



УДК 338.1, ББК 65.28, JEL Code L710, Q300
DOI 10.17072/1994-9960-2023-3-292-310
EDN HWLDOE

Аналитический обзор и систематизация доступных опций декарбонизации нефтегазового бизнеса

Екатерина Александровна Кузнецова

Researcher ID: AFJ-7400-2022, Author ID: 1130612

Арина Павловна Рядинская

Researcher ID: GUV-4336-2022, Author ID 1128347

Алина Александровна Череповицына

Researcher ID: N-3914-2016, Author ID: 648808, ✉ iljinovaaa@mail.ru

Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина Кольского научного центра
Российской академии наук, Апатиты, Россия

Аннотация

Введение. Достижение глобальных климатических целей требует неотложного снижения значительного количества выбросов парниковых газов. Нефтегазовый бизнес, будучи одновременно производителем и потребителем энергоресурсов, несет ответственность за значительную часть мировой эмиссии, при этом имеет большой потенциал снижения своего углеродного следа. Анализ существующей литературы выявил, что широкий набор опций декарбонизации остается несистематизированным, что усложняет проведение управленческой и исследовательской деятельности в области низкоуглеродного развития нефтегазовой отрасли. *Цель.* Систематизировать опции декарбонизации применительно к нефтегазовому бизнесу. *Материалы и методы.* Исследование проведено на основе открытых источников. Материалами выступили научные публикации по теме декарбонизации, углеродной нейтральности, развития нефтегазового бизнеса в условиях низкоуглеродной повестки, отчеты исследовательских и аналитических международных организаций, отчеты правительственных организаций. Используются методы кабинетного исследования, контент-анализа, декомпозиции, группировки, анализа (критического и сравнительного) и синтеза. *Результаты.* Проведен анализ требований и подходов к учету выбросов парниковых газов, выделены основные источники эмиссии в нефтегазовом производстве. Представлена терминологическая систематика основных понятий применительно к декарбонизации нефтегазового бизнеса. Приводится разработанная авторами систематизация опций декарбонизации нефтегазового бизнеса с ориентацией на иерархическое построение от общих направлений деятельности до групп опций, опций декарбонизации и конкретных технологий (техник). *Выводы.* Проведенное исследование позволило выделить четыре направления декарбонизации нефтегазового бизнеса: (1) совершенствование операционной деятельности; (2) переход на низкоуглеродные источники энергии; (3) работа с попутными компонентами и отходами производства; (4) применение способов корпоративного управления; рассмотреть примеры компенсационных опций, доступных нефтегазовым компаниям; распределить опции декарбонизации по стадиям производства и сферам охвата.

Ключевые слова

Декарбонизация, метод, опции, нефтегазовый бизнес, систематизация, анализ

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-78-10181 «Декарбонизация нефтегазового комплекса России: концепция, новые интерфейсы, вызовы, технологические и организационно-управленческие трансформации», <https://rscf.ru/project/22-78-10181/>

Для цитирования

Кузнецова Е. А., Рядинская А. П., Череповицына А. А. Аналитический обзор и систематизация доступных опций декарбонизации нефтегазового бизнеса // Вестник Пермского университета. Серия: Экономика. 2023. Т. 18, № 3. С. 292–310. DOI 10.17072/1994-9960-2023-3-292-310. EDN HWLDOE.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила: 14.04.2023

Принята к печати: 16.08.2023

Опубликована: 01.11.2023



© Кузнецова Е.А., Рядинская А. П.,
Череповицына А. А., 2023

Analytical review and systematization of available decarbonization options for oil and gas business

Ekaterina Aleksandrovna Kuznetsova

Researcher ID: AFJ-7400-2022, Author ID: 1130612

Arina Pavlovna Riadinskaia

Researcher ID: GVV-4336-2022, Author ID 1128347

Alina Aleksandrovna Cherepovitsyna

Researcher ID: N-3914-2016, Author ID: 648808, ✉ iljinovaaa@mail.ru

Luzin Institute for Economic Studies – Subdivision of the Federal Research Centre
Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

Abstract

Introduction. Global climate goals call for an urgent and substantial decrease in greenhouse gas emissions. Being both a producer and a consumer of energy resources, oil and gas business is responsible for a significant part of global emissions, but also has great capacities to lower its carbon footprint. Analysis of the existing literature revealed that a wide range of decarbonization options remains unsystematic, which complicates management and research activities in the field of low-carbon development of the oil and gas industry. *Purpose.* This article is aimed at systematizing decarbonization options for oil and gas business. *Materials and Methods.* The research refers to the publicly available resources. The materials are the academic papers about decarbonization, carbon neutrality, development of oil and gas business in the context of low carbon agenda, reports of the research and analytical international organizations, reports of the governmental organizations. The study applied the desk analysis methods, content analysis, decomposition, grouping, analysis (critical and comparative) and synthesis. *Results.* The requirements and approaches to accounting for greenhouse gas emissions were analyzed, and the main sources of emissions in oil and gas production were identified. The fundamental concepts in relation to the decarbonization of the oil and gas business are systematized. The paper describes the proposed systematization of decarbonization options for the oil and gas business with the focus on a hierarchy from general areas of activity to groups of options, decarbonization options and specific technologies (techniques). *Conclusion.* The research outlined four areas of decarbonization for oil and gas business: (1) improvement of operational activities; (2) transition to low-carbon energy sources; (3) work with associated components and production wastes; (4) application of corporate management methods. The paper describes the examples of compensation options available to oil and gas companies and distributes decarbonization options by production stages and by coverage areas.

Keywords

Decarbonization, method, options, oil and gas business, systematization, analysis

Funding

This research was funded by the Russian Science Foundation, grant number 22-78-10181 “Decarbonization of the Russian oil and gas complex: conceptual framework, new interfaces, challenges, technological and managerial transformations”, <https://rscf.ru/project/22-78-10181/>

For citation

Kuznetsova E. A., Riadinskaia A. P., Cherepovitsyna A. A. Analytical review and systematization of available decarbonization options for oil and gas business. *Perm University Herald. Economy*, vol. 18, no. 3, pp. 292–310. DOI 10.17072/1994-9960-2023-3-292-310. EDN HWLDOE.

Declaration of conflict of interest: none declared.

Received: April 14, 2023

Accepted: August 16, 2023

Published: November 01, 2023



© Kuznetsova E. A., Riadinskaia A. P.,
Cherepovitsyna A. A., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Для достижения цели по сдерживанию повышения температуры Земли в пределах 1,5 °С, заявленной в Парижском соглашении¹, требуется значительное сокращение глобальных выбросов парниковых газов (далее – ПГ). По оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата (далее – МГЭИК; *IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change*), «оставшийся» углеродный бюджет, то есть количество углекислого газа (далее – CO₂), которое может быть выброшено в атмосферу во всем мире без «подтапливания» глобального потепления выше 1,5 °С, составляет всего 400 млрд т CO₂ (значение может незначительно меняться в зависимости от предположения о сокращении других ПГ)². Можно оценить, что при мировом уровне выбросов 2020 г. – порядка 34,8 млрд т CO₂-экв (пренебрегая ежегодным изменением массы выбросов и падением из-за пандемии)³ – допустимый бюджет будет истрачен в течение следующих 11–12 лет. Однако, согласно последнему отчету МГЭИК, масса глобальных выбросов ПГ увеличивается каждый год со средним темпом роста порядка 1,3 % за последнее десятилетие⁴.

Нефть и газ, наряду с углем, являются крупнейшими источниками энергии в мире. По данным *British Petroleum* (далее – *BP*), в 2020 г. доля нефти и газа в общем объеме мирового энергопотребления составила 31,3 и 24,7 % соответственно⁵. Несмотря на распространение возобновляемых источников

энергии (далее – ВИЭ), ископаемое топливо продолжает играть ключевую роль в мировом энергетическом портфеле. Большие объемы использования углеводородного топлива по всему миру приводят к тому, что при рассмотрении эмиссии по источникам возникновения на продукцию нефтегазового комплекса приходится значительная доля в общей массе выбросов ПГ: 26 и 18 % для нефти и газа соответственно⁶. Таким образом, энергетический сектор в целом и нефтегазовая отрасль в частности являются одними из крупнейших эмитентов ПГ, а также признаются одними из главных игроков в планируемом достижении углеродной нейтральности.

Нефтегазовые компании, в отличие от многих других, являются не только крупными потребителями энергоресурсов, но и их производителями. В связи с этим учет углеродного следа нефтегазового бизнеса должен производиться как на этапах добычи сырья и производства продукции, так и на этапах ее использования. Это значительно усиливает ответственность отрасли, а также расширяет понимание и направления декарбонизации, доступные для нефтегазового бизнеса. Вместе с тем различия в подходах к учету выбросов, широкая вариация используемой терминологии, а также доступных направлений, методов, опций декарбонизации усложняют реализацию исследовательской и управленческой деятельности.

Исследования в области декарбонизации нефтегазового комплекса (далее – НГК) на сегодняшний день активно проводятся отечественными авторами. Что касается органи-

¹ *Paris Agreement* // UNFCCC. URL: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> (дата обращения: 15.02.2023).

² *Climate Change 2021: The Physical Science Basis* // The Intergovernmental Panel on Climate Change. 2021. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1> (дата обращения: 15.02.2023).

³ *Global Carbon Budget 2022* // Global Carbon Project. 2022. URL: https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/22/files/GCP_CarbonBudget_2022.pdf (дата обращения: 15.02.2023).

⁴ *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change* // The Intergovernmental Panel on Climate Change. 2022. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3> (дата обращения: 15.02.2023).

⁵ *Statistical Review of World Energy 2021 – 70th edition* // BP p.l.c. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf> (дата обращения: 15.02.2023).

⁶ *Global Energy Review: CO₂ Emissions in 2021* // International Energy Agency. 2022. URL: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-co2-emissions-in-2021-2> (дата обращения: 15.02.2023).

зационно-экономических аспектов данной проблемы, то исследователи уделяют особое внимание вопросам формирования организационно-экономических механизмов развития НГК в условиях декарбонизации [1], оценке эффективности проведения различных низкоуглеродных мероприятий в НГК [2], а также изучают модели трансформации, риски и конкретный опыт нефтегазовых компаний на пути к низкоуглеродному развитию [3; 4]. В отечественной и зарубежной научной литературе, а также в отчетах аналитических агентств, посвященных теме декарбонизации и углеродной нейтральности НГК, встречаются элементы группировки и типологии опций декарбонизации по различным признакам¹, однако предложения по систематизации доступных опций декарбонизации не были выявлены авторами. В связи с этим в исследовании осуществлена систематизация доступных опций декарбонизации нефтегазового бизнеса с ориентацией на иерархическое построение от общих направлений деятельности до групп опций, опций декарбонизации и конкретных технологий (техник). Научная новизна исследования выражается в предложенной систематизации доступных опций декарбонизации нефтегазового бизнеса, которая может быть использована как основа для ведения управленческой и исследовательской деятельности в данной области. В то время как предыдущие исследования охватывали отдельные опции декарбонизации, в данной работе эти опции объединены в общую систему иерархического характера, что позволяет лучше понять и оценить полный спектр возможностей снижения выбросов ПГ в нефтегазовой отрасли.

В рамках данной цели планируется выполнение следующих задач:

- анализ подходов к учету выбросов ПГ и источников эмиссии нефтегазовых компаний;
- рассмотрение основных понятий по теме декарбонизации, их терминологическая систематика;

– разработка системы доступных опций декарбонизации применительно к нефтегазовому бизнесу;

– распределение доступных опций декарбонизации по стадиям производственного цикла и сферам охвата.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на основе открытых источников. Материалами выступили научные публикации по теме декарбонизации, углеродной нейтральности, развития нефтегазового бизнеса в условиях низкоуглеродной повестки, а также отчеты исследовательских и аналитических международных организаций, таких как МГЭИК, Международное энергетическое агентство (МЭА), *BP*, *McKinsey & Company*, отчеты правительственных организаций (Министерство энергетики США, *U.S. Department of Energy – U.S. DOE*, Европейская комиссия и др.).

Основным методом, применяемым в работе, выступили кабинетные исследования. Использованы также методы контент-анализа научных публикаций и отчетов международных исследовательских организаций. Для обработки полученных данных, разработки системы опций и распределения их по стадиям производства и сферам охвата использовались методы декомпозиции, группировки, анализа и синтеза, методы критического и сравнительного анализа, мозгового штурма. Для представления результатов исследования применялся метод составления аналитических таблиц.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Подходы к учету выбросов ПГ и источники эмиссии нефтегазовых компаний

Чтобы соответствовать углеродному бюджету, рассчитанному научным и экспертным сообществом, нефтегазовые компании должны

¹ *Net Zero by 2050* // International Energy Agency. 2021. URL: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (дата обращения: 01.03.2023); Грушевенко Е., Капитонов С., Мельников Ю., Пердеро А., Шевелева Н., Сигиневич Д. Декарбонизация нефтегазовой отрасли: международный опыт и приоритеты России / под ред. Т. Митровой, И. Гайды; Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО. 2021. 158 с. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Decarbonization_of_oil_and_gas_RU_22032021.pdf (дата обращения: 15.02.2023).

предпринять серьезные шаги по сокращению выбросов от своей деятельности. Для этого первоочередной задачей является проведение учета эмиссии ПГ. Учет выбросов ПГ – это процесс, с помощью которого компании определяют количество их выбросов ПГ для понимания своего воздействия на климат и постановки целей по ограничению эмиссии¹. Компании сталкиваются с давлением в вопросе отчетности по выбросам ПГ как на международном, так и на национальном уровне. Помимо нормативного и политического давления, компании могут столкнуться и с давлением со стороны инвесторов, общества и средств массовой информации.

В настоящее время существует два типа углеродной отчетности: добровольная и обязательная. Добровольная отчетность выпускается на усмотрение самой компании, в то время как обязательная регулируется органами государственной власти. Можно выделить три основных подхода к применению обязательной углеродной отчетности²:

1) отраслевой – отчетность о выбросах ПГ применяется к определенным секторам с высоким уровнем выбросов ПГ (например, США, где отчетность является обязательной в таких секторах, как производство электроэнергии и химическая промышленность);

2) пороговый – отчетность о выбросах ПГ применяется к компаниям, у которых выбросы, потребление ископаемого топлива или объем производства превышают заданный порог независимо от сектора (например, Канада, где отчетность является обязательной для всех предприятий, выбросы которых превышают 50 тыс. т CO₂-экв в год);

3) корпоративный – отчетность о выбросах ПГ применяется к определенным типам

компаний, например к компаниям с 500 и более сотрудниками (Франция) или публичным компаниям (Великобритания).

В России начинает внедряться пороговый подход к обязательной углеродной отчетности. Согласно Федеральному закону от 02.07.2021 № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов», Постановлению Правительства Российской Федерации от 14.03.2022 № 355 «О критериях отнесения юридических лиц и индивидуальных предпринимателей к регулируемым организациям» с 2023 г. организации, уровень выбросов которых составляет свыше 150 тыс. т CO₂-экв, обязаны предоставлять отчетность о выбросах ПГ в уполномоченные органы исполнительной власти. С 2025 г. закон также начнет распространяться на организации с уровнем выбросов свыше 50 тыс. т CO₂-экв. Для содействия практике углеродной отчетности с 01.03.2023 в России вступает в силу новая методика по определению количества выбросов, производимых отдельными компаниями³.

Помимо этого, различные международные организации разрабатывают руководства по учету выбросов ПГ с целью стандартизации международной практики. Среди них известными являются стандарты *Greenhouse Gas Protocol* (далее – *GHG Protocol*), рекомендации Глобальной инициативы по отчетности (*GRI*), стандарты международной организации по стандартизации (*ISO*) и отраслевые рекомендации по отчетности, например руководство Американского института нефти по расчету выбросов ПГ для нефтегазовой промышленности (*API*) [5]. Анализ международных и отечественной методик указывает на то, что международные требования учитывают более широкий перечень источников выбросов [6].

¹ Peterdy K. Carbon Accounting. Creating an inventory for, and calculation of, an organization's scope 1, 2, and 3 greenhouse gas emissions // Corporate Finance Institute. 14.02.2022. URL: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/esg/carbon-accounting> (дата обращения: 01.03.2023).

² Borie S., Decq J. Review of voluntary and regulatory carbon reporting by companies around the world // Carbon 4. URL: <https://www.carbone4.com/files/wp-content/uploads/2016/09/CARBONE4-carbon-reporting-by-companies-around-the-world-EN.pdf> (дата обращения: 01.03.2023).

³ Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 27.05.2022 № 371.

Для удовлетворения требований по раскрытию информации перед инвесторами и прочими заинтересованными сторонами сегодня широко используется подход категоризации углеродного следа компании по трем сферам охвата (*scopes* 1, 2, 3), разработанный *GHG Protocol* в 2001 г. Для нефтегазовых компаний он предполагает учет всех выбросов, образующихся в результате их деятельности, в рамках трех сфер охвата¹:

scope 1 – прямые выбросы, образующиеся в результате непосредственной деятельности компании, например выбросы от утечек метана, процессов сжигания и переработки газа, а также связанные с транспортировкой продукции;

scope 2 – косвенные выбросы, возникающие в результате производства электроэнергии, покупаемой и потребляемой компанией, например покупная электроэнергия, пар, отопление и охлаждение; выбросы находятся за пределами непосредственного контроля компании и зависят от углеродоемкости генерации энергии поставщиком;

scope 3 – выбросы от всех других косвенных источников в цепочке поставок и продаж компании, таких как закупка сырья, распределение и транспортировка, использование продукции и утилизация по окончании срока службы; для нефтегазовых компаний выбросы ПГ на уровне охвата 3 происходят в основном в транспортном, промышленном и энергетическом секторах и в их цепочках поставок при сжигании углеводородов.

Выбросы сфер 1 и 2 составляют менее 20% от общего объема эмиссии ПГ в секторе², в то время как большая часть выбросов связана

с использованием реализованной продукции конечными потребителями. По оценке МЭА³, выбросы, приходящиеся на сферу охвата 3, ответственны за основную часть углеродного следа нефтегазовой компании и составляют от 73 до 81% для преимущественно нефтяных компаний и от 65 до 81% – для газовых.

Если рассматривать вклад нефтегазового комплекса в общемировую массу эмиссии ПГ, опираясь на данный подход к учету выбросов, можно увидеть существенно отличающиеся оценки. Так, согласно исследованию *McKinsey*⁴, если оценивать долю выбросов, произведенных нефтегазовым сектором в рамках сферы охвата 1, то в общей массе мировых выбросов CO₂ она составит всего 8%. Принятие ответственности за косвенные выбросы сферы охвата 2 увеличит это значение до 9%. Однако, если учесть косвенные выбросы сферы охвата 3, производимые при сжигании продуктов на основе углеводородов, то вклад нефтегазового комплекса составит уже 42% от общей массы глобальных выбросов. Измерение выбросов ПГ, которые происходят вне прямого контроля компании, требует понимания особенностей использования конечного продукта и применения общепринятой методологии отчетности. Но реальность такова, что применяемые методологии публичной отчетности продолжают различаться между компаниями и сферы охвата, за которые компании готовы брать ответственность, также разные [7; 8].

Значительная часть выбросов нефтегазовой отрасли происходит в самой технологической цепи производства продукции, начиная с добычи и заканчивая переработкой

¹ *Energy Decarbonization: From A to Zero* // Accenture. 2020. URL: https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-135/Accenture-Decarbonizing-Energy-Full-Report-Digital-LDM.pdf#zoom=40 (дата обращения: 01.03.2023).

² *Bartels B., Markiv T. Assessing the oil&gas sector's carbon footprint. TotalEnergies, Repsol are standard setters in European IOC's transformation* // Scope ESG Analysis GmbH. 2022. 11 p. URL: https://www.scopegroup.com/dam/jcr:5066ddd6f-613a-4ab9-a032-b32b97b28bb7/Scope%20ESG_IR%20Oil%20and%20Gas%20Industry.pdf (дата обращения: 01.03.2023).

³ *The Oil and Gas Industry in Energy Transitions* // International Energy Agency. 2018. URL: <https://www.iea.org/reports/the-oil-and-gas-industry-in-energy-transitions> (дата обращения: 01.03.2023).

⁴ *The future is now: How oil and gas companies can decarbonize* // McKinsey&Company. 2020. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/the-future-is-now-how-oil-and-gas-companies-can-decarbonize> (дата обращения: 01.03.2023).

и транспортировкой продукции покупателю. Количество эмиссии ПГ, выбрасываемой при добыче и переработке углеводородов, варьируется от 45 до 200–300 кг CO₂-экв/бар на действующих проектах¹. Это подтверждает тот факт, что большой потенциал снижения углеродоемкости заложен непосредственно в процессах операционной деятельности нефтегазовых производств. В связи с этим далее будут рассмотрены основные источники выбросов ПГ по технологической цепи с ориентацией на общепринятое деление процессов нефтегазовой отрасли на три сектора: *upstream* (разведка и добыча), *midstream* (транспортировка и хранение), *downstream* (переработка, распределение и продажа).

Upstream. Добыча и в меньшей степени разведка требуют определенного количества энергии. Энергия, которую, как правило, получают из ископаемого топлива, потребляется для питания буровых установок и насосов, которые поднимают нефть и газ из-под земли или закачивают воду для поддержания необходимого давления в резервуаре, а также питания вспомогательного оборудования, используемого на производственных площадках. Наряду с выбросами от энергопотребления, большую долю в этом секторе занимают выбросы от сжигания попутного нефтяного газа (далее – ПНГ) на факелах.

Midstream. Для поддержания давления и обеспечения бесперебойного потока по нефти и газопроводам требуются насосы и нагреватели, расположенные по всему маршруту углеводородов. Наиболее распространенными источниками энергии для работы этого оборудования также являются нефть и газ. В случае морских перевозок на дальние расстояния большинство крупных перевозчиков до сих пор используют для движения мазутное топливо². Сжижение природного газа перед транспортировкой также является энергоемким про-

цессом, требующим охлаждения газа до минус 162 °С. Обычно для обеспечения энергией указанного и вспомогательных процессов используется природный газ.

Downstream. Процесс нефтепереработки в целом состоит из трех основных этапов. Первый заключается в разделении сырой нефти на различные углеводородные фракции (первичная переработка). Второй (вторичная переработка) – в преобразовании малоценных нефтепродуктов в более ценные. На третьем этапе (товарное производство и (или) гидроочистка) из продуктов нефтепереработки удаляются сера и другие нежелательные примеси. Энергоемкость нефтепереработки зависит от типа сырой нефти. Около двух третей выбросов ПГ от нефтеперерабатывающих заводов приходится на вторичную переработку и товарное производство³. Вид топлива, потребляемого на нефтеперерабатывающих заводах, также влияет на интенсивность выбросов. Помимо этого, процесс нефтепереработки сопровождается выбросами метана.

2. Анализ основных понятий по теме декарбонизации и их терминологическая систематизация

Процессы декарбонизации затрагивают все уровни управления предприятием – от корпоративного до уровня отдельных бизнес-единиц и производственных процессов. Масштабы таких процессов различны – от изменения общего портфеля бизнеса до конкретного технологического решения на производстве. В связи с этим существует большое количество подходов к пониманию процессов декарбонизации на разных уровнях, а также серьезные расхождения в употреблении терминов.

Для снижения выбросов каждая компания должна оценить перспективность альтернативных путей низкоуглеродного развития, определить, с какими сферами охвата

¹ World Energy Outlook 2018 // International Energy Agency. URL: https://iea.blob.core.windows.net/assets/77ecf96c-5f4b-4d0d-9d93-d81b938217cb/World_Energy_Outlook_2018.pdf (дата обращения: 01.03.2023).

² Ibid.

³ Ibid.

она готова работать, и в соответствии с этим сформировать уникальную низкоуглеродную стратегию. Например, для удовлетворения растущих требований к снижению углеродного следа продукции со стороны заинтересованных лиц многие нефтегазовые компании не только декарбонируют основные технологические процессы производства путем сокращения и предотвращения эмиссии ПГ на разных этапах, но и занимаются снижением углеродоемкости по сфере охвата 3, нейтрализуя негативный эффект от использования их углеродоемкой продукции методами компенсации выбросов или меняя структуру своего бизнеса уходом от производства углеводородов к более экологичным энерго-ресурсам [9].

В литературе встречаются различные варианты разделения компаний на группы в зависимости от характеристики их стратегического поведения (рис. 1). Так, исследователи *McKinsey* разделили компании на три «архетипа» по их стратегическому ответу на тренд декарбонизации¹. *E. Shojaeddini* с соавторами проанализировали изменения в распределении инвестиций крупных нефтегазовых компаний и выделили четыре «стратегии», которые компании применяют или планируют применять для сокращения выбросов ПГ, в зависимости от основных направлений инвестирования [10]. *H. Lu, L. Guo, Y. Zhang* изучили действия по переходу на низкоуглеродные технологии девяти крупнейших нефтегазовых компаний и вывели три «пути» низкоуглеродного развития [11].

Анализ первоисточников и синтезированных данных, представленных на рис. 1, позволяет сделать вывод, что перечисленные варианты стратегического поведения схожи между собой по содержанию с некоторыми исключениями. Так, в варианте *McKinsey*, в отличие от остальных, отдельно выделяется группа

«чистых низкоуглеродных компаний», которая характеризует бизнес, полностью уходящий от проектов с ископаемыми ресурсами, делая ставку на ВИЭ и низкоуглеродные энергоресурсы. То есть применительно к деятельности нефтегазовых компаний в направлении низкоуглеродного развития такие понятия, как «архетип», «стратегия» и «путь», являются схожими и определяют общее направление трансформационного процесса на стратегическом уровне, которое призвано обеспечить сокращение выбросов и устойчивое развитие бизнеса в долгосрочной перспективе.

Стратегии низкоуглеродного развития, разработанные на сегодняшний день, обычно состоят из трех основных направлений: (1) энергосбережение, (2) повышение эффективности на уровне производства и (3) замещение ископаемого топлива различными возобновляемыми и низкоуглеродными источниками энергии [12]. Данные практические направления в значительной степени согласуются с планами декарбонизации, которые разрабатывают международные организации и административные органы разных стран (рис. 2). Стоит отметить, что *U.S. DOE*², помимо обозначенных направлений, выделяет в качестве столпа декарбонизации технологии улавливания, утилизации и хранения углерода (*carbon capture, utilization and storage – CC(U)S*). На уровне Европейского союза электрификация рассматривается как основное направление именно в контексте перехода на ВИЭ [13]. МГЭИК отдельно выделяет существенное сокращение использования ископаемого топлива³. Направления в рассматриваемых источниках различаются по фокусу согласно региональной и территориальной специфике, а также в зависимости от проводимой политики и интересов авторов и прочих заинтересованных сторон.

¹ Ibid.

² *DOE Industrial Decarbonization Roadmap // U.S. Department of Energy*. URL: [https://www.energy.gov/eere/doe-industrial-decarbonization-roadmap#:~:text=The%20crosscutting%20decarbonization%20pillars%20are,%2C%20and%20storage%20\(CCUS\)](https://www.energy.gov/eere/doe-industrial-decarbonization-roadmap#:~:text=The%20crosscutting%20decarbonization%20pillars%20are,%2C%20and%20storage%20(CCUS)) (дата обращения: 01.03.2023).

³ *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change // The Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2022. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3> (дата обращения: 15.02.2023).



Источник: составлено авторами на основе данных [10; 11] и McKinsey&Company¹.

Рис. 1. Варианты стратегического поведения нефтегазовых компаний

Fig. 1. Types of oil and gas companies' strategic response



Источник: составлено авторами на основе данных IPCC², U.S. DOE³, European Commission⁴.

Рис. 2. Основные направления декарбонизации, выделяемые международными и государственными организациями

Fig. 2. The key decarbonization areas identified by international and state organizations

¹ The big choices for oil and gas in navigating the energy transition // McKinsey&Company. 2021. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/the-big-choices-for-oil-and-gas-in-navigating-the-energy-transition> (дата обращения: 01.03.2023).

² Ibid.

³ DOE Industrial Decarbonization Roadmap.

⁴ A European strategy for smart, sustainable and inclusive growth // European Commission. 2020. URL: <https://ec.europa.eu/eu2020/pdf/COMPLET%20EN%20BARROSO%20%20%20007%20-%20Europe%202020%20-%20EN%20version.pdf> (дата обращения: 01.03.2023).

Работа по выбранным направлениям осуществляется через поиск конкретных возможностей снижения углеродоемкости. Большинство научных работ по теме декарбонизации нефтегазовой отрасли направлено именно на разработку и оценку подобных решений [14]. На данном уровне авторами употребляются понятия «метод», «опция», «технология». Однако анализ литературы выявил, что использование указанных терминов зачастую происходит интуитивно, конкретные технические решения ставятся на один уровень с целыми комплексами инструментов и трансформаций. В рамках настоящего исследования понятия «опция» и «метод» признаны компонентарными, в то время как «технологии» и «техники» вынесены на уровень ниже – как способ реализации «опций».

Для целей данного исследования авторами принято смысловое разделение понятий, рассмотренное ниже.

Направление в области декарбонизации – общее направление развития, основанное на общих целях и принципах декарбонизации. Группы опций и конкретные опции должны соответствовать общим задачам и ориентирам, которые определены направлением. Направление может охватывать несколько групп опций, необходимых для достижения целей.

Группа опций – совокупность опций, которые имеют общую цель и принципы действия и направлены на решение конкретной задачи в рамках декарбонизации.

Опции – приемы и инструменты, которые доступны для внедрения и применяются в рамках группы опций для решения конкретных задач. В контексте экономико-управленческого анализа «опции декарбонизации» представляют собой различные методы, инструменты, которые могут быть использованы нефтегазовыми компаниями для сокращения выбросов ПГ и снижения их углеродного следа.

Технологии – совокупность технических решений и техник, которые позволяют реализовать опции.

Итак, предполагается, что направления и группы опций определяют общие цели и задачи декарбонизации, а конкретные опции и технологии представляют собой средства для их достижения.

3. Систематизация доступных опций декарбонизации нефтегазового бизнеса

Как было отмечено, основные выбросы ПГ в нефтегазовой отрасли происходят из-за серьезного объема использования ископаемых видов топлива на всех процессах технологической цепи, большого количества сжигания газа и утечек метана и CO₂. Существующие технологические решения направлены на последовательное уменьшение количества этих выбросов, начиная с повышения энергоэффективности для уменьшения потребления ископаемого топлива и заканчивая реализацией проектов CC(U)S для предотвращения выбросов, сократить которые не представляется возможным.

В исследованиях, посвященных декарбонизации и низкоуглеродному развитию нефтегазового бизнеса, авторы предлагают различные варианты группировки основных опций, направленных на снижение углеродного следа. Так, МЭА выделяет следующие группы¹:

- 1) энергоэффективность;
- 2) изменение поведения (например, сокращение чрезмерного или расточительного потребления энергии, оптимизация транспортного режима, повышение эффективности использования материалов);
- 3) электрификация;
- 4) ВИЭ;
- 5) водород и водородное топливо;
- 6) биоэнергетика;
- 7) CC(U)S.

В отчете исследовательской группы Сколково «Декарбонизация нефтегазовой отрасли: международный опыт и приоритеты России» авторы выделяют следующие группы методов декарбонизации:

- 1) операционные;
- 2) эффективная монетизация метана и ПНГ;

¹ Net Zero by 2050 // // International Energy Agency. 2021. URL: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (дата обращения: 01.03.2023).

3) переход на низкоуглеродные источники энергоснабжения предприятий отрасли;

4) корпоративные;

5) глубокой декарбонизации.

В целом во всех попытках группировки общими являются повышение эффективности добычи нефти и газа и производства различных видов продуктов, развитие ВИЭ в нефтегазовой отрасли и внедрение технологий CC(U)S.

На основе проведенного анализа авторы систематизировали доступные опции с ориентацией на четыре направления декарбонизации нефтегазового бизнеса:

1) совершенствование операционной деятельности;

2) переход на низкоуглеродные источники энергии;

3) работа с попутными компонентами и отходами производства;

4) применение способов корпоративного управления.

Дальнейшая детализация опций и технологий осуществлялась в рамках перечисленных направлений.

Под выражением «систематизация доступных опций декарбонизации» подразумевается процесс организации и классификации доступных опций декарбонизации нефтегазового бизнеса. Он включает анализ и упорядочивание различных опций, технологий и техник снижения выбросов ПГ. Предлагаемая систематизация представляет собой универсальный подход, охватывающий доступные опции декарбонизации нефтегазового бизнеса, применимые не только к российским, но и к зарубежным нефтегазовым компаниям. Результаты представлены в табл. 1.

При движении к углеродной нейтральности компании ориентируются не только на декарбонизацию, которая в общем виде представляет собой действия, направленные на уменьшение выбросов ПГ [25], но и на другие направления низкоуглеродной деятельности, такие как компенсация выбросов. В связи с тем, что компенсационные опции не могут рассматриваться как опции декарбонизации, но доступны не-

фтегазовому бизнесу и активно применяются им для сокращения углеродного следа компании, данное направление отдельно представлено в табл. 2.

В практике существует смешение понятий, приводящее к тому, что компенсационные меры также относят к мерам декарбонизации. Однако важно, что концепция углеродной нейтральности в качестве основной включает в себе идею остановить рост концентрации ПГ в атмосфере за счет уравнивания массы эмиссии с массой поглощения ПГ [29]. Таким образом, в рамках данной концепции декарбонизация деятельности может рассматриваться как одно из главных направлений достижения углеродной нейтральности наравне с компенсацией выбросов за счет естественных и искусственных поглотителей [28].

4. Опции декарбонизации нефтегазового бизнеса: возможности применения по стадиям производства и сферам охвата

Поскольку в каждом секторе нефтегазовой отрасли есть свои источники выбросов ПГ, для каждого сектора приемлемы свои технологические и технические решения, направленные на уменьшение эмиссии ПГ. Представленная система опций декарбонизации позволила авторам распределить рассмотренные опции по сферам охвата и стадиям технологического цикла (табл. 3).

Данная система рассматривалась авторами только применительно к технологическим процессам нефтегазового бизнеса и с точки зрения нефтегазовых компаний, тогда как, например, технологии улавливания и захоронения CO₂ зачастую подразумевают участие и других компаний, для которых определение сфер охвата будет отличаться. Допущением исследования является предположение, что реализация опции декарбонизации на разных стадиях с последующим снижением выбросов по сферам охвата происходит независимо друг от друга. Вместе с тем внедрение опций декарбонизации для снижения выбросов по одной сфере охвата в некоторых случаях может привести к росту выбросов в другой сфере, но в работе это влияние не учитывалось.

Табл. 1. Систематизация опций декарбонизации нефтегазового бизнеса
Table 1. Systematization of decarbonization options for oil and gas business

Группа опций	Опция	Пример внедряемых технологий и техник
Как происходит сокращение?	Какие опции доступны для нефтегазового бизнеса?	Каким образом реализовать?
Совершенствование операционной деятельности		
Повышение эффективности производственных процессов	Цифровизация технологических и управленческих процессов	Оборудование производственных процессов системами автоматизированного сбора данных, оперативный сбор, обработка и принятие оптимизационных решений на основании результатов консолидации данных. Технологии цифровых близнецов. Технологии блокчейн, искусственного интеллекта, Интернет вещей
Повышение эффективности производственных процессов	Оптимизация работы технологического оборудования	Минимизация времени работы на холостом ходу. Повышение точности прогнозов погрешления топлива
	Оптимизация процессов освоения, закачивания, ремонта скважин и иного оборудования	Установки рекуперации паров. Изменение работы скважины так, чтобы не требовалось регулярное проведение процедуры продувки
	Оптимизация логистических операций	Информационные системы для интегрированного планирования цепочек поставок. Использование дистанционного формата исполнения служебных обязанностей и минимизация перемещения сотрудников
	Внедрение современных подходов к управлению производством	Визуальное управление. Быстрая переналадка оборудования (SMED). Картирование потока создания ценности. Система 5S
Повышение энергоэффективности	Модернизация и увеличение доли энергоэффективного оборудования	Повышение класса энергопотребления. Использование видов транспорта с меньшим расходом топлива
	Когенерация энергии и рекуперация отработанного тепла	Производство пара с последующим прохождением его через турбину для выработки электроэнергии перед распределением по скважинам. Выработка электроэнергии с рекуперацией отработанного тепла для выработки пара. Тепловой насос для преобразования низкотемпературного отработанного тепла. Органический цикл Ренкина для преобразования тепла в электричество
Сокращение летучих выбросов	Совершенствование системы обнаружения и предотвращения утечек	Профилактическое обслуживание оборудования и объектов инфраструктуры. Ликвидации неплотностей, негерметичностей. Замена запорно-регулирующего оборудования. Системы дистанционной диагностики
	Повышение износоустойчивости оборудования и объектов инфраструктуры	Системы сбора и удаления отходящих газов. Двойные механические уплотнения на насосах. Сухие газовые уплотнения на компрессорах и комплекты углеродных уплотнительных колец на штоках. Клапанов. Системы автоматического измерения в резервуарах
Переход на низкоуглеродные источники энергии		
Электрификация оборудования и производственных объектов	Замена традиционных видов топлива на электроэнергию для обеспечения работы оборудования и производственных объектов	Перевод компрессорных станций с питания газом на электроэнергию. Замена газовых турбин для выработки тепла электрическими котлами

Продолжение табл. 1

Группа опций	Опция	Пример внедряемых технологий и техник
Как происходит сокращение?	Какие опции доступны для нефтегазового бизнеса?	Каким образом реализовать?
Интеграция низкоуглеродных видов топлива	<p>Внедрение и масштабирование ВИЭ (в том числе технологий хранения энергии)</p> <p>Снижение углеродоемкости используемых видов топлива</p> <p>Переход на более низкоуглеродное сырье</p>	<p>Использование ветрогенераторов для энергообеспечения процессов добычи. Комбинирование использования солнечной энергии и газа. Использование геотермальной энергии для отопления объектов. Преобразование избыточной возобновляемой энергии в H₂ для хранения</p> <p>Замена оборудования, работающего на высокоуглеродных топливах (нефтяном коксе, мазуте, сырой нефти, дизельном топливе), оборудованием, работающим на природном газе. Использование низкоуглеродного H₂ в качестве топлива для газовых турбин (смешение с природным газом)</p> <p>Использование биотоплива (например, биодизеля) в качестве сырья для нефтеперерабатывающих заводов в нефтегазовой отрасли. Использование низкоуглеродного H₂ в химических процессах и процессах нефтепереработки. Переход от бензина и дизеля к газомоторному топливу</p>
Работа с попутными компонентами и отходами производства		
Утилизация попутного нефтяного газа	<p>Применение методов переработки ПНГ для производства продукции</p> <p>Сокращение сжигания ПНГ и использование для собственных нужд</p>	<p>GTL-технология по переводу газа в жидкое состояние, переработка ПНГ в продукцию газохимии. Технология Фишера-Тропша</p>
Улавливание, использование и захоронение CO ₂	<p>Улавливание и захоронение CO₂</p> <p>Улавливание и использование CO₂</p>	<p>Использование газа на объектах генерации для выработки электроэнергии и тепла</p> <p>Улавливание на различных этапах производства и закачка в истощенные нефтегазовые пласты, водоносные горизонты, соляные куполы и другие герметичные хранилища</p> <p>Улавливание на различных этапах производства и получение на основе CO₂ синтетического метана, синтетического метанола и других синтетических жидких топлив</p>
Совершенствование обращения с отходами и шламами	<p>Изменение методов утилизации промышленных отходов</p> <p>Сокращение влияния отходов производства на окружающую среду</p>	<p>Изменение термических методов утилизации промышленных отходов (сжигание) на физико-химические (повторное использование, переработка, использование в качестве строительных материалов, возврат в технологический процесс)</p> <p>Минимизация объемов сточных вод. Минимизация объемов размещения (удаления) нефтесодержащих отходов. Сокращение содержания нефтесодержащих соединений в массе размещаемых отходов. Сокращение срока накопления, хранения отходов на объектах размещения отходов</p>
Применение способов корпоративного управления		
Оптимизация портфеля активов и взаимоотношений с поставщиками и подрядчиками	<p>Дивестиции</p> <p>Формирование взаимоотношений с ответственными поставщиками и подрядчиками</p>	<p>Отказ от высокоуглеродных активов в составе группы компаний</p> <p>Использование новых подходов к ведению тендерных процедур, вводящих дополнительные требования к поставщикам по углеродному следу их продукции и услуг</p>
<p><i>Источник:</i> составлено авторами по: [6; 15–24]; <i>Сокращение выбросов метана: руководство по передовому опыту</i> // Methane Guiding Principles. 2019. URL: https://methaneguidingprinciples.org/wp-content/uploads/2020/12/Reducing-Methane-Emissions-Venting-Guide_RU.pdf (дата обращения: 01.02.2023); <i>Декарбонизация нефтегазовой отрасли: международный опыт и приоритеты России; The future is now: How oil and gas companies can decarbonize; Определение и оценка возможностей сокращения выбросов парниковых газов и повышения операционной эффективности нефтегазовых объектов</i> // Global Methane Initiatives. 2020. URL: https://www.ccacoalition.org/en/file/7026/download?token=SeGascQG (дата обращения: 20.02.2023).</p>		

Табл. 2. Примеры компенсационных опций, доступных нефтегазовым компаниям
Table 2. Examples of compensation options available to oil and gas companies

Опция	Пример реализации опции
Инвестиции в технологии и активы возобновляемой энергетики	Сооружение ветропарка и ввод его в коммерческую эксплуатацию. Разработка технологий использования геотермальной энергии
Инвестиции в разработку и производство энергоносителей с низкой углеродоемкостью	Производство биометана, биодизеля, устойчивого авиационного топлива (SAF)
Инвестиции в регенеративные проекты землепользования и лесовосстановления	Проекты по искусственному лесовосстановлению и предотвращению лесных пожаров. Проекты по внедрению углерод-аккумулирующих технологий для увеличения поглотительных способностей почвы
Участие в углеродном рынке	Сертификаты CBAM для снижения углеродного следа продукта. Методика Clean Development Mechanism (механизм чистого развития). Покупка углеродных единиц для сокращения углеродного следа продукции. Покупка зеленых сертификатов

Источник: составлено авторами по: [26–28].

Табл. 3. Распределение опций декарбонизации по стадиям производства и по сферам охвата
Table 3. Distribution of decarbonization options by production stages and by scope

Опция	Стадия технологического цикла								
	upstream			midstream			downstream		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Совершенствование операционной деятельности									
1. Цифровизация технологических и управленческих процессов	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2. Оптимизация работы технологического оборудования	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3. Оптимизация процессов освоения, заканчивания, ремонта скважин и иного оборудования	X	X	X						
4. Оптимизация логистических операций	X	X	X	X			X	X	X
5. Внедрение современных подходов к управлению производством	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6. Модернизация и увеличение доли энергоэффективного оборудования	X	X		X	X		X	X	
7. Когенерация энергии и рекуперация отработанного тепла	X	X		X	X		X	X	
8. Совершенствование системы обнаружения и предотвращения утечек	X			X			X		
9. Повышение износостойкости оборудования и объектов инфраструктуры	X		X	X		X	X		X
Переход на низкоуглеродные источники энергии									
10. Замена традиционных видов топлива на электроэнергию для обеспечения работы оборудования и производственных объектов	X			X			X		
11. Внедрение и масштабирование ВИЭ (в том числе технологий хранения энергии)		X			X			X	
12. Снижение углеродоемкости используемых видов топлива	X			X			X		
13. Переход на более низкоуглеродное сырье									X
Работа с попутными компонентами и отходами производства									
14. Применение методов переработки ПНГ для производства продукции	X								
15. Сокращение сжигания ПНГ и использование в качестве сырья для производства электроэнергии для собственных нужд	X	X							
16. Улавливание и захоронение CO ₂	X			X			X		
17. Улавливание и использование CO ₂	X			X			X		
18. Изменение методов утилизации промышленных отходов	X			X			X		
19. Сокращение влияния отходов производства на окружающую среду	X			X			X		
Применение способов корпоративного управления									
20. Дивестиции	X	X	X	X	X	X	X	X	X
21. Формирование взаимоотношений с ответственными поставщиками и подрядчиками		X	X		X	X		X	X

Источник: составлено авторами по: [6; 30; 31].

Можно выявить некоторые общие наблюдения по проведенному распределению.

Декарбонизация через совершенствование операционной деятельности является эффективным направлением для снижения выбросов ПГ во всех трех сферах охвата и на всех стадиях технологического цикла. Операционная деятельность относится к процессам, связанным с производством, транспортировкой, использованием и утилизацией продуктов и услуг: именно здесь может быть найдено множество возможностей для снижения выбросов ПГ.

Переход на низкоуглеродные источники энергии способен оказать значительное влияние на снижение выбросов ПГ в сферах охвата 1 и 2. Однако такой переход может потребовать значительных инвестиций и технологических изменений, что может стать определенным вызовом для компаний. При невозможности проведения таких кардинальных изменений допустимыми альтернативами являются анализ и возможное сокращение энергопотребления, а также подбор добросовестных поставщиков.

Направление «работа с попутными компонентами и отходами производства» относится в большей степени к прямым выбросам ПГ, поэтому затрагивает сферу охвата 1.

Совершенствование деятельности на уровне корпоративного управления может быть эффективным инструментом декарбонизации компаний во всех сферах охвата и на всех стадиях технологического цикла.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Активное внедрение опций декарбонизации нефтегазовыми компаниями объясняется сегодня необходимостью не только поддержания имиджа, но и повышения рентабельности бизнеса. Затратная часть проектов по разработке месторождений ископаемых нефти и газа продолжает увеличиваться, доля добычи

трудноизвлекаемых запасов постоянно растет. Сложность добычи влияет как на затраты на ее производство, так и на количество выбросов, приходящихся на единицу продукции. Высокая углеродоемкость сказывается также на финансовой составляющей нефтегазовых проектов через степень заинтересованности инвесторов. Низкая доходность, изъятие фондов из экологических соображений и растущие альтернативные инвестиции сужают доступ к капиталу в нефтегазовом секторе. В дополнение к этим проблемам планируемые углеводородные проекты все чаще учитывают ценообразование на выбросы CO₂¹. Итак, в дальнейшем конкурентоспособность нефтегазового портфеля будет определяться не только ценой безубыточности производства, но и воздействием на окружающую среду выбросов по сферам охвата 1 и 2, поскольку более высокие цены на выбросы будут учитываться в экономике проектов. Внедрение низкоуглеродных опций по всей цепочке создания стоимости в таких условиях становится обязательным для обеспечения жизнеспособности проектов.

Для нефтегазовых компаний реализация опций декарбонизации и низкоуглеродных инициатив может представлять собой естественное расширение основных возможностей, однако до сих пор остается неясным, может ли это стать бизнесом, который будет приносить прибыль. Повсеместным является внедрение решений, направленных на повышение операционной и энергетической эффективности бизнеса, как первый и обязательный этап декарбонизации; набирает популярность реализация проектов CC(U)S. Сохраняется общий тренд увеличения приверженности газу как более экологичному углеводороду.

Представленный в работе анализ основных понятий в области декарбонизации помогает использовать единообразную терминологию, что упрощает обмен и наращивание знаний в данной области. Кроме того, он

¹ Energy Decarbonization: From A to Zero // Accenture. 2020. URL: https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-135/Accenture-Decarbonizing-Energy-Full-Report-Digital-LDM.pdf#zoom=40 (дата обращения: 01.03.2023).

позволяет уточнить используемую терминологию в представленной систематизации опций декарбонизации иерархического характера.

Для эффективного управления углеродоемкостью продукции важно понимать весь набор доступных опций декарбонизации. Предлагаемая в работе систематизация может быть полезна как ученым, так и представителям бизнеса для комплексного анализа доступных мер декарбонизации, формирования и управления портфелем низкоуглеродных инициатив.

Систематизация опций декарбонизации позволяет упорядочить разнообразные подходы к снижению выбросов ПГ в нефтегазовом бизнесе. Она помогает исследователям и управленцам получить ясное представление о различных возможностях, а также обеспечивает структурированную основу для принятия решений по вопросам декарбонизации, формирования и управления портфелем низкоуглеродных инициатив.

Формат предлагаемой таблицы матричного типа по распределению опций декарбонизации по стадиям цикла и сферам охвата позволяет провести анализ между источниками выбросов, массой выбросов (в динамике) и планируемыми (внедряемыми) опциями декарбонизации. Такая форма представления информации и анализа может быть доработана под индивидуальные потребности отдельных компаний и использована как средство визуализации в решении задач по декарбонизации, а также в качестве инструмента для принятия решений в этой области.

Дальнейшие исследования авторов будут направлены на сравнительный анализ эколого-экономической эффективности внедрения опций декарбонизации нефтегазовым бизнесом, а также на оценку влияния проводимой деятельности по декарбонизации на устойчивость бизнеса в условиях глобальных вызовов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ильинский А. А., Калинина О. В., Хасанов М. М., Афанасьев М. В., Саитова А. А. Декарбонизация нефтегазового комплекса: приоритеты и организационные модели развития // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2022. Т. 25, № 1 (75). С. 33–46. DOI 10.37614/2220-802X.1.2022.75.003. EDN WOEZOW.
2. Холодионова А. С., Кулик А. А. Основные аспекты декарбонизации нефтегазовой отрасли России // Экспозиция Нефть Газ. 2022. № 7. С. 102–106. DOI 10.24412/2076-6785-2022-7-102-106. EDN KYSPKT.
3. Телегина Е. А., Чапайкин Д. А. Направления энергетического перехода в политике глобальных нефтегазовых компаний // Проблемы прогнозирования. 2022. № 5 (194). С. 129–138. DOI 10.47711/0868-6351-194-129-138. EDN JSZOJA.
4. Архипова У. А. Декарбонизация как главный тренд ESC-трансформации газовой отрасли: опыт «ЯМАЛ СПГ» // Хроноэкономика. 2022. № 2 (36). С. 6–10. EDN RVSEJL.
5. Comyns B. Determinants of GHG Reporting: An Analysis of Global Oil and Gas Companies // Journal of Business Ethics. 2016. Vol. 136. P. 349–369. DOI 10.1007/s10551-014-2517-9.

REFERENCES

1. Ilyinskii A. A., Kalinina O. V., Khasanov M. M., Afanasiev M. V., Saitova A. A. Decarbonization of the oil and gas complex: Priorities and organizational models of development. *Sever i rynek: formirovanie ekonomicheskogo poriyadka* = The North and The Market: Forming the Economic Order, 2022, vol. 25, no. 1 (75), pp. 33–46. (In Russian). DOI 10.37614/2220-802X.1.2022.75.003. EDN WOEZOW.
2. Kholodionova A. S., Kulik A. A. Key decarbonization aspects of Russian petroleum industry. *Ekspozitsiya Neft' Gaz* = Exposition Oil Gas, 2022, no. 7, pp. 102–106. (In Russian). DOI 10.24412/2076-6785-2022-7-102-106. EDN KYSPKT.
3. Telegina E. A., Chapaikin D. A. Directions of the energy transition in the policy of global oil and gas companies. *Problemy prognozirovaniya* = Problems of Forecasting, 2022, no. 5 (194), pp. 129–138. (In Russian). DOI 10.47711/0868-6351-194-129-138. EDN JSZOJA.
4. Arkhipova U. A. Decarbonization as the main ESC-transformation trend of the gas industry: Experience of Yamal LNG. *Khronoekonomika* = HronoEconomics, 2022, no. 2 (36), pp. 6–10. (In Russian). EDN RVSEJL.
5. Comyns B. Determinants of GHG Reporting: An Analysis of Global Oil and Gas Companies. *Journal of Business Ethics*, 2016, vol. 136, pp. 349–369. DOI 10.1007/s10551-014-2517-9.

6. Шевелева Н. А. Направления и методы декарбонизации нефтегазового сектора // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2023. Т. 2, № 311. С. 25–31. DOI 10.33285/2411-7013-2023-2(311)-25-31. EDN BOZSXV.

7. Kenner D., Heede R. White knights, or horsemen of the apocalypse? Prospects for Big Oil to align emissions with a 1.5°C pathway // *Energy Research & Social Science*. 2021. Vol. 79. Article 102049. DOI 10.1016/j.erss.2021.102049.

8. Green J., Hadden J., Hale T., Mahdavi P. Transition, hedge, or resist? Understanding political and economic behavior toward decarbonization in the oil and gas industry // *Review of International Political Economy*. 2022. Vol. 29, iss. 6. P. 2036–2063. DOI 10.1080/09692290.2021.1946708.

9. Cherepovitsyn A., Rutenko E. Strategic Planning of Oil and Gas Companies: The Decarbonization Transition // *Energies*. 2022. Vol. 15, no. 17. Article 6163. DOI 10.3390/en15176163.

10. Shojaeddini E., Naimoli S., Ladislav S., Bazilian M. Oil and gas company strategies regarding the energy transition // *Progress in Energy*. Vol. 1, iss. 1. Article 012001. DOI 10.1088/2516-1083/ab2503.

11. Lu H., Guo L., Zhang Y. Oil and gas companies' low-carbon emission transition to integrated energy companies // *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 686. P. 1202–1209. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.06.014.

12. Kabeyi M. J. B., Olanrewaju O. A. Sustainable energy transition for renewable and low carbon grid electricity generation and supply // *Frontiers in Energy Research*. 2022. Vol. 9. Article 743114. DOI 10.3389/fenrg.2021.743114.

13. Martins F., Moura P., de Almeida A. T. The Role of Electrification in the Decarbonization of the Energy Sector in Portugal // *Energies*. 2022. Vol. 15, no. 5. Article 1759. DOI 10.3390/en15051759.

14. Wimbadi R. W., Djalante R. From decarbonization to low carbon development and transition: A systematic literature review of the conceptualization of moving toward net-zero carbon dioxide emission (1995–2019) // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 256. Article 120307. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.120307.

15. Саматова Т. Б. Бережливая нефтепереработка как область развития бережливого производства // *Московский экономический журнал*. 2021. № 7. Ст. 10400. DOI 10.24412/2413-046X-2021-10400.

6. Sheveleva N. A. Decarbonization strategies and methods for oil and gas sector. *Zashchita okruzhayushchei sredy v neftegazovom komplekse* = Environmental Protection in Oil and Gas Complex, 2023, vol. 2, no. 311, pp. 25–31. (In Russian). DOI 10.33285/2411-7013-2023-2(311)-25-31. EDN BOZSXV.

7. Kenner D., Heede R. White knights, or horsemen of the apocalypse? Prospects for Big Oil to align emissions with a 1.5°C pathway. *Energy Research & Social Science*, 2021, vol. 79, Article 102049. DOI 10.1016/j.erss.2021.102049.

8. Green J., Hadden J., Hale T., Mahdavi P. Transition, hedge, or resist? Understanding political and economic behavior toward decarbonization in the oil and gas industry. *Review of International Political Economy*, 2022, vol. 29, iss. 6, pp. 2036–2063. DOI 10.1080/09692290.2021.1946708.

9. Cherepovitsyn A., Rutenko E. Strategic Planning of Oil and Gas Companies: The Decarbonization Transition. *Energies*, 2022, vol. 15, no. 17, Article 6163. DOI 10.3390/en15176163.

10. Shojaeddini E., Naimoli S., Ladislav S., Bazilian M. Oil and gas company strategies regarding the energy transition. *Progress in Energy*, vol. 1, iss. 1, Article 012001. DOI 10.1088/2516-1083/ab2503.

11. Lu H., Guo L., Zhang Y. Oil and gas companies' low-carbon emission transition to integrated energy companies. *Science of The Total Environment*, 2019, vol. 686, pp. 1202–1209. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.06.014.

12. Kabeyi M. J. B., Olanrewaju O. A. Sustainable energy transition for renewable and low carbon grid electricity generation and supply. *Frontiers in Energy Research*, 2022, vol. 9, Article 743114. DOI 10.3389/fenrg.2021.743114.

13. Martins F., Moura P., de Almeida A. T. The Role of Electrification in the Decarbonization of the Energy Sector in Portugal. *Energies*, 2022, vol. 15, no. 5, Article 1759. DOI 10.3390/en15051759.

14. Wimbadi R. W., Djalante R. From decarbonization to low carbon development and transition: A systematic literature review of the conceptualization of moving toward net-zero carbon dioxide emission (1995–2019). *Journal of Cleaner Production*, 2020, vol. 256, Article 120307. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.120307.

15. Samatova T. B. Lean oil refining as an area of lean production development. *Moskovskii ekonomicheskii zhurnal* = Moscow Economic Journal, 2021, no. 7, Article 10400. (In Russian). DOI 10.24412/2413-046X-2021-10400.

16. Gangar N., Macchietto S., Markides C. N. Recovery and utilization of low-grade waste heat in the oil-refining industry using heat engines and heat pumps: An international technoeconomic comparison // *Energies*. 2020. Vol. 13, no. 10. Article 2560. DOI 10.3390/en13102560.
17. Matos C. R., Carneiro J. F., Silva P. P. Overview of large-scale underground energy storage technologies for integration of renewable energies and criteria for reservoir identification // *Journal of Energy Storage*. 2019. Vol. 21. P. 241–258. DOI 10.1016/j.est.2018.11.023.
18. Khorasani M., Sarker S., Kabir G., Ali S. M. Evaluating strategies to decarbonize oil and gas supply chain: Implications for energy policies in emerging economies // *Energy*. 2022. Vol. 258. Article 124805. DOI 10.1016/j.energy.2022.124805.
19. Рядинская А. П., Череповицына А. А. Утилизация попутного нефтяного газа в России: методы и перспективы производства продуктов газохимии // *Север и рынок: формирование экономического порядка*. 2022. Т. 25, № 2. С. 19–34. DOI 10.37614/2220-802X.2.2022.76.002. EDN PPTTXQ.
20. Афанасьев С. В., Кравцова М. В., Паус М. А., Носрев Н. С. Анализ методов переработки нефтешламов. Проблемы и решения // *Инновации и «зеленые» технологии: сб. материалов и докл. II Всерос. науч.-практ. конф. (Тольятти, 19 апреля 2019 г.)*. Самара: СНЦ РАН, 2019. С. 22–27.
21. Alsudani F. T. et al. Fisher–Tropsch Synthesis for Conversion of Methane into Liquid Hydrocarbons through Gas-to-Liquids (GTL) Process: A Review // *Methane*. 2023. Vol. 2, no. 1. P. 24–43. DOI 10.3390/methane2010002.
22. Kawai E., Ozawa A., Leibowicz B. D. Role of carbon capture and utilization (CCU) for decarbonization of industrial sector: A case study of Japan // *Applied Energy*. 2022. Vol. 328. Article 120183. DOI 10.1016/j.apenergy.2022.120183.
23. Hannan M. A., Faisal M., Pin Jern Ker, Begum R. A., Dong Z. Y., Zhang C. Review of optimal methods and algorithms for sizing energy storage systems to achieve decarbonization in microgrid applications // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020. Vol. 131. Article 110022. DOI 10.1016/j.rser.2020.110022.
24. Maestre V. M., Ortiz A., Ortiz I. Challenges and prospects of renewable hydrogen-based strategies for full decarbonization of stationary power applications // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. Vol. 152. Article 111628. DOI 10.1016/j.rser.2021.111628.
16. Gangar N., Macchietto S., Markides C. N. Recovery and utilization of low-grade waste heat in the oil-refining industry using heat engines and heat pumps: An international technoeconomic comparison. *Energies*, 2020, vol. 13, no. 10, Article 2560. DOI 10.3390/en13102560.
17. Matos C. R., Carneiro J. F., Silva P. P. Overview of large-scale underground energy storage technologies for integration of renewable energies and criteria for reservoir identification. *Journal of Energy Storage*, 2019, vol. 21, pp. 241–258. DOI 10.1016/j.est.2018.11.023.
18. Khorasani M., Sarker S., Kabir G., Ali S. M. Evaluating strategies to decarbonize oil and gas supply chain: Implications for energy policies in emerging economies. *Energy*, 2022, vol. 258, Article 124805. DOI 10.1016/j.energy.2022.124805.
19. Riadinskaia A. P., Cherepovitsyna A. A. Utilization of associate petroleum gas in Russia: Methods and prospects for the production of gas chemistry products. *Sever i rynek: formirovanie ekonomicheskogo poriyadka = The North and The Market: Forming the Economic Order*, 2022, vol. 25, no. 2, pp. 19–34. (In Russian). DOI 10.37614/2220-802X.2.2022.76.002. EDN PPTTXQ.
20. Afanas'ev S. V., Kravtsova M. V., Pais M. A., Nosrev N. S. Analiz metodov pererabotka nefteshlamov. Problemy i resheniya. *Innovatsii i «zelenye» tekhnologii*, 2019, Samara, SNC RAN, pp. 22–27. (In Russian).
21. Alsudani F. T. et al. Fisher–Tropsch synthesis for conversion of methane into liquid hydrocarbons through gas-to-liquids (GTL) process: A review. *Methane*, 2023, vol. 2, no. 1, pp. 24–43. DOI 10.3390/methane2010002.
22. Kawai E., Ozawa A., Leibowicz B. D. Role of carbon capture and utilization (CCU) for decarbonization of industrial sector: A case study of Japan. *Applied Energy*, 2022, vol. 328, Article 120183. DOI 10.1016/j.apenergy.2022.120183.
23. Hannan M. A., Faisal M., Pin Jern Ker, Begum R. A., Dong Z. Y., Zhang C. Review of optimal methods and algorithms for sizing energy storage systems to achieve decarbonization in microgrid applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020, vol. 131, Article 110022. DOI 10.1016/j.rser.2020.110022.
24. Maestre V. M., Ortiz A., Ortiz I. Challenges and prospects of renewable hydrogen-based strategies for full decarbonization of stationary power applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, vol. 152, Article 111628. DOI 10.1016/j.rser.2021.111628.

25. Misztal A., Kowalska M., Fajczak-Kowalska A., Strunecky O. Energy Efficiency and Decarbonization in the Context of Macroeconomic Stabilization // *Energies*. 2021. Vol. 14, no. 16. Article 5197. DOI 10.3390/en14165197.

26. Столбовой В. С. Регенеративное земледелие и смягчение изменений климата // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34, № 7. С. 19–26. DOI 10.24411/0235-2451-2020-10703. EDN HOCVJH.

27. Стройков Г. А., Череповицын А. Е., Ромашева Н. В., Кузнецова Е. А., Подольянец Л. А. Текущее состояние и перспективы развития углеродного регулирования в России // *Экономика и предпринимательство*. 2022. № 10 (147). С. 295–303. DOI 10.34925/EIP.2022.147.10.054. EDN GVTMEY.

28. Matemilola S., Salami H. A. Net Zero Emission // Idowu S., Schmidpeter R., Capaldi N., Zu L., Del Baldo M., Abreu R. (eds) *Encyclopedia of Sustainable Management*. Springer, Cham, 2020. P. 1–6. DOI 10.1007/978-3-030-02006-4_512-1.

29. Chen J. M. Carbon neutrality: Toward a sustainable future // *The Innovation*. 2021. Vol. 2, iss. 3. Article 100127. DOI 10.1016/j.xinn.2021.100127.

30. Sun P., Cappello V., Elgowainy A., Vyawahare P., Ma O., Podkaminer K., Rustagi N., Koleva M., Melaina M. An Analysis of the Potential and Cost of the U.S. Refinery Sector Decarbonization // *Environmental Science & Technology*. 2023. Vol. 57, no. 3. P. 1411–1424. DOI 10.1021/acs.est.2c07440.

31. Holmes K. J., Zeitler E., Kerxhalli-Kleinfield M., DeBoer R. Scaling deep decarbonization technologies // *Earth's Future*. 2021. Vol. 9, iss. 11. e2021EF002399. DOI 10.1029/2021EF002399.

25. Misztal A., Kowalska M., Fajczak-Kowalska A., Strunecky O. Energy Efficiency and Decarbonization in the Context of Macroeconomic Stabilization. *Energies*, 2021, vol. 14, no. 16, Article 5197. DOI 10.3390/en14165197.

26. Stolbovoy V. S. Regenerative agriculture and climate change mitigation. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and technology of AIC*, 2020, vol. 34, no. 7, pp. 19–26. (In Russian). DOI 10.24411/0235-2451-2020-10703. EDN HOCVJH.

27. Stroikov G. A., Cherepovitsyn A. E., Romasheva N. V., Kuznetsova E. A., Podolyanets L. A. Tekushchee sostoyanie i perspektivy razvitiya uglerodnogo regulirovaniya v Rossii. *Ekonomika i predprinimatel'stvo = Journal of Economy and Entrepreneurship*, 2022, no. 10 (147), pp. 295–303. (In Russian). DOI 10.34925/EIP.2022.147.10.054. EDN GVTMEY.

28. Matemilola S., Salami H. A. Net Zero Emission. *Encyclopedia of Sustainable Management*, 2020, pp. 1–6. DOI 10.1007/978-3-030-02006-4_512-1.

29. Chen J. M. Carbon neutrality: Toward a sustainable future. *The Innovation*, 2021, vol. 2, iss. 3, Article 100127. DOI 10.1016/j.xinn.2021.100127.

30. Sun P., Cappello V., Elgowainy A., Vyawahare P., Ma O., Podkaminer K., Rustagi N., Koleva M., Melaina M. An Analysis of the Potential and Cost of the U.S. Refinery Sector Decarbonization. *Environmental Science & Technology*, 2023, vol. 57, no. 3, pp. 1411–1424. DOI 10.1021/acs.est.2c07440.

31. Holmes K. J., Zeitler E., Kerxhalli-Kleinfield M., DeBoer R. Scaling deep decarbonization technologies. *Earth's Future*, 2021, vol. 9, iss. 11, e2021EF002399. DOI 10.1029/2021EF002399.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Екатерина Александровна Кузнецова – стажер-исследователь, Институт экономических проблем имени Г. П. Лузина Кольского научного центра Российской академии наук (Россия, 184209, г. Апатиты, ул. Ферсмана, д. 24а); katia11911@gmail.com

Арина Павловна Рядинская – стажер-исследователь, Институт экономических проблем имени Г. П. Лузина Кольского научного центра Российской академии наук (Россия, 184209, г. Апатиты, ул. Ферсмана, д. 24а); arina_german@mail.ru

Алина Александровна Череповицына – кандидат экономических наук, доцент, заведующий лабораторией, старший научный сотрудник, Институт экономических проблем имени Г. П. Лузина Кольского научного центра Российской академии наук (Россия, 184209, г. Апатиты, ул. Ферсмана, д. 24а); iljinovaaa@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ekaterina Aleksandrovna Kuznetsova – Junior Researcher, Luzin Institute for Economic Studies – Subdivision of the Federal Research Centre Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences (24a, Fersmana st., Apatity, 184209, Russia); katia11911@gmail.com

Arina Pavlovna Riadinskaia – Junior Researcher, Luzin Institute for Economic Studies – Subdivision of the Federal Research Centre Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences (24a, Fersmana st., Apatity, 184209, Russia); arina_german@mail.ru

Alina Aleksandrovna Cherepovitsyna – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory, Senior researcher, Luzin Institute for Economic Studies – Subdivision of the Federal Research Centre Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences (24a, Fersmana st., Apatity, 184209, Russia); iljinovaaa@mail.ru