

УДК 621.311

ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЯ, УЛАВЛИВАНИЯ
И УТИЛИЗАЦИИ УГЛЕРОДА
CARBON STORAGE, CAPTURE AND UTILIZATION TECHNOLOGIES

О.А. Ковальчук, А.А. Таркайло

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

O. Kovalchuk, A. Tarkaylo

Supervisor – V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В статье рассматриваются технологии улавливания, утилизации и хранения углерода как инновационные решения для снижения выбросов CO_2 в атмосферу и достижения углеродной нейтральности. В статье подробно описаны ключевые механизмы работы систем CCS, CCU и CCUS, их преимущества и недостатки, а также экономические и технологические аспекты внедрения.

Abstract: The article discusses carbon capture, utilization and storage technologies as innovative solutions to reduce CO_2 emissions into the atmosphere and achieve carbon neutrality. The article describes in detail the key mechanisms of the CCS, CCU and CCUS systems, their advantages and disadvantages, as well as the economic and technological aspects of implementation.

Ключевые слова: углерод, углекислый газ, улавливание, утилизация, хранение, глобальное потепление, углеродная нейтральность, промышленные выбросы, технологии.

Keywords: carbon, carbon dioxide, capture, utilization, storage, global warming, carbon neutrality, industrial emissions, technologies.

Введение

Учёные по всему миру бьют тревогу. С ростом количества промышленных объектов увеличиваются выбросы углерода в атмосферу. Около четверти мирового объёма CO_2 приходится на промышленность. И эта доля остаётся неизменной с начала 1990-х годов. В мае 2022 года концентрация углерода в атмосфере превысила значение в 400 ppm. Население Земли становится больше, производство не думает уменьшаться, и все это приводит к глобальному потеплению. Ученым все-таки удалось найти решение, как уменьшить выброс больших количеств CO_2 . Этим решением стали технологии хранения, улавливания и утилизации углерода CCS/CCU/CCUS, технологии, которые получили бурное развитие в последние годы.

Основная часть

CCS, CCU и CCUS – это общие термины для технологий, которые отделяют и улавливают CO_2 , хранят и используют его и привлекают внимание как новаторские идеи по достижению углеродной нейтральности.

CCS (Улавливание и хранение углекислого газа) – это технология, которая отделяет и улавливает CO_2 , выбрасываемый электростанциями, химическими заводами и т.д., а затем хранит его глубоко под землей.

CCU (Улавливание, утилизация углекислого газа) – технология, использующая отделенный и рекуперированный CO_2 . В частности, помимо превращения ее в топливо или пластик, ее также можно использовать для облегчения добычи сырой нефти путем закачки ее в нефтяные пласты на нефтяных месторождениях.

CCUS (Улавливание, утилизация и хранение углекислого газа) – технология, которая дополнительно использует CO_2 , который был отделен, уловлен и сохранен. Термин, объединяющий CCS и CCU.

Улавливание, утилизация и хранение углекислого газа (CCUS) включает технологии, улавливающие CO_2 у источника и предотвращающие его выброс в атмосферу, а также технологии, улавливающие CO_2 непосредственно из воздуха. Уловленный CO_2 транспортируется и хранится под землей или перерабатывается в полезные продукты [1] (рис. 1).



Рисунок 1 – Схематичное изображение технологии улавливания, утилизации и захоронения углекислого газа (CCUS) [1]

Для улавливания углекислого газа его сначала отделяют от других газов, образующихся в результате сжигания или промышленных процессов. Затем его сжимают и очищают, чтобы облегчить транспортировку и хранение. Углекислый газ, образующийся в результате сгорания, особенно в электроэнергетическом секторе, может быть уловлен с помощью одной из трех следующих систем:

- Дожигание: в системе дожигания дымовые газы, образующиеся при сгорании топлива с воздухом, содержат лишь небольшую долю CO_2 . Его улавливают путем впрыскивания дымовых газов в жидкость, которая избирательно поглощает CO_2 (например, охлажденный или сжатый органический растворитель). Практически чистый CO_2 можно извлечь из жидкости, как правило, нагревая ее или снижая давление. Подобные

- процессы уже используются в больших масштабах для отделения CO_2 от природного газа;
- Предварительное сгорание: в системе предварительного сгорания базовое топливо сначала преобразуется в газ путем нагревания его паром и воздухом или кислородом. В результате этого преобразования образуется газ, состоящий в основном из водорода и CO_2 , который легко отделяется. Водород можно использовать для выработки энергии или тепла;
 - Сжигание кислородного топлива: при сжигании кислородного топлива для сжигания топлива вместо воздуха используется чистый кислород. В воздухе содержится всего 20 % кислорода и много азота. В результате образуется газовая смесь, состоящая в основном из водяного пара и CO_2 . Водяной пар можно легко отделить от CO_2 путем охлаждения и сжатия газового потока. Но для этого подхода кислород сначала необходимо отделить от воздуха, а это довольно сложный процесс.

Подобные системы сбора уже используются в различных промышленных процессах, таких как производство водорода или карбамида и газификация угля [2].

Системы сбора ограничивают выбросы CO_2 от мусоросжигательных заводов примерно на 80-90 %. В цифрах учтен тот факт, что системы сбора требуют дополнительной энергии.

Для новых электростанций, работающих на ископаемом топливе, улавливание CO_2 может увеличить стоимость производства электроэнергии на 35-85 %, в зависимости от конструкции, эксплуатации и финансирования электростанции. Это составляет от 0,01 до 0,03 доллара США за кВт·ч произведенной электроэнергии.

Затраты на сбор также могут быть выражены в долларах США за чистую тонну уловленного CO_2 . Стоимость единицы продукции сильно варьируется в зависимости от типа мусоросжигательного завода и промышленного процесса. Себестоимость единицы продукции обычно ниже при производстве относительно чистого потока CO_2 , например, при переработке природного газа или производстве водорода или аммиака [3].

Наиболее перспективным проектом сейчас является «Northern Lights», который предлагает норвежская энергетическая компания Equinor. Прямо сейчас, при поддержке правительства, а также нефтяных компаний Shell и Total, она предлагает процесс захоронения CO_2 на дне Северного моря.

В упрощённом виде это выглядит так: CO_2 , полученный на мусороперерабатывающем заводе «Фортум-Осло», в цистернах под давлением грузится на корабль и доставляется на береговой терминал на другом конце страны, в Айгардене (рис. 2).

Оттуда он перегоняется в промежуточные береговые резервуары. И по трубам поступает в геологические хранилища в норвежском шельфе Северного моря. Создана инфраструктура для транспортировки, складирования и хранения полутора миллионов тонн CO_2 в год. При успешном развитии планируется увеличивать до пяти миллионов тонн ежегодно.

Причем береговой приемный терминал и трубопроводы уже рассчитаны на объем 5 миллионов тонн в год.

CO_2 закачивается на глубину 2,6 км под морским дном в поры водоносного горизонта. Многолетний опыт работы с крупномасштабным хранением CO_2 продемонстрировал, что риск утечки мал при условии тщательного отбора самого места хранилища. «Northern Lights» готова к приёму и хранению CO_2 , приём первой партии ожидается в 2025 году. Проекты по улавливаю и транспортировке CO_2 намерены также реализовать в таких городах, как Роттердам, Хамбер и Стокгольм.

Не менее важным элементом является создание баржи для грамотной транспортировки углерода. Концепт такой баржи был разработан голландской верфью «Royle Northern Sander» совместно с судоходной компанией «Winding by Royle Wagenborg». Ситуация с глобальным потеплением в мире сейчас близка к критической, поэтому данные проекты – ключ к трепетному обращению с нашей планетой [3].



Рисунок 2 – Проект по улавливаю и хранению CO_2 [2]

В Японии, с 2012 года проводится крупномасштабный демонстрационный эксперимент под руководством компании по интеграции технологий CCS, созданной совместно крупными частными компаниями. Это план по отделению CO_2 и других газов от газа, поставляемого с нефтеперерабатывающего завода, и хранению CO_2 в колодцах, вырытых глубоко под водой, и в 2019 году был достигнут целевой объем закачки в 300 000 тонн. Согласно «Окончательному отчету группы по изучению долгосрочной дорожной карты CCS Министерства экономики, торговли и промышленности», по оценкам, в настоящее время существует 11 участков от Хоккайдо до Кюсю с общим объемом резервуаров 16

миллиардов тонн. Поскольку ожидается, что к 2050 году ежегодно будет храниться от 120 до 240 миллионов тонн, в Японии и за рубежом при государственной поддержке реализуются семь проектов с целью дальнейшего развития CCS.

В Европе и Америке развитие CCS стремительно растет примерно с 2018 года. Причиной этого считается расширение государственной поддержки CCS. Например, в США проекты CCS получили право на налоговые вычеты, в то время как в ЕС поддержка в размере 10 миллиардов евро в течение 10 лет будет предоставлена для возобновляемых источников энергии и низкоэнергетических источников энергии. Для реализации проекта создан фонд. В Великобритании были выбраны ведущие поддерживаемые государством центры поставок CCS для стимулирования развития частного сектора. Кроме того, количество демонстрационных случаев коммерциализации CCUS растет, а в Европе и США развитие бизнеса по повторному использованию CO_2 для синтетического топлива прогрессирует, в основном начинающими компаниями [4].

Преимущества CCS:

- Сокращение выбросов углекислого газа. Это является основным преимуществом технологии CCS. По расчётам японских учёных, если бы CCS были установлены на угольных электростанциях, которые могут снабжать электроэнергией примерно 270 000 домохозяйств, ежегодно можно было бы предотвратить примерно 3,4 миллиона тонн выбросов CO_2 ;
- Энергетическая безопасность. По мере того, как мы отказываемся от ископаемого топлива, нам необходимо найти новые источники энергии, которые являются надежными и доступными. CCS может помочь сделать возобновляемые источники энергии, такие как ветер и солнце, более надежными, предоставляя резервный источник энергии, когда эти источники недоступны;
- Создание рабочих мест. Внедрение технологий CCS может привести к созданию рабочих мест в таких областях, как строительство, проектирование и техническое обслуживание. Это может принести пользу местным сообществам и помочь оживить местную экономику.

Недостатки CCS:

- Создание технологии. Выделение и улавливание CO_2 по-прежнему является новой технологией, и прежде, чем ее можно будет использовать на практике, необходимо решить множество проблем, таких как повышение скорости улавливания CO_2 и энергоэффективности. Например, в Японии при транспортировке CO_2 важна морская транспортировка, но в мире мало таких примеров, и требуются дальнейшие улучшения в технологии транспортировки;
- Снижение затрат. Разработка технологий CCS и CCUS требует огромных затрат. Помимо стремления снизить затраты на сепарацию/извлечение и затраты на добычу/хранение за счет развития технологий, снижение транспортных расходов за счет построения цепочек создания стоимости также стало важным вопросом при подготовке к будущим

- крупномасштабным перевозкам;
- Выбор подходящего места хранения. Не любое место подходит для хранения CO_2 , но есть места, где есть «слой хранения» из песчаника и т.д., расположенный глубже 800 метров под землей, и «защитный слой» из аргиллита и т.д., который предотвращает утечку CO_2 .

Заключение

Технологии улавливания, хранения и утилизации углерода (CCS, CCU, CCUS) представляют собой жизненно важный инструмент в борьбе с глобальным изменением климата. Их внедрение позволяет существенно сократить выбросы углекислого газа в атмосферу, что критически важно для смягчения последствий глобального потепления. Успехи, достигнутые в таких проектах, как «Northern Lights» и других инициативах в Японии, Европе и США, демонстрируют значительный потенциал этих технологий. Однако их повсеместное использование сталкивается с серьезными вызовами, включая высокие затраты, необходимость разработки эффективных методов транспортировки и хранения, а также поиск подходящих геологических условий. При условии дальнейшего развития технологий, совершенствования инфраструктуры и поддержки на государственном уровне, CCS, CCU и CCUS могут сыграть ключевую роль в достижении углеродной нейтральности и обеспечении энергетической безопасности в будущем.

Таким образом для достижения глобального развития и чистых нулевых выбросов (реальных нулевых выбросов) следует сосредоточиться на улавливании, хранении и утилизации углекислого газа.

Литература

1. Экономия на декарбонизации [Электронный ресурс] / Экономия на декарбонизации. – Режим доступа: <https://nangs.org/news/ecology/ekonomiya-na-dekarbonizatsii/>. – Дата доступа: 09.10.2024.
2. Анализ размера и доли рынка улавливания и хранения углерода – тенденции роста и прогнозы (2024–2029 гг.) [Электронный ресурс] / Анализ размера и доли рынка улавливания и хранения углерода – тенденции роста и прогнозы (2024–2029 гг.). – Режим доступа: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/carbon-capture-and-storage-market/>. – Дата доступа: 10.10.2024.
3. Интерфакс [Электронный ресурс] / экономика – Режим доступа: <https://www.interfax.ru/amp/983861/>. – Дата доступа: 12.10.2024.
4. Технологии хранения CO_2 под дном Северного моря [Электронный ресурс] / технологии хранения CO_2 под дном Северного моря. – Режим доступа: https://pikabu.ru/story/tekhnologii_khraneniya_co2_pod_dnom_severnogo_morya_8550927/. – Дата доступа: 13.10.2024.