

А.В. Синельникова

## Улавливание, утилизация и хранение углерода: обзор технологий

---

Целью настоящей работы является обзор группы технологий улавливания, утилизации и хранения углерода (CCUS), представленных Мировым Энергетическим Агентством (МЭА) и направленных как на сокращение выбросов в ключевых секторах, так и на удаление CO<sub>2</sub> для сбалансирования выбросов. CCUS является важным технологическим вариантом сокращения выбросов CO<sub>2</sub> в энергетическом секторе и будет иметь важное значение для достижения цели по чистому нулевому уровню выбросов.

### Введение

Улавливание, утилизация и хранение углерода (CCUS) должны стать ключевым элементом усилий, направленных на то, чтобы вывести мир на путь к нулевым выбросам. Энергетическая система с нулевым энергопотреблением требует глубоких преобразований в том, как мы производим и используем энергию, что может быть достигнуто только с помощью широкого набора технологий. Наряду с электрификацией, водородом и устойчивой биоэнергетикой, CCUS должны будут играть важную роль. Это единственная группа технологий, которая способствует как непосредственному сокращению выбросов в ключевых секторах, так и удалению CO<sub>2</sub> для сбалансирования выбросов, которых невозможно избежать, что является важной частью «чистых» нулевых целей [1].

При переходе к нулевым выбросам роль CCUS эволюционирует и распространяется почти на все звенья глобальной энергетической системы. В сценарии устойчивого развития МЭА, согласно которому глобальные выбросы CO<sub>2</sub> в энергетическом секторе снизятся до чистого нуля к 2070 году, первоначальное внимание CCUS уделяется модернизации электростанций и промышленных предприятий, работающих на ископаемом топливе, и поддержке производства низкоуглеродистого водорода [2]. К 2030 году более половины улавливаемого CO<sub>2</sub> будет приходиться на модернизированные существующие активы. Со временем акцент смещается на улавливание CO<sub>2</sub> из биоэнергетики и воздуха для удаления углерода – и в качестве источника климатически нейтрального CO<sub>2</sub> для синтетического авиационного топлива. В этом сценарии около 60 % улавливания CO<sub>2</sub> свя-

зано с ископаемым топливом, а остальное – с промышленными процессами, биоэнергетикой и воздухом [3].

### Результаты

CCUS относится к набору технологий, которые включают улавливание  $\text{CO}_2$  из крупных точечных источников, включая производство электроэнергии или промышленные объекты, которые используют либо ископаемое топливо, либо биомассу в качестве топлива.  $\text{CO}_2$  также может улавливаться непосредственно из атмосферы. Если улавливаемый  $\text{CO}_2$  не используется на месте, он сжимается и транспортируется по трубопроводу, судну, железной дороге или грузовому автомобилю для использования в различных областях применения или закачивается в глубокие геологические формации (включая истощенные запасы нефти и газа или солончаковые пласты), которые улавливают  $\text{CO}_2$  для постоянного хранения. Степень сокращения выбросов  $\text{CO}_2$  в чистом выражении зависит от того, сколько  $\text{CO}_2$  улавливается из точечного источника и используется ли  $\text{CO}_2$  и каким образом [1].

Использование  $\text{CO}_2$  в промышленных целях может обеспечить потенциальный источник дохода для объектов CCUS. До сих пор подавляющее большинство проектов CCUS зависело от доходов от продажи  $\text{CO}_2$  нефтяным компаниям для повышения нефтеотдачи пластов (EOR), но существует множество других потенциальных применений  $\text{CO}_2$ , в том числе в качестве сырья для производства синтетического топлива, химикатов и строительных материалов.

Технологии CCUS могут обеспечить удаление  $\text{CO}_2$  из атмосферы, т.е. «отрицательные выбросы», для компенсации выбросов из секторов, где достижение нулевых выбросов может оказаться экономически или технически неосуществимым. Биоэнергетика с улавливанием и хранением углерода (CCS), или BECCS, включает улавливание и постоянное хранение  $\text{CO}_2$  в результате процессов, в ходе которых биомасса (которая извлекает  $\text{CO}_2$  из атмосферы по мере роста) сжигается для выработки энергии. Электростанция, работающая на биомассе и оснащенная CCU, является разновидностью технологии BECCS. DAC предполагает улавливание  $\text{CO}_2$  непосредственно из окружающего воздуха (в отличие от точечного источника).  $\text{CO}_2$  может быть использован, например, в качестве исходного  $\text{CO}_2$  в синтетическом топливе, или его можно постоянно хранить для достижения отрицательных выбросов. Эти основанные на технологиях подходы к удалению углерода могут дополнять природные решения, такие как облесение и лесовосстановление [1].

## Заключение

Технологии CCUS способствуют переходу на экологически чистую энергетику несколькими способами:

– Борьба с выбросами из существующей энергетической инфраструктуры. CCUS могут быть модернизированы на существующих электростанциях и промышленных установках, которые в противном случае выбрасывали бы 600 миллиардов тонн CO<sub>2</sub> в течение следующих пяти десятилетий – почти 17 лет нынешних ежегодных выбросов [4].

– Решение для некоторых из самых сложных проблем с выбросами. На долю тяжелой промышленности сегодня приходится почти 20 % глобальных выбросов CO<sub>2</sub>. CCUS – это практически единственное технологическое решение для глубокого сокращения выбросов при производстве цемента. Во многих регионах это также наиболее экономичный подход к сокращению выбросов при производстве чугуна, стали и химических веществ. Улавливаемый CO<sub>2</sub> является важной частью цепочки поставок синтетического топлива из CO<sub>2</sub> и водорода – одного из ограниченного числа низкоуглеродистых вариантов для перевозок на большие расстояния, особенно в авиации [5].

– Экономически эффективный способ производства низкоуглеродистого водорода. CCUS могут способствовать быстрому расширению производства низкоуглеродистого водорода для удовлетворения текущего и будущего спроса со стороны новых применений в транспорте, промышленности и зданиях.

– Удаление углерода из атмосферы. Для выбросов, которых невозможно избежать или сократить напрямую, CCUS лежит в основе важного технологического подхода к удалению углерода и созданию системы с нулевым энергопотреблением.

CCUS имеют значительную стратегическую ценность как вариант смягчения последствий изменения климата. Она может применяться различными способами и в самых разных секторах, предлагая потенциал для внесения вклада – прямого или косвенного – в сокращение выбросов практически во всех звеньях глобальной энергетической системы. Следовательно, прогресс в разработке и внедрении технологий CCUS в одном секторе может иметь значительные побочные выгоды для других секторов или приложений, в том числе для технологического обучения, снижения затрат и развития инфраструктуры. Четыре основных способа, с помощью которых CCUS могут способствовать переходу глобальной энергетической системы к нулевым выбросам – сокращение выбросов от существующих энергетических активов, предоставление платформы для производства

низкоуглеродистого водорода, решение для секторов с трудно извлекаемыми выбросами и удаление углерода из атмосферы [1].

Сценарий устойчивого развития предусматривает достижение нулевого уровня выбросов в энергетическом секторе в течение пяти десятилетий на фоне масштабных технологических изменений и оптимизированных инновационных систем, сравнимых с самыми быстрыми и успешными инновациями в области экологически чистых энергетических технологий в истории. Кейс «Более быстрые инновации» исследует возможность ускорить этот переход, чтобы вывести глобальную энергетическую систему на нулевой уровень выбросов на 20 лет раньше, к 2050 году. Этот вариант сценария устойчивого развития предусматривает более быстрое внедрение новых технологий и инновационных методик, обеспечивающих дополнительное удаление углерода, например, за счет расширения устойчивых поставок биомассы [6].

### Литература

1. Мельник А.Н., Садриев А.Р., Лукишина Л.В., Маъруфи М. Санкционное давление: направления трансформации процессов управления инновационным развитием российской экономики. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2018. – 240 с.
2. Мельник А.Н., Лукишина Л.В. Влияние западных санкций на ситуацию в сфере энергосбережения в российской экономике // Проблемы теории и практики управления. – 2017. – № 3. – С. 45-52.