

ПРИМЕНЕНИЕ CCUS-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Бурачевский Е.С., студент

Научный руководитель Зеленуха Е.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье рассмотрены технологии улавливания диоксида углерода (CO₂) как ключевое направление стратегии декарбонизации в условиях глобального изменения климата. Приведена структура парниковых выбросов в Республике Беларусь с выделением энергетического сектора в качестве основного источника эмиссии. Дана классификация основных типов процесса улавливания CO₂. Описан метод химической абсорбции аминами.

Ключевые слова: CCUS-технологии, декарбонизация, парниковые газы, диоксид углерода, химическая абсорбция, улавливание углерода, дымовые газы.

Современный этап развития общества сопряжен с рядом экологических проблем, среди которых значимое место занимают климатические изменения. Международное сообщество, руководствуясь Парижским соглашением, направляет усилия для сдерживания роста средней глобальной температуры в пределах 1,5°C относительно доиндустриальной эпохи. В этих условиях особую актуальность приобретает стратегия декарбонизации – комплекс мер по сокращению антропогенных выбросов парниковых газов.

Анализ структуры выбросов парниковых газов в Республике Беларусь за период 2010–2023 гг. по данным [1] показывает устойчивое доминирование двух секторов: энергетического (генерирует 62% выбросов) и аграрного (24%). Промышленность и система утилизации отходов вносят примерно равный вклад – по 7% каждый. Это распределение определяет главное направление декарбонизационной стратегии: обеспечение потребностей экономики и населения в энергоресурсах при снижении углеродоемкости валового внутреннего продукта. Приоритетное внимание уделяется сокращению выбросов диоксида углерода, образующегося при сжигании органического топлива, поскольку именно он вносит определяющий вклад в развитие парникового эффекта.

В настоящее время рассматриваются различные подходы к снижению роста концентрации диоксида углерода в атмосфере, а в долгосрочной перспективе – к ее уменьшению. Учитывая, что быстрый отказ от ископаемого топлива технологически и экономически затруднителен, значительный интерес представляет концепция улавливания, утилизации и хранения углерода (CCUS). Она позволяет снизить эмиссию при сохранении роли традиционной энергетики.

Существует четыре основных типа процесса улавливания CO_2 :

1. Улавливание после сжигания. Преимущественно реализуется через абсорбционные установки с аминными растворами. К этой же категории относятся адсорбция на твердых носителях, использование топливных элементов, включая элементы с расплавленным карбонатом натрия и калия, и мембранные методы разделения.

2. Кислородное сжигание. Топливо сжигается в смеси кислорода и рециркулируемого CO_2 . После удаления оксидов азота процесс выделения CO_2 упрощается до конденсации водяного пара из дымовых газов, состоящих преимущественно из углекислого газа и воды.

3. Улавливание перед сжиганием. Применяется на электростанциях с внутрицикловой газификацией. Диоксид углерода улавливается из потока топливного газа под давлением с использованием физических абсорбентов или адсорбции при переменном давлении.

4. Улавливание в химическом цикле. Этот подход основан на применении высокотемпературных циклов с оксидами металлов в качестве носителя кислорода [2].

Наибольшее распространение получил метод улавливания CO_2 после сжигания. Одним из его вариантов является химическая абсорбция, базирующаяся на протекании химической реакции (рис. 1).

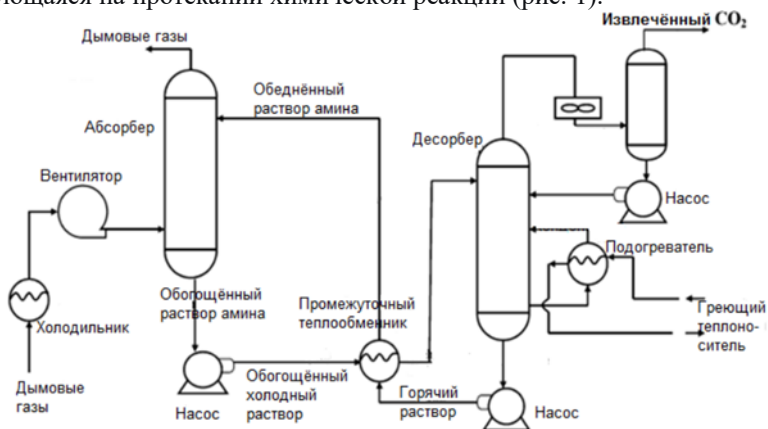


Рисунок 1 – Схема химической абсорбции CO_2

Для обеспечения эффективной работы абсорбера важным фактором является состав раствора. Например, для моноэтаноламина максимальная абсорбционная способность достигается при концентрации около 30%, однако на практике используют 8–13% растворы. Это связано с необходимостью снижения потерь реагента, которые возрастают при увеличении температуры и концентрации раствора.

Дымовой газ после экономайзера поступает в контактный холодильник, где он охлаждается для более легкой абсорбции, чем ниже температура – тем легче абсорбция. После этого охлажденный газ поступает в абсорбер снизу и поднимаются наверх. Холодный раствор амина подается и разбрызгивается в верхней части абсорбера и движется вниз. При этом протекает реакция поглощения CO_2 из дымовых газов. Далее обогащенный раствор амина насосом подается в десорбер. Греющим теплоносителем осуществляется нагрев раствора амина, в результате чего извлекаются растворенные в нем газы, а также пары воды и амина. Извлеченные в десорбере газы сепарируются и охлаждаются. Обедненный горячий раствор охлаждается, а затем направляется на рециркуляцию в абсорбер. Для экономии теплоты, подводимой для десорбции и охлаждения потока обедненного раствора амина, используется промежуточный теплообменник (регенератор), в котором теплота потока после десорбера передается обогащенному раствору, идущему в него.

Рассмотренный принцип работы абсорбционно-десорбционного контура с использованием регенерации тепла показывает, что данная технология позволяет эффективно извлекать CO_2 из дымовых газов, однако требует оптимизации рабочих параметров (концентрация абсорбента, температурные режимы) для минимизации энергозатрат и потерь реагента.

Таким образом, технологии улавливания углерода выступают в качестве возможного переходного решения, позволяющего сочетать надежность энергоснабжения с сокращением антропогенного воздействия на климат. Метод химической абсорбции, обладает высокой эффективностью извлечения диоксида углерода, однако сопряжен с рядом серьезных недостатков: высокой энергоемкостью процесса регенерации, рисками деградации сорбентов и коррозионным износом оборудования. Дальнейшие исследования в этой области могут быть направлены на повышение энергоэффективности абсорбционных процессов, а также поиск альтернативных сорбентов с низкой токсичностью, повышенной стойкостью к примесям дымовых газов и сниженной коррозионной активностью.

Литература:

1. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – URL: <https://www.belstat.gov.by> (дата обращения: 27.03.2026).

2. Рябов, Г.А. Технологии улавливания диоксида углерода на ТЭС, его транспортировка, полезное использование и захоронение / Г.А. Рябов и [др.]. // Экология, энергетика, энергосбережение.– М.: «Мосэнерго», 2022. – 36 с.

3. Филиппов, С.П. Возможности использования технологий улавливания и захоронения диоксида углерода при декарбонизации мировой экономики (обзор) / С.П. Филиппов, О.В. Жданев // Теплоэнергетика. 2022. № 9. С. 5-21.