департамента мировых финансов, Финансовый университет, Москва, Россия
AGGlebova@fa.ru

Юмжана Олеговна Данеева — руководитель проектов по климату Центра энергетики Московской школы управления Сколково, Московская область, Одинцовский район, Сколково, Россия
umgana@mail.ru

ABOUT THE AUTHORS

Anna G. Glebova — Dr. Sci. (Econ.), Assoc. Prof., Prof. of the Department of World Finance, Financial University, Moscow, Russia
AGGlebova@fa.ru

Yumzhana O. Daneeva — Climate Project Manager of the Energy Center of the Moscow School of Management Skolkovo, Moscow Region, Odintsovo District, Skolkovo, Russia
umgana@mail.ru

Статья поступила 01.06.2021; принята к публикации 04.08.2021.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The article was received 01.06.2021; accepted for publication 04.08.2021.

The authors read and approved the final version of the manuscript.