

Вызовы и ответы экономики Республики Татарстан на процессы декарбонизации

В.А. Крюков^{1*}, Д.В. Миляев^{1,2}, А.Д. Савельева^{1,2}, Д.И. Душенин^{1,2}

¹Институт экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Россия

²АО «СНИИГТМС», Новосибирск, Россия

Процессы глобального энергоперехода во все большей степени становятся одними из основных движущих сил как трансформации существующей модели рынка, так и технологических основ функционирования энергетических объектов. Переориентация мировой экономики в направлении декарбонизации ставит под угрозу устойчивость функционирования многих ранее казавшихся незыблемыми технологических решений и подходов в области системной интеграции топливно-энергетического комплекса, что, в свою очередь, стимулирует поиск новой парадигмы его развития.

Проявления трансформации наблюдаются на различных уровнях экономической иерархии: межстрановом, страновом и внутривосточном. Выработка механизмов реагирования российских производителей на реалии энергетического перехода требует обкатки на реальных объектах. По мнению авторов, Татарстан может стать показательным полигоном для развития подходов к достижению углеродной нейтральности.

Для превентивного прогноза достижимости ESG-показателей (социально-экологических индикаторов бизнеса) авторами предлагается концептуальный подход к оценке развития технологий декарбонизации, основанный на комбинации экономико-математических методов, который позволяет выработать организационно-правовую основу процесса, сформировать и оценить критерии эффективности инноваций и условия их реализации.

Ключевые слова: декарбонизация, энергетический переход, оценка инноваций, экология, пороговый анализ, байесовские сети, кривые обучения

Для цитирования: Крюков В.А., Миляев Д.В., Савельева А.Д., Душенин Д.И. (2021). Вызовы и ответы экономики Республики Татарстан на процессы декарбонизации. *Георесурсы*, 23(3), с. 17–23. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.3>

Введение

В китайском языке слово кризис состоит из двух символов: один означает опасность, а другой – шанс. Находясь на пороге экологического кризиса важно осознавать условия и цели, которые возникают перед нами в новых реалиях. Создание региональных полигонов, научно-промышленных и научно-технологических объединений, формирование новой эколого-экономической политики – ключевые элементы стратегии трансформации в направлении углеродной нейтральности.

Глобальная декарбонизация, как ответ на глобальное потепление и распространение природных катаклизмов, постепенно охватывает мир на всех уровнях и секторах экономики и политики: смещение интересов мирового финансового рынка, политические инициативы («Зеленый пакт ЕС»), трансформация транснациональных компаний, глобальная научно-технологическая переориентация, изменение структуры бизнеса. Хотя сейчас осознание вызовов и возможностей декарбонизации развивается неравномерно, в мире происходит смещение экономической модели с краткосрочный приоритетов к созданию долгосрочной глобальной ценности, ключевым двигателем которой в рассматриваемом контексте становится наступление «зеленой» технологической революции.

Изменение существующей модели рынка: тренд декарбонизации

Анализ шагов и мер в области энергоперехода при всей общей их направленности на снижение выбросов парниковых газов и факторов, вызывающих их образование, весьма существенно различается в зависимости от уровня рассмотрения данной проблемы: межстранового, странового, внутривосточного и отраслевого. В последнем случае, речь идет об отдельных проектах и мероприятиях, связанных как со снижением выбросов углерода, так и повышением энергоэффективности на различных этапах производства и потребления энергии.

На межстрановом уровне ключевую роль занимают действия регуляторов. Если раньше они заключались в субсидировании, то сейчас – в ужесточении экологических требований путем создания нормативно-правовой базы в отношении производителей – эмитентов CO₂. Особенно широко обсуждаемы инициативы ЕС в направлении комплексного регулирования, а именно введение трансграничного углеродного налога – меры пограничного углеродного регулирования, обязывающей экспортеров товаров в ЕС платить сбор за выбросы углекислого газа, связанные с производством их продукции. Для России это более 40% экспорта, который по итогам 2020 года составил 571,5 млрд долл. В соответствии с установленными в ЕС тарифами на эмиссию CO₂ в размере 30\$ за тонну и экспертными оценками углеродного следа российского экспорта в ЕС в размере более 1 млрд т CO₂,

* Ответственный автор: Валерий Анатольевич Крюков
e-mail: valkryukov@mail.ru

© 2021 Коллектив авторов

потенциальный ущерб отечественной экономике представляется существенным (Сафонов, 2020).

Помимо перечисленного все более активную позицию в процессе энергоперехода занимает финансовый сектор. Развивается направление климатического финансирования, основу которого составляют инструменты и меры, направленные на поддержание «зеленых» проектов: целевое кредитование, зеленые облигации, налоговые льготы, национальные банки развития, политика раскрытия информации и национальные климатические фонды (Сафонов, 2020). В то же время для отраслей и отдельных предприятий с низким ESG-рейтингом*, особенно в отношении экологического аспекта, происходит ужесточение кредитно-инвестиционной политики вплоть до намерений существенных дивестиций. Растет объем средств под управлением компаний с ESG-стратегиями. Это ощутимо влияет на долгосрочные тенденции спроса, регуляторную среду и доступность финансирования для нефтегазовых компаний всего мира, не исключая и российских. Национальный нефтегазовый бизнес вертикально интегрированных нефтяных компаний существенно зависит от международного финансирования, которое составляет более 50% в заемном капитале ведущих предприятий (рис. 1), что ставит для них новые условия по раскрытию информации инвесторам и приоритетности климатической стратегии (Гайда и др., 2021).

Крупнейшая финансовая корпорация BlackRock в своих обращениях к генеральным директорам и инвесторам подчеркивает важность климатической повестки и предупреждает о намерениях выходить из ценных бумаг компаний, которые не раскрывают информацию или не делают шагов к углеродной нейтральности (Ананькина, 2021). Также по данным Reuters, существует угроза прекращения финансирования Всемирным банком проектов, связанных с нефтью и углем, а в долгосрочной перспективе – сокращения и газовых активов, в рамках стратегии по борьбе с изменениями климата (Порядин, Белоглазова, 2021). Пенсионный фонд штата Нью-Йорк уже в конце 2020 года заявил о приостановке инвестирования в активы компаний, не отвечающих его экологическим стандартам. Пока что требования коснулись только угольной отрасли и разработки нефтеносных песков, но далее будут распространены и на компании нефтегазового сектора, входящие в портфель фонда. В том числе при несоответствии экологическим стандартам на продажу могут быть выставлены акции крупных российских компаний: ПАО «НК «Роснефть» – 0,008% от общего числа акций компании, ПАО «Татнефть» – 0,008%, ПАО «Новатэк» и ПАО «Сургутнефтегаз» – 0,003%. Несмотря на несущественный биржевой эффект от этого разового инцидента, удар по репутации и ESG-рейтингу компаний может быть серьезным (Климатическая повестка России..., 2021).

Смещение интересов инвесторов находит отражение и в рыночной стоимости активов. Углеродный след постепенно становится одной из ключевых характеристик любого бизнеса – капитализация компаний, имеющих экологические обязательства и программы устойчивого

развития, значительно выше по сравнению с конкурентами. Например, стоимость американской NextEra Energy, которая производит и продает энергию из возобновляемых источников, с начала 2020 года выросла почти на 30%, в то время как капитализация ExxonMobil за этот период продемонстрировала динамику вниз на 20% (Порядин, Белоглазова, 2021).

В таких условиях вектор развития нефтегазового сектора напрямую зависит от его способности к трансформации в направлении, обусловленном необходимостью ускоренной декарбонизации.

На страновом уровне основной круг проблем связан с соблюдением баланса между отражением общих подходов и инициатив международного сообщества в национальном законодательстве и сохранением ключевых направлений стратегии экономического развития. Позиция отечественных экспертов насчет стратегии России в процессе энергетического перехода кажется неоднозначной (Глобальный энергопереход..., 2021). Многие из них выступают оппонентами «зеленой» повестки, ссылаясь на то, что это политический шаг в направлении снижения энергозависимости ЕС, и что ключевое значение для страны играет лишь собственная Энергетическая стратегия, поддерживающая ее интересы и условия. Имеет место и позиция непротиводействия: энергопереход – это актуальное направление мировой энергетической трансформации и технологического развития. Принципиально существуют две альтернативы: влиться в процесс со всеми его ограничениями, либо остаться за гранью мировой трансформации.

По мнению авторов, наиболее конструктивна мысль о формировании своего вектора развития с учетом новых условий, которые диктует энергетическая повестка. На самых верхних уровнях (межстрановом и страновом) – сохранение баланса между национальными интересами и целями глобальной климатической инициативы, координация с другими странами, для которых инициатива международного сообщества является источником вынужденных изменений, проактивный диалог с Евросоюзом. На внутривнутристрановом уровне, по мнению экспертов программы по экологической ответственности бизнеса WWF России, рационально использовать региональную специфику для ускорения процессов энергоперехода. Иными словами, выделить регионы-полигоны, приоритетные для тех или иных источников энергии и отработать все процессы (финансовые, технологические и прочие) (Глобальный энергопереход..., 2021).

Данный подход отличает постепенность осуществления основных шагов и мероприятий при переходе к низкоуглеродной экономике, а также «экспериментальный» характер апробирования моделей в различных отраслях и регионах.

Структура экономики России, благодаря развитым промышленным секторам и сильным межотраслевым связям, позволяет комплексно подойти к решаемой задаче: изменяя один фрагмент структуры, трансформировать всю систему в целом. Важным аспектом в данном вопросе, как уже упоминалось ранее, является учет пространственных (региональных) особенностей производства и потребления энергоресурсов. Так, например, важно принимать во внимание (в случае углеводородов) стадию освоения

* ESG-рейтинг отражает степень направленности бизнес-решений компании на развитие в экологической и социальной сферах. ESG – Environmental, Social and Governance.

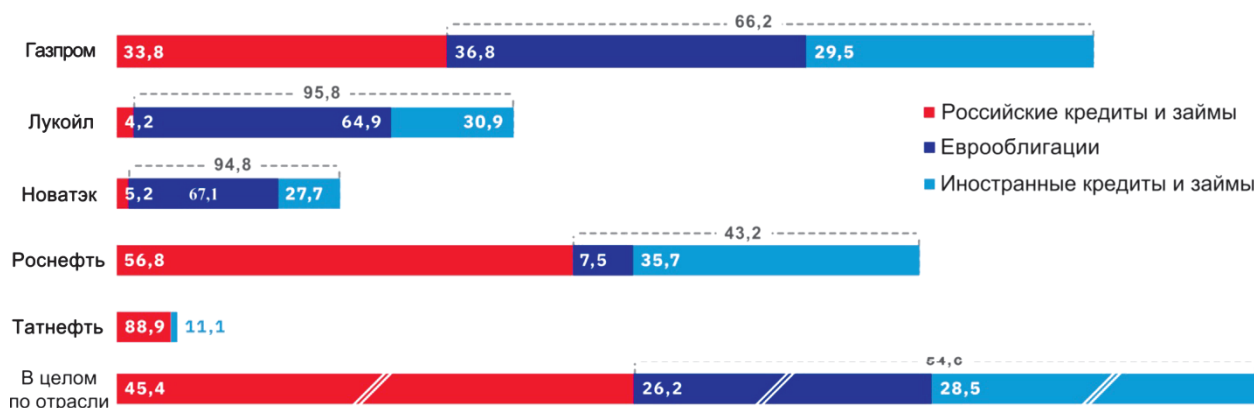


Рис. 1. Доля иностранных кредитов и займов в заемном капитале. По данным доклада Центра стратегических разработок (ЦСР) совместно с Аналитическим центром ТЭК РФ Минэнерго России и «Ситуационным центром» (ГК Селдон). <https://www.csr.ru/ru/news/klimaticheskaya-povestka-rossii-reagiruya-na-mezhdunarodnye-vyzovy/>

ресурсного потенциала (новый район, растущая добыча, высокая степень «освоенности» ресурсной базы), а также особенности структуры экономики конкретного региона.

По мнению авторов, Республика Татарстан как один из регионов-лидеров имеет уникальные особенности и характеристики как нефтегазовой промышленности, так и экономики в целом. В отношении нефтегазового сектора речь идет о высокой степени зрелости ресурсной базы, а также о наличии уникальных навыков и компетенций работы с высоковязкими и сильно истощенными залежами. Это находит отражение в значительной роли, которую играют малые инновационные компании. Данное обстоятельство формирует устойчивый спрос на новые технологии и подходы, связанные с эффективным (в рамках новой экологической парадигмы) освоением и разработкой подобных нетрадиционных залежей.

Чрезвычайно значимо и то, что экономика Республики Татарстан также имеет многоотраслевой характер – помимо собственно добычи углеводородов активно развиваются нефте-, газопереработка и нефтехимия. В Республике развито машиностроение, сельское хозяйство, наука и образование и др. отрасли экономики (табл. 1).

Благодаря выраженному доминированию отраслей с высоким углеродным следом, развитыми знание-интенсивными отраслями и хорошо выстроенной системе межсекторальных взаимодействий, Республика Татарстан может стать показательным регионом (не путать с полигоном) для развития подходов к достижению углеродной нейтральности в процессе кооперации и тесного взаимодействия участников из разных секторов экономики в рамках отдельного экономически самостоятельного и устойчивого региона.

Модель развития технологических инноваций

Следуя тренду декарбонизации, промышленникам предстоит адаптировать и внедрять дорогостоящие технологии, что на начальном этапе требует определения экономического эффекта и рисков составляющей от предстоящей модернизации производства. Оценка технологических инноваций – специфическая задача ввиду высокой неоднозначности прогноза производственных и финансовых показателей, что ограничивает применение привычных методов инвестиционного анализа. По мнению авторов, необходимо последовательно решить две подзадачи:

- определить требуемое состояние развития технологии;
- определить условия достижения такого состояния.

Результатом должен стать практически применимый комплекс технологических и организационно-правовых механизмов освоения углеводородов более экологичным способом с сохранением приемлемой нормы рентабельности бизнеса.

Авторский алгоритм оценки технологических инноваций по декарбонизации для решения первой подзадачи применяет пороговый анализ, а для второй – построение байесовской сети с использованием кривых обучения (рис. 2).

Каждая технология характеризуется набором индикаторов, определяющих стоимость её разработки, приобретения и последующего использования, применимость к конкретной задаче, производительность в тех или иных режимах эксплуатации. Комбинация значений индикаторов определяет **состояние** развития технологии. Очевидно, что в контексте декарбонизации могут рассматриваться

	Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство	Добыча полезных ископаемых	Обрабатывающие производства	Строительство	Знание-интенсивные отрасли	Прочие
Российская Федерация	4,3	14,8	18	5,6	17,2	40,1
г. Москва	0,1	0	16,2	3,4	25	55,3
г. Санкт-Петербург	0,2	0,3	17,2	4,4	28,6	49,3
ХМАО-Югра	0,2	73,3	2,3	5,2	6,2	12,8
Московская область	1,7	0,2	20,6	5,2	16,3	56
Республика Татарстан	5,7	30,5	15,9	8,1	12	27,8

Табл. 1. Отраслевая структура валовой добавленной стоимости по регионам-лидерам России по социально-экономическому развитию 2020 г. По данным Федеральной службы государственной статистики. https://gks.ru/bgd/regl/b20_14p/Main.htm



Рис. 2. Схема оценки технологических инноваций по декарбонизации

технологии с различными исходными состояниями, а главное – направленное воздействие на ту или иную технологию посредством научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) приводит к различным изменениям её состояния.

Более экологичная технология, приходящая на замену старой, не обязательно должна быть ей идентична по производственной эффективности и стоимости применения. Новая технология может быть дороже, но при этом результативнее, или наоборот. Тем самым искомым является множество всех целевых состояний – удовлетворяющих заданным критериям, например, положительной ожидаемой доходности (Expected Monetary Value – EMV>0), экологическим нормативам (ESG обязательствам), корпоративному бюджету на модернизацию производства и т.д. Вычислительная процедура для такого порогового анализа предполагает построение производственно-инвестиционной модели (Dushenin, Milyaev, 2018) и с её помощью оценки сценариев внедрения в производство новых технологий, находящихся в различных состояниях развития.

Метод перебора – самый простой способ реализации порогового анализа, но из-за большого количества возможных сценариев применим только для вырожденных, как правило, теоретических задач. На практике можно воспользоваться монотонной зависимостью экономического результата от большинства исходных индикаторов и исключить большую часть возможных сочетаний варьируемых характеристик на старте вычислений (Milyaev, Kidanova, 2017).

Теперь, когда определены минимально допустимые состояния развития технологии, необходимо сопоставить их с объективными реалиями: весьма вероятно, что все или большинство состояний в настоящее время не могут

быть реализованы. Например, улавливание углекислого газа непосредственно на источнике выбросов потребует применения мембран с проницаемостью на 30% выше, чем у существующих. Или закачка углекислого газа в пласт повлечёт использование антикоррозийных труб, стоимость которых должна быть вдвое ниже текущей. Может ли быть достигнуто целевое состояние технологии, с какой вероятностью, за какой срок и какими средствами? Ответы на поставленные вопросы могут быть получены в результате моделирования совместной инновационной деятельности предприятий отрасли.

Классически для проведения НИОКР формируется организационно-правовая единица, так называемый «научный кластер», состоящий из одного или нескольких агентов: недропользователей, R&D центров, сервисных компаний, инвесторов, государственных органов. Состав кластера определяет его возможность воздействовать на развитие технологии в направлении одного или нескольких целевых состояний, ведь каждый агент привносит уникальный вклад в виде собственных кадровых, материально-технических, финансовых ресурсов и компетенций. Как следствие, каждому потенциальному составу кластера можно сопоставить набор измеримых численных характеристик, влияющих на скорость развития технологии силами такого кластера.

В математической постановке это может быть реализовано в виде байесовской сети (Abdulkareem et al., 2019), имеющей структуру направленного дерева – ациклического графа с единственным корнем, в каждую некорневую вершину которого будет вести ровно одна дуга (рис. 3). Число уровней сети складывается из числа агентов, формирующих организационно-правовую структуру кластера, и числа возможных усовершенствований технологии, характеризующих различные варианты её развития. Каждый

путь байесовской сети, то есть последовательность вершин, связанных дугами, от корня до конечного листа, соответствует отдельному сценарию развития технологии сформированным кластером. Некоторые пути позволяют достигнуть целевого состояния технологии.

Любая дуга байесовской сети задаёт событие. Вероятность наступления событий на верхних N уровнях сети задаётся бинарными переменными таким образом, чтобы рассмотреть все допустимые варианты состава кластера. Для нижних M уровней сети вычисление вероятностей событий представляет нетривиальную задачу, решаемую с помощью кривых обучения (Learning curve, LC).

LC обеспечивают математическое представление процесса обучения в процессе повторения задач. Эти кривые были первоначально предложены Т.Р. Wrigt в 1936 году для оценки снижения затрат и времени изготовления изделия в результате повторяющихся процессов на производственных предприятиях (Yelle, 1979). Позднее данный подход был модифицирован для моделирования технологического развития (см. напр. Kgyukov, Gorlov, 2019).

За основу берётся ретроспектива развития другой технологии, близкой по концепции развития, то есть по совокупности организационно-правовых и научно-производственных задач. Например, для некоторых технологий

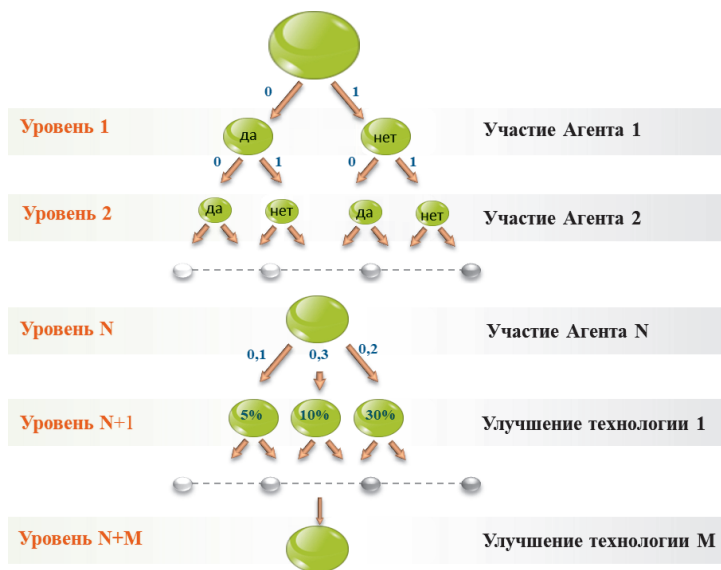


Рис. 3. Структура байесовской сети для прогноза технологических успехов кластера

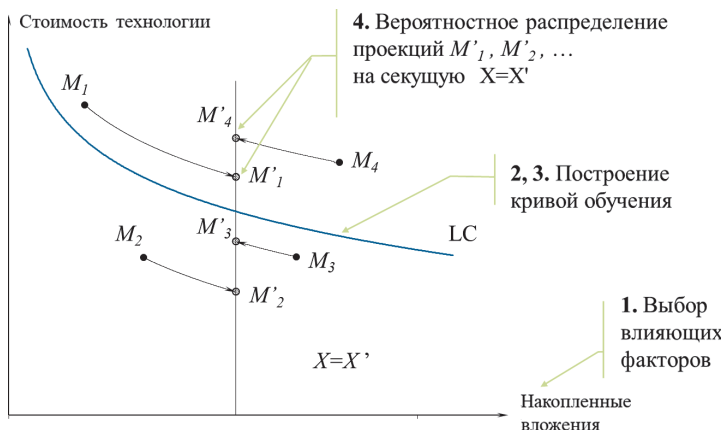


Рис. 4. Вероятностный анализ кривых обучения

декарбонизации в качестве ретроспективной основы можно использовать технологию проведения многостадийного гидроразрыва пласта (ГРП): по ней имеется достаточно статистических данных, увязывающих вложения в НИОКР с ростом производительности ГРП и снижением удельных издержек.

Упрощённо анализ кривой обучения проиллюстрирован на рис. 4:

1. Выбираются влияющие факторы в зависимости от специфики рассматриваемого события (дуги) байесовской сети. Например, если событием является тот или иной бюджет кластера, то в качестве влияющего фактора разумно выбрать объём вложений в НИОКР;

2. Строится зависимость целевого индикатора от одного или нескольких влияющих факторов по принципу минимального суммарного отклонения от ретроспективных точек M_1, M_2, \dots ;

3. Полученная кривая и все точки M_i нормируются таким образом, чтобы максимально соответствовать истории развития и текущему состоянию технологии декарбонизации, которую предстоит развивать;

4. Рассматривается поочерёдно каждое значение влияющего фактора X' , фигурирующее в байесовской сети: проекции точек M_1, M_2, \dots на секущую $X=X'$ задают распределение вероятности целевого индикатора. Так, на представленном графике проекции M'_1, M'_2, \dots отражают множество возможных стоимостей технологий после X' инвестиций.

Применение кривой обучения позволяет определить искомые вероятности событий, то есть веса ребер байесовской сети. Далее, вероятность реализации сценария развития технологии вычисляется перемножением весов всех дуг выбранного пути.

В результате описанных вычислений находится вероятностное распределение потенциальных состояний технологии, а главное – вероятность достижения её целевого состояния. Соответствующий путь байесовской сети характеризует механизм инновационного развития.

Выводы

Декарбонизация формирует технологический и экономический вызовы, обусловленные потребностью в замещении традиционного экспорта углеводородов поставкой «зелёных» энергоносителей. Новый тренд имеет искусственное происхождение, развиваясь, очевидно, вопреки рыночным механизмам, в первую очередь, благодаря анонсированным мерам стимулирования и принуждения. В любом случае российской нефтянке придётся адаптировать и внедрять дорогостоящие технологии, что порождает вопрос экономической оправданности модернизации производства или инвестиций в новые венчурные проекты.

Процесс развития технологических инноваций формализуем с помощью математического аппарата: порогового анализа, агентного моделирования, байесовских сетей, кривых обучения. Это позволяет определить вероятность разработки и внедрения искомой технологии декарбонизации, удовлетворяющей требованиям к ожидаемой доходности, ESG-стратегии и корпоративному бюджету.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (РНФ), грант №19-18-00170.

Литература

- Ананькина Е.А. (2021). ESG – три роковые карты для российского НГК. *Нефтегазовая вертикаль*, 7, с. 44–49.
- Гайда И.В., Митрова Т.А., Грушевенко Е. и др. (2021). Декарбонизация в нефтегазовой отрасли: международный опыт и приоритеты России. *Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО*. 158 с.
- Глобальный энергопереход для России – возможность или опасность? (2021). *Нефтегазовая вертикаль*. http://www.ngv.ru/pr/globalnyu-energoperekhod-dlya-rossii-vozmozhnost-ili-opasnost-institut-razvitiya-tekhnologiy-tek-obr/?sphrase_id=3273313
- Климатическая повестка России: реагируя на международные вызовы (2021). <https://www.csr.ru/ru/news/klimaticheskaya-rovestka-rossii-reagiruya-na-mezhdunarodnye-vyzovy/>
- Порядин А.Е., Белоглазова О. Глобальная декарбонизация: эволюция подходов нефтегазовых компаний (2021). Ernst&Young. https://www.ey.com/ru_ru/oil-gas/global-decarbonization-evolution-of-oil-and-gas-companies-approaches
- Сафонов Г.В. (2020). Декарбонизация мировой экономики и Россия. *Нефтегазовая вертикаль*, 21–22, с. 66–70.
- Abdulkareem S.A., Mustafa Y.T., Augustijn E.W., Filatova T. (2019). Bayesian networks for spatial learning: a workflow on using limited survey data for intelligent learning in spatial agent-based models. *Geoinformatica*, 23, pp. 243–268. <https://doi.org/10.1007/s10707-019-00347-0>
- Dushenin D., Milyaev D. (2018). Automation of the Analysis of the Efficiency of Geological Exploration for Oil and Gas. In *Geomodel 2018* (No. 1, pp. 1–5). European Association of Geoscientists & Engineers.
- Globerson S., Gold D. (2010). Statistical attributes of the power learning curve model. *International journal of production research*, 35(3), pp. 699–711. <https://doi.org/10.1080/002075497195669>
- Kryukov V.A., Gorlov A.A. (2019). Forecasting the Development Process of Wind Energy in the North Sea Basin Based on Learning Curves. *Stud. Russ. Econ. Dev.*, 30, pp. 177–184. <https://doi.org/10.1134/S1075700719020084>
- Milyaev D.V., Kidanova O.A., Dushenin D.I. (2017). Determination of threshold values for the solution of the multiparametric problem of assessing the efficiency of geological exploration. *Mathematics in the Modern World*, pp. 567–567.

Yelle L.E. (1979). The learning curve: Historical review and comprehensive survey. *Decision Sciences*, 10, pp. 302–328. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1979.tb00026.x>

Сведения об авторах

Валерий Анатольевич Крюков – доктор экон. наук, профессор, академик РАН, директор Института экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН

Россия, 630090, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, д. 17

e-mail: kryukov@ieie.nsc.ru

Дмитрий Владимирович Милыев – канд. экон. наук, начальник отдела геолого-экономического анализа АО «СНИИГГиМС»; научный сотрудник Института экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН

Россия, 630091, Новосибирск, Красный проспект, д. 67

Анастасия Денисовна Савельева – соискатель степени кандидата наук, инженер 2 категории АО «СНИИГГиМС»; инженер Института экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН

Россия, 630091, Новосибирск, Красный проспект, д. 67

Дмитрий Игоревич Душенин – канд. физ.-мат. наук, заведующий лабораторией технико-экономической оценки проектов АО «СНИИГГиМС»; научный сотрудник Института экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН

Россия, 630091, Новосибирск, Красный проспект, д. 67

Статья поступила в редакцию 15.07.2021;

Принята к публикации 02.08.2021; Опубликовано 30.08.2021

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

Challenges and responses of the economy of the Republic of Tatarstan to decarbonization processes

V.A. Kryukov^{1*}, D.V. Milyaev^{1,2}, A.D. Savelieva^{1,2}, D.I. Dushenin^{1,2}

¹Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

²Siberian Scientific Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russian Federation

*Corresponding author: Valeriy A. Kryukov, e-mail: valkryukov@mail.ru

Abstract. The processes of global energy transition are increasingly becoming one of the main driving forces of both the transformation of the existing market model and the technological foundations of the functioning of energy facilities. The reorientation of the world economy towards decarbonization threatens the stability of the functioning of many previously seemingly unshakable technological solutions and approaches in the field of system integration of the fuel and energy complex, which, in turn, stimulates the search for a new paradigm of its development.

The manifestations of transformation are observed at various levels of the economic hierarchy: inter-country, country and intra-country. The development of mechanisms for the response of Russian manufacturers to the realities of the energy transition requires testing at real facilities.

According to the authors, Tatarstan can become an indicative region for the development of approaches to achieving carbon neutrality.

For a preventive forecast of the attainability of ESG (Environmental, Social and Governance) indicators, the authors propose a conceptual approach to assessing the development of decarbonization technologies, based on a combination of economic and mathematical methods, which allows us to develop an organizational and legal basis for the process, form and evaluate criteria for the effectiveness of innovations and the conditions for their implementation.

Keywords: decarbonization, energy transition, innovation assessment, ecology, threshold analysis, Bayesian networks, learning curves

Acknowledgements

This work was supported by the Russian Science Foundation, grant no. 19-18-00170.

Recommended citation: Kryukov V.A., Milyaev D.V., Savelieva A.D., Dushenin D.I. (2021). Challenges and responses of the economy of the Republic of Tatarstan to decarbonization processes. *Georesursy = Georesources*, 23(3), pp. 17–23. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.3>

References

- Abdulkareem S.A., Mustafa Y.T., Augustijn E.W., Filatova T. (2019). Bayesian networks for spatial learning: a workflow on using limited survey data for intelligent learning in spatial agent-based models. *Geoinformatica*, 23, pp.243–268. <https://doi.org/10.1007/s10707-019-00347-0>
- Anankina E.A. (2021). ESG – three fatal cards for the Russian oil and gas complex. *Neftegazovaya vertikal* [Oil and gas vertical], 7, pp. 44–49. (In Russ.)
- Dushenin D., Milyaev D. (2018). Automation of the Analysis of the Efficiency of Geological Exploration for Oil and Gas. In *Geomodel 2018* (No. 1, pp. 1–5). European Association of Geoscientists & Engineers.
- Gaida I.V., Mitrova T.A., et al. (2021). Decarbonization in the oil and gas industry: international experience and Russia's priorities. Skolkovo Energy Centre, 158 p. (In Russ.)
- Globerson S., Gold D. (2010). Statistical attributes of the power learning curve model. *International journal of production research*, 35(3), pp. 699–711. <https://doi.org/10.1080/002075497195669>
- Global Energy Transition for Russia – Opportunity or Danger? (2021). *Neftegazovaya vertikal* [Oil and gas vertical]. (In Russ.). http://www.ngv.ru/pr/globalnyy-energoperekhod-dlya-rossii-vozmozhnost-ili-opasnost-institut-razvitiya-tehnologiy-tek-obr/?sphrase_id=3273313
- Kryukov V.A., Gorlov A.A. (2019). Forecasting the Development Process of Wind Energy in the North Sea Basin Based on Learning Curves. *Stud. Russ. Econ. Dev.*, 30, pp. 177–184. <https://doi.org/10.1134/S1075700719020084>
- Milyaev D.V., Kidanova O.A., Dushenin D.I. (2017). Determination of threshold values for the solution of the multiparametric problem of assessing the efficiency of geological exploration. *Mathematics in the Modern World*, pp. 567–567.
- Poryadin A.E., Beloglazova O. (2021). Global decarbonization: the evolution of approaches of oil and gas companies. *Ernst&Young*. (In Russ.). https://www.ey.com/ru_ru/oil-gas/global-decarbonization-evolution-of-oil-and-gas-companies-approaches/
- Russia's Climate Agenda: Responding to International Challenges (2021). (In Russ.). <https://www.csr.ru/ru/news/klimaticheskaya-povestka-rossii-reagiruya-na-mezhdunarodnye-vyzovy/>

Safonov G.V. (2020). Decarbonization of the world economy and Russia. *Neftegazovaya vertikal* [Oil and gas vertical], 21–22, pp. 66–70. (In Russ.)

Yelle L.E. (1979). The learning curve: Historical review and comprehensive survey. *Decision Sciences*, 10, pp. 302–328. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1979.tb00026.x>

About the Authors

Valeriy A. Kryukov – DSc (Economics), Professor, Director, Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences 17, Ac. Lavrentiev ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

e-mail: kryukov@ieie.nsc.ru

Dmitriy V. Milyaev – PhD (Economics), Head of the Geological and Economic Analysis Department, Siberian Scientific Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources; Researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

67, Krasniy ave., Novosibirsk, 630091, Russian Federation

Anastasiya D. Savelieva – External PhD student, Engineer, Siberian Scientific Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources; Engineer, Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

67, Krasniy ave., Novosibirsk, 630091, Russian Federation

Dmitriy I. Dushenin – PhD (Physics and Mathematics), Head of the Laboratory of Technical and Economic Assessment of Projects, Siberian Scientific Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources; Researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

67 Krasniy ave., Novosibirsk, 630091, Russian Federation

Manuscript received 15 July 2021;

Accepted 2 August 2021;

Published 30 August 2021