



**Череповицына А.А.**

**Cherepovitsyna A.A.**

*кандидат экономических наук, доцент, заведующий лабораторией, старший научный сотрудник, Институт экономических проблем им. Г.П. Лузина Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация; главный научный сотрудник, Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики», г. Мытищи, Российская Федерация*

УДК 338.45:622.69(470+571)

DOI: 10.17122/2541-8904-2025-1-51-40-48

## УЛАВЛИВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА: ЭКОНОМИКА ПРОЕКТОВ В УСЛОВИЯХ РОССИИ

**Аннотация.** Цель исследования заключается в оценке общих перспектив внедрения технологий улавливания и хранения углекислого газа (УХУ) в промышленном секторе России с экономической оценкой реализации проекта по улавливанию CO<sub>2</sub> и его использованию для увеличения нефтеотдачи пластов. Определены возможные перспективные направления развития таких проектов в России. Смоделирована технологическая цепочка УХУ с улавливанием CO<sub>2</sub> на двух источниках выбросов, его транспортировкой и закачкой в пласт для увеличения нефтеотдачи; проведена экономическая оценка эффективности ее функционирования. Расчёты показали, что проект является убыточным. Предложены варианты обеспечения его окупаемости. Определены наиболее целесообразные к применению меры государственного регулирования и поддержки таких проектов – налог на выбросы парниковых газов и мера-аналог налоговой льготы 45Q, применяемой в США. Установлено, что возможная экономия на налоге на выбросы не позволит стать проекту окупаемым, тогда как мера 45Q значительно улучшает экономические показатели проекта, однако требует значительных затрат со стороны государства. Сделан вывод о необходимости комплексного развития государственной политики низкоуглеродного развития. Результаты исследования могут служить ориентиром при планировании реализации технологических цепочек УХУ в России, а также при разработке системы мер государственной поддержки таких инициатив. Исследование выполнено с применением методов анализа и синтеза, обобщения и декомпозиции, методов концептуального и сценарного моделирования и основывается на классических подходах к экономической оценке эффективности инвестиционных проектов.

**Ключевые слова:** улавливание и хранение, улавливание и использование, углекислый газ, повышение нефтеотдачи, закачка в пласт, промышленность, технологические цепочки, государственная поддержка.

## CARBON DIOXIDE CAPTURE AND UTILIZATION: ECONOMICS OF PROJECTS IN RUSSIA

**Abstract.** The purpose of the study is to assess the general prospects for the carbon dioxide capture and storage (CCS) technologies implementation in the industrial sector of Russia with economic evaluation of the CO<sub>2</sub> capture project realization and its use for enhanced oil recovery. Possible prospects for the development of such projects in Russia have been identified. The CCS technological chain with CO<sub>2</sub> capture at two emission sources, its transportation and injection into the reservoir to enhance oil recovery was modeled; economic efficiency of its operation was evaluated. The calculations showed that the project is not economically viable. The options for achieving its profitability have been proposed. The most feasible state regulation and support measures for such projects were determined – greenhouse gas emission tax and a 45Q tax credit analog applied in the USA. It is found that possible emission tax benefits will not allow the project to be economically viable, while the 45Q measure significantly improves the project's economic performance, but requires significant expenditures on the state's part. It is concluded that there is a

need for a comprehensive development of the state low-carbon development policy. The results of the study can be used as a benchmark in planning the CCS technology chain implementation in Russia, as well as in developing a government support system for such initiatives. The research was carried out with the use of analysis and synthesis methods, generalization and decomposition, conceptual and scenario modeling methods and is based on classical approaches to the economic efficiency evaluation of investment projects.

**Key words:** capture and storage, capture and utilization, carbon dioxide, enhanced oil recovery, reservoir injection, industry, technology chains, state support.

### Введение

В свете климатической повестки промышленные компании испытывают серьезное давление со стороны ключевых стейкхолдеров, направленное на необходимость принятия мер по снижению выбросов парниковых газов (ПГ) в атмосферу, что, в свою очередь, существенно влияет на их деятельность на стратегическом и операционном уровнях.

Многие промышленные компании уже сегодня формируют стратегии и отчеты, посвященные вопросам снижения выбросов ПГ, движения к углеродной нейтральности, декарбонизации деятельности. Если обратиться к опыту нефтегазовых компаний, то можно отметить, что зарубежные компании достаточно активно выпускают специализированные отчеты по климату (например, Energy Transition Report, Climate Report и др.), тогда как российские делают это в меньшей степени, раскрывая некоторую информацию по выбросам ПГ и смежным вопросам в отчетах об устойчивом развитии, экологических отчетах и справочниках ESG-данных. Так, например, компании ПАО «Лукойл» и ПАО «НОВАТЭК» выпускают последний, ПАО «Сургутнефтегаз» – экологический отчет, а остальные крупные российские нефтегазовые компании – отчеты об устойчивом развитии. Вместе с тем из 18 нефтегазовых компаний России по рейтингу агентства РАЭК только 6 компаний – ПАО «Лукойл», ПАО «НК «Роснефть», ПАО «НОВАТЭК», ПАО «Газпром», ПАО «Татнефть», ПАО «Сургутнефтегаз» – на официальных интернет-ресурсах размещают сведения о выбросах ПГ, а 5 нефтегазовых компаний (перечисленные выше, за исключением ПАО «Сургутнефтегаз») установили цели по снижению выбросов ПГ к целевому году [1].

Несмотря на общий низкоуглеродный вектор, каждая конкретная компания самостоятельно выбирает, как в сложившихся условиях соответствовать климатическим вызовам в части сокращения выбросов ПГ. Во многом это определяется отраслевой и страновой принадлежностью компаний, проводимой на территориях ее присутствия государственной политикой, имеющимися в распоряжении активами, особенностями технологической цепочки и возможностями бизнеса, степенью вертикальной интеграции, доступом к ресурсам, цепочкой создания стоимости и др. Каждая компания работает над созданием своих уникальных стратегий декарбонизации, в основе которых лежат конкретные решения (опции декарбонизации), направленные на снижение эмиссии, – от повышения энергоэффективности до технологий улавливания, использования и хранения CO<sub>2</sub> (далее – улавливание и хранение углерода, УХУ). Последние занимают особое место в перечне опций декарбонизации нефтегазовых компаний в связи с возможностью использования уловленного CO<sub>2</sub> для повышения нефтеотдачи (CO<sub>2</sub>-EOR, англ. enhanced oil recovery). Отличительной особенностью комплекса технологий УХУ является то, что он работает с уже образовавшимися выбросами CO<sub>2</sub>, избежать которые другим способом не представляется возможным, предотвращая их попадание в атмосферу.

В России действующие мощности по улавливанию и хранению CO<sub>2</sub> отсутствуют. Известно лишь об одном проекте ПАО «НОВАТЭК», который находится на ранних этапах разработки – Ямал СПГ CCS (англ. carbon capture and storage). Вместе с тем технологии УХУ рассматриваются как одно из направлений в рамках Стратегии социально-

экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года [2], что подтверждает перспективность их внедрения на объектах энергетики и промышленности России. Однако развитие таких проектов связано с целым спектром сдерживающих факторов. Это высокая стоимость реализации всей технологической цепочки, незрелость технологий, особенно улавливания, неразвита нормативная и правовая база, регламентирующая вопросы обращения с CO<sub>2</sub>, и др.

Цель исследования заключается в оценке возможностей реализации полной технологической цепочки УХУ в промышленном секторе России с расчётом экономической эффективности ее функционирования и разработкой предложений по улучшению экономических показателей таких проектов.

Задачи исследования:

- 1) определить перспективные направления внедрения технологий УХУ в промышленном секторе России;
- 2) смоделировать технологическую цепочку УХУ с использованием уловленного CO<sub>2</sub> для повышения нефтеотдачи;
- 3) провести укрупнённую экономическую оценку функционирования технологической цепочки УХУ;
- 4) сформировать предложения по улучшению экономических показателей таких проектов.

**Материалы и методы исследования.** Исследование базируется на аналитических материалах международных и российских организаций, таких как Глобальный институт CCS (Global CCS Institute), Международное энергетическое агентство (МЭА) (International Energy Agency, IEA), Институт энергетического перехода Керни (Kearney Energy Transition Institute), VYGON Consulting, Сколково, данных открытой отчётности российских и зарубежных нефтегазовых компаний, нормативных и правовых документах органов государственной власти РФ и зарубежных стран по вопросам сокращения выбросов ПГ, реализации УХУ, а также научных статьях в профильных периодических изданиях.

В исследовании применялись методы анализа и синтеза, обобщения и декомпозиции, методы концептуального, сценарного и экономико-математического моделирования, методы экономической оценки эффективности инвестиций и оценки рисков.

**Результаты. Сущность и мировой опыт реализации УХУ.** Суть технологических цепочек УХУ заключается в улавливании CO<sub>2</sub> на источнике выбросов промышленных объектов, его транспортировке, захоронении в подземных резервуарах и/или его использовании. Вместо того, чтобы просто захоронять CO<sub>2</sub>, его можно использовать в качестве сырья для производства полезных продуктов, таких как удобрения, топливо, строительные материалы и др. Вместе с тем технологии полезного использования CO<sub>2</sub> всё еще являются дискуссионными по ряду вопросов [3] и находятся на начальных этапах развития. Самым распространённым и понятным вариантом полезного использования углекислого газа на сегодня является его применение для повышения нефтеотдачи (CO<sub>2</sub>-EOR) путем закачки в пласт с последующим хранением в нефтяных и газовых месторождениях.

По состоянию на 2023 г. в мире насчитывалось порядка 40 действующих проектов с общей мощностью около 40 млн т CO<sub>2</sub> в год [4]. В 1/3 проектов по миру CO<sub>2</sub> улавливается на предприятиях по подготовке (переработке) природного газа, а в 2/3 проектов реализуется через CO<sub>2</sub>-EOR, определяя развитие данных решений в непосредственной связке с нефтегазовыми компаниями. Реализация полной технологической цепочки УХУ также подразумевает участие и других компаний помимо нефтегазовых, что требует построения особых форм реализации таких инициатив.

Проведённые автором исследования позволили вывести следующие тезисы, характеризующие текущее состояние развития УХУ в мире и перспективы развития отрасли в России [5, 6].

1. В странах и регионах, где функционируют технологические цепочки УХУ, главным условием для их развития является комплексная государственная политика. Это позволяет сделать вывод о том, что в России

уровень развития технологий и степень их внедрения в промышленности во многом будет зависеть от государства.

2. Затраты на реализацию УХУ настолько высоки, что государственное регулирование и поддержка служат обязательным условием их реализации на основе коммерческой логики. Наиболее жизнеспособными являются проекты CO<sub>2</sub>-EOR [7]. Основным доступным на сегодня финансовый стимул в виде доходов от дополнительной добычи и реализации нефти также будет работать только при наличии государственной поддержки компаний-операторов. Развитие УХУ в России целесообразно начать с выстраивания технологических цепочек на базе или при участии крупных нефтегазовых компаний с максимально возможной реализацией решений CO<sub>2</sub>-EOR и использованием доступных мер государственной поддержки.

3. Реализация проектов происходит фазами [8] с разделением рисков между участниками – крупными компаниями, а укрупнение форм реализации с ориентацией на критерии территориальной близости – текущая тенденция в мировом масштабе. Реализацию технологических цепочек УХУ в России целесообразно осуществлять в нефтедобывающих регионах при участии крупных компаний – эмитентов ПГ и нефтегазовых компаний с применением элементов кластерного подхода. Территории, где имеется высокая концентрация крупных промышленных предприятий-эмитентов и близлежащие мощности, которые могут быть задействованы для использования и хранения газа, считаются самыми подходящими местами для реализации технологических цепочек УХУ [9].

4. Высокие затраты на УХУ остаются главной причиной их медленного распространения. Серьезным препятствием это является и для условий России, где углеродное регулирование находится на этапе становления. В связи с этим актуальным направлением исследований остается поиск дополнительных способов снижения стоимости таких проектов в России.

Моделирование технологической цепочки УХУ. Для проведения экономической оценки

реализации полной технологической цепочки УХУ в России с улавливанием углекислого газа на промышленном источнике, его транспортировкой и закачкой в пласт для повышения нефтеотдачи необходимо смоделировать возможную технологическую цепочку с элементами кластерного подхода. В теоретических исследованиях принято считать, что кластерный подход позволяет снижать экономическую нагрузку на отдельные компании-участники. Практика реализации УХУ также подтверждает эту гипотезу – например, в Великобритании развитие УХУ сконцентрировано в 6 промышленных кластерах [10].

Наиболее привлекательной с точки зрения наличия месторождений и крупных эмитентов представляется Волго-Уральская нефтегазоносная провинция [11]. Для проведения расчетов было выбрано нефтегазовое месторождение, вблизи которого присутствуют нефтеперерабатывающий завод (НПЗ) и газовая электростанция (ГРЭС). Определение месторождения как пригодного для внедрения CO<sub>2</sub>-EOR происходило посредством анализа геолого-промысловых и инфраструктурных условий.

Таким образом, в рамках исследования предлагается технологическая цепочка с улавливанием CO<sub>2</sub> на ГРЭС и НПЗ, транспортировкой газа на расстояние порядка 160 км и закачкой в пласт на месторождении [5] (рис. 1). Следует отметить, что выбранный регион имеет развитую инфраструктуру, в том числе энергетическую (сеть газопроводов, автодороги, железную дорогу и ж/д станции, электрические сети и пр.). Наиболее оптимальной организационной формой для реализации такой технологической цепочки УХУ является консорциум.

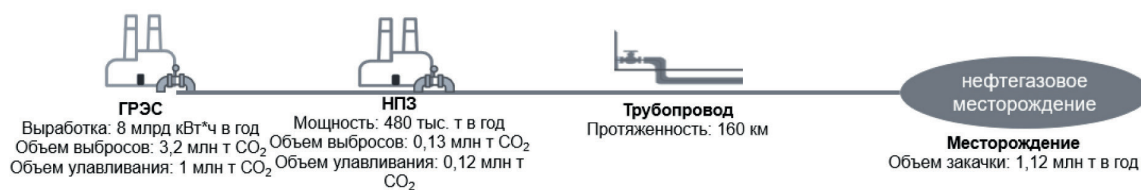


Рисунок 1. Смоделированная технологическая цепочка УХУ

Источник: составлено авторам

**Экономическая оценка и варианты обеспечения окупаемости проекта УХУ.** Величина капитальных и эксплуатационных затрат на реализацию всей технологической цепочки вычислялась по объектам-аналогам с ориентацией на проведенные автором

исследования [5] и подходы, используемые в мировой практике [12, 13]. Для целей оценки приняты средние показатели эффективности метода увеличения нефтеотдачи от CO<sub>2</sub>-EOR – от 0,28 (сценарий «min») до 0,35 (сценарий «max») т нефти на 1 т CO<sub>2</sub> (рис. 2).

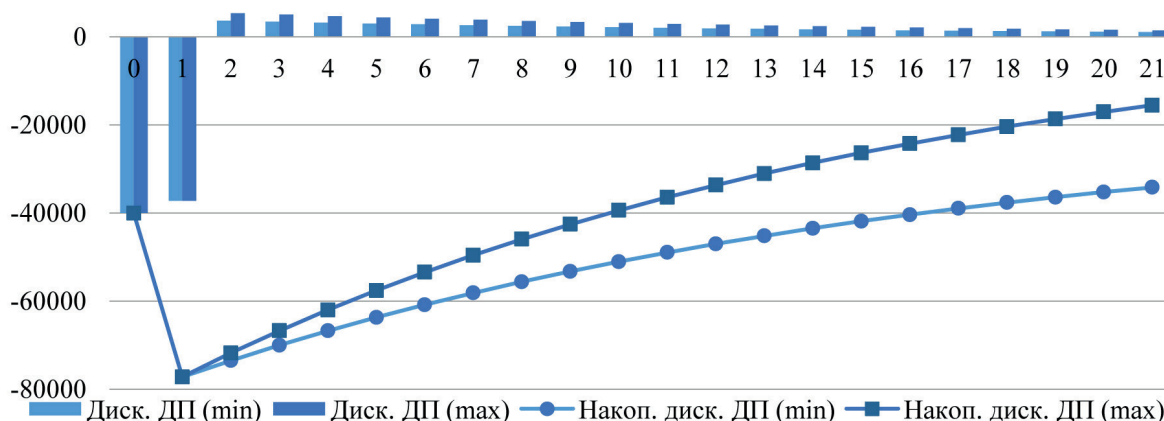


Рисунок 2. Дисконтированный денежный поток при сценариях «min» и «max», млн руб.

Источник: составлено авторам

Результаты расчета свидетельствуют о том, что при заданных параметрах рассматриваемый проект не окупается. Проведенный анализ чувствительности показал, что проект наиболее восприимчив к изменению цены на нефть и величине капитальных затрат. При увеличении цены на нефть на 15 % и более проект окупается, но данный фактор является неуправляемым. Снижение же цены на нефть даже на 10 % существенно ухудшает показатели проекта. Снижение капитальных затрат должно быть существенным – 20 % и более, чтобы проект приблизился к окупаемости.

Предложения и рекомендации по обеспечению окупаемости проектов УХУ представлены в таблице.

Наиболее реалистичными вариантами в текущих условиях являются меры государственной поддержки, способствующие развитию УХУ.

Для улучшения экономических показателей проекта предлагается провести расчет с применением возможного действия на территории реализации проекта налога на выбросы ПГ (сценарий «налог») с действующей на Сахалине ставкой – 1000 руб./т на весь объем уловленных выбросов при средней эффективности CO<sub>2</sub>-EOR. Расчёт показал, что

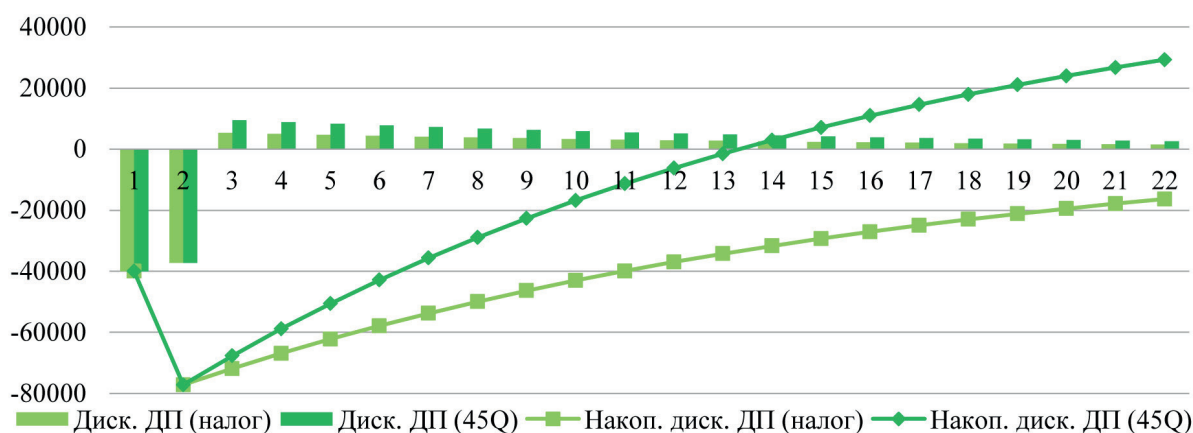
**Таблица.** Варианты обеспечения окупаемости проектов УХУ

Вариант	Рекомендации для развития в России
Снижение уровня капитальных затрат	Развитие технологий и решений, позволяющих снижать уровень затрат на установки улавливания. Модуляризация. Ввод ряда объектов для накопления опыта. Международное сотрудничество (например, с Китаем)
Создание условий для применения CO <sub>2</sub> -EOR	Развитие инфраструктуры для транспортировки CO <sub>2</sub> . Реализация проектов улавливания газа на объектах, приближенных к нефтегазовым месторождениям. Развитие системы мер государственной поддержки нефтегазовых компаний (например, мера-аналог 45Q, применяемого в США). Развитие углеродного рынка. Развитие нормативной и правовой базы, регламентирующей вопросы долгосрочного хранения CO <sub>2</sub> под землей
Экономия по налогу на выбросы	Планомерное развитие и введение углеродного регулирования с количественными ограничениями на выбросы ПГ, включая систему санкций и рыночный компонент
Участие в углеродном рынке	Планомерное развитие и введение системы торговли выбросами в качестве экономического механизма развития УХУ
Получение господдержки	Развитие системы мер государственной поддержки УХУ на всех стадиях. Программно-целевое финансирование УХУ по двум направлениям – улавливание и геологическое захоронение

Источник: составлено автором

потенциальная экономия на налоге не позволит стать проекту окупаемым. Также был рассмотрен сценарий «45Q», предполагающий действие налоговой льготы 45Q. Мера представляет собой определенную сумму налоговой льготы за тот объем CO<sub>2</sub>, который улавливается и затем отправляется на геологическое захоронение и/или используется, в том числе для увеличения нефтеотдачи пла-

стов. Для расчёта принята действующая в настоящий момент в США ставка в размере 60 долл./т (5160 руб.) на улавливание, хранение и использование CO<sub>2</sub>, включая повышение нефтеотдачи пластов (EOR). Компании, которые улавливают и хранят или используют CO<sub>2</sub>, имеют право на налоговую льготу за каждую тонну предотвращённых выбросов [6] (рис. 3).



**Рисунок 3.** Дисконтированный денежный поток при сценариях «налог» и «45Q», млн руб.

Источник: составлено автором

Применение налоговой льготы 45Q с действующей ставкой США значительно улучшает экономические показатели проекта. Вместе с тем при уменьшении ставки на 54 % (27,6 долл. или 2374 руб. на 1 т CO<sub>2</sub>) проект перестает быть окупаемым. Применение меры-аналога 45Q даже по минимальной ставке приведёт к затратам бюджета государства в 2620 млн руб. в год (или 52 400 млн руб. за 20 лет реализации проекта). Учитывая маловероятность применения подобных мер, можно сделать вывод о необходимости комплексного развития экологической политики в данном направлении с применением общих и специфических механизмов как на национальном, так и на региональном уровнях.

**Дискуссия и заключение.** Развитие технологических цепочек УХУ в промышленном секторе России можно охарактеризовать как перспективное, так как внедрение таких решений может осуществляться без существенного изменения действующих систем и одновременно сложное, прежде всего, с точки зрения высоких затрат. Территории России, где имеется высокая концентрация крупных промышленных предприятий-эмитентов и близлежащие нефтегазовые месторождения, могут рассматриваться как наиболее подходящие для реализации первых проектов. Предполагается, что взаимодействие в рамках работы такой технологической цепочки позволит предприятиям-эмитентам предотвратить выбросы CO<sub>2</sub> в атмосферу без непосредственного их участия в процессах дальнейшего обращения с углекислым газом (процессах утилизации), а нефтегазовым компаниям – получить возможность для реализации решений CO<sub>2</sub>-EOR на своих месторождениях, непосредственно участвуя в проектах по снижению выбросов ПГ.

Экономическая оценка проекта с улавливанием CO<sub>2</sub> на двух источниках выбросов и его использованием для CO<sub>2</sub>-EOR показала, что проект не окупается. Потенциальная экономия на налоге на выбросы ПГ в случае его действия также не позволит проекту стать окупаемым. Применение меры-аналога нало-

говой льготы 45Q, действующей в США, значительно улучшает экономические показатели проекта, но требует существенных затрат со стороны государства. Это позволяет сделать вывод о необходимости комплексного развития государственной политики низкоуглеродного развития.

Система поддержки низкоуглеродных технологий, в том числе УХУ, должна быть многоуровневой и разнонаправленной по своему действию, опираться на распределение затрат и рисков между государством и частным сектором и нацелена, в конечном счете, на повышение ценности технологии для различных заинтересованных сторон. Безусловно, планомерная работа по выстраиванию такой системы поддержки в России является базисом для зарождения и развития проектов по улавливанию и хранению углерода в промышленности.

Активное финансирование инициатив и проектов УХУ на всех стадиях будет постепенно приводить к снижению уровня затрат. В долгосрочной перспективе, когда такие технологии и решения будут масштабироваться, реализация УХУ может привести к повышению устойчивости компаний-участников, модернизации энергетики и промышленности, возникновению новых производств и рабочих мест и пр., что представляется важным для экономики и общества в целом. Вместе с тем на сегодня это требует больших вложений как государственных средств, так и частных.

Ограничения исследования связаны, прежде всего, с неполным доступом к данным, что определило применение упрощённого подхода к моделированию дополнительного притока нефти при реализации технологии CO<sub>2</sub>-EOR и проведению технико-экономической оценки.

Результаты исследования могут быть использованы на практике при планировании реализации технологических цепочек УХУ в России, а также при формировании системы мер поддержки низкоуглеродных проектов – как в общем контексте, так и в части инициатив УХУ. Будущие исследования автора

будут посвящены моделированию иных технологических цепочек, связанных с улавливанием, использованием и хранением углекислого газа, с оценкой экономической

эффективности их функционирования в разных регионах России при различных институциональных условиях.

### Список литературы

1. Sheveleva N.A., Cherepovitsyna A.A., Danilin K.P. Assessing the Decarbonization Progress of Russian Oil and Gas Companies // *Studies on Russian Economic Development*. – 2024. – Vol. 35. – No. 3. – P. 406-414. DOI: 10.1134/S1075700724030146.

2. Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.10.2021 г. № 3052-р // *Собрание законодательства Российской Федерации*. – 08.11.2021 г.

3. Cherepovitsyna A., Kuznetsova Ye., Popov A., Skobelev D. Carbon Capture and Utilization Projects Run by Oil and Gas Companies: A Case Study from Russia // *Sustainability*. – 2024. – Vol. 16. – No. 14. – 23 p. DOI: 10.3390/su16146221.

4. CO<sub>2</sub>RE Facilities Database // *Global CCS Institute*. – 2022. URL: <https://co2re.co/> (дата обращения: 08.09.2024).

5. Череповицына А., Череповицын А., Кузнецова Е. Проекты улавливания, хранения и использования CO<sub>2</sub> и их экономическая целесообразность // *ЭКО*. – 2024. – Т. 54. – № 1. – С. 117-131. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2024-1-117-131.

6. Череповицына А.А. Улавливание и хранение углерода: меры государственного регулирования, мировой опыт и ситуация в России // *Экономика устойчивого развития*. – 2024. – № 57. – С. 178-183.

7. Bechara C.A., Alnouri S.Y. Energy assessment strategies in carbon-constrained industrial clusters // *Energy Conversion and Management*. – 2022. – Vol. 254. – 115204. DOI: 10.1016/j.enconman.2021.115204

8. Manioudis M., Angelakis A. Creative Economy and Sustainable Regional Growth: Lessons from the Implementation of Entrepreneurial Discovery. Process at the

Regional Level // *Sustainability*. – 2022. – Vol. 15 (9). DOI: 10.3390/su15097681.

9. Fernández-Canteli Álvarez P. [et cet.] Techno-economic evaluation of regional CCUS implementation: The STRATEGY CCUS project in the Ebro Basin (Spain) // *Greenhouse Gases: Science and Technology*. – 2022. – Vol. 13. – No. 2. – P. 197-215. DOI: 10.1002/ghg.2193.

10. Bataille C.G.F. Physical and policy pathways to net-zero emissions industry // *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. – 2020. – Vol. 11. – No. 2. – 20 p. DOI: 10.1002/wcc.633.

11. Клубков С., Емельянов К., Зотов Н. CCUS: монетизация выбросов CO<sub>2</sub> // *VYGON Consulting*. – 2021. – 47 с. URL: [https://vygon.consulting/upload/iblock/967/jzgy72b7ome167wi4dbao9fnsqsfj13/vygon\\_consulting\\_CCUS.pdf](https://vygon.consulting/upload/iblock/967/jzgy72b7ome167wi4dbao9fnsqsfj13/vygon_consulting_CCUS.pdf) (дата обращения: 08.09.2024).

12. Meeting the Dual Challenge. A Roadmap to At-Scale Deployment of Carbon Capture Use and Storage // *National Petroleum Council*. – 2019. URL: <https://dualchallenge.npc.org/> (дата обращения: 08.09.2024).

13. Towler G., Sinnott R. Capital Cost Estimating // *Chemical Engineering Design* (2 Ed.). – 2013. – Vol. 7. – P. 307-354. DOI: 10.1016/B978-0-08-096659-5.00007-9

### References

1. Sheveleva N.A., Cherepovitsyna A.A., Danilin K.P. Assessing the Decarbonization Progress of Russian Oil and Gas Companies // *Studies on Russian Economic Development*. – 2024. – Vol. 35. – No. 3. – P. 406-414. DOI: 10.1134/S1075700724030146.

2. On approval of the Strategy of Socio-economic Development of the Russian Federation with low Greenhouse Gas Emissions until 2050: Decree of the Government of the Russian Federation dated 29.10.2021 No. 3052-r // *Collection of Legislation of the Russian Federation*. – 11/08/2021



3. Cherepovitsyna A., Kuznetsova Ye., Popov A., Skobelev D. Carbon Capture and Utilization Projects Run by Oil and Gas Companies: A Case Study from Russia // Sustainability. – 2024. – Vol. 16. – No. 14. – 23 p. DOI: 10.3390/su16146221.
4. CO<sub>2</sub>RE Facilities Database // Global CCS Institute. – 2022. URL: <https://co2re.co/> (дата обращения: 08.09.2024).
5. Cherepovitsyna A., Cherepovitsyn A., Kuznetsova E. Projects for the capture, storage and use of CO<sub>2</sub> and their economic feasibility // ECO. – 2024. – Vol. 54. – No. 1. – P. 117-131. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2024-1-117-131.
6. Cherepovitsyna A.A. Carbon capture and storage: government regulatory measures, world experience and the situation in Russia // Economics of sustainable development. – 2024. – No. 57. – P. 178-183.
7. Bechara C.A., Alnouri S.Y. Energy assessment strategies in carbon-constrained industrial clusters // Energy Conversion and Management. – 2022. – Vol. 254. – 115204. DOI: 10.1016/j.enconman.2021.115204
8. Manioudis M., Angelakis A. Creative Economy and Sustainable Regional Growth: Lessons from the Implementation of Entrepreneurial Discovery. Process at the Regional Level // Sustainability. – 2022. – Vol. 15 (9). DOI: 10.3390/su15097681.
9. Fernández-Canteli Álvarez P. [et cet.] Techno-economic evaluation of regional CCUS implementation: The STRATEGY CCUS project in the Ebro Basin (Spain) // Greenhouse Gases: Science and Technology. – 2022. – Vol. 13. – No. 2. – P. 197-215. DOI: 10.1002/ghg.2193.
10. Bataille C.G.F. Physical and policy pathways to net-zero emissions industry // Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change. – 2020. – Vol. 11. – No. 2. – 20 p. DOI: 10.1002/wcc.633.
11. Klubkov S., Yemelyanov K., Zotov N. CCUS: monetization of CO<sub>2</sub> emissions // VYGON Consulting. – 2021. – 47 p. URL: [https://vygon.consulting/upload/iblock/967/jzgy572b7ome167wi4dbao9fnsqsfj13/vygon\\_consulting\\_CCUS.pdf](https://vygon.consulting/upload/iblock/967/jzgy572b7ome167wi4dbao9fnsqsfj13/vygon_consulting_CCUS.pdf) (date of request: 09/08/2024).
12. Meeting the Dual Challenge. A Roadmap to At-Scale Deployment of Carbon Capture Use and Storage // National Petroleum Council. – 2019. URL: <https://dualchallenge.npc.org/> (дата обращения: 08.09.2024).
13. Towler G., Sinnott R. Capital Cost Estimating // Chemical Engineering Design (2 Ed.). – 2013. – Vol. 7. – P. 307-354. DOI: 10.1016/B978-0-08-096659-5.00007-9