

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВОДНОЙ АБСОРБЦИИ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

**Берёзко Т.М., студент**

**Научный руководитель Зеленуха Е.В.**

**Белорусский национальный технический университет, Беларусь**

*В статье рассматривается проблема глобального изменения климата, вызванного антропогенными выбросами парниковых газов. Проанализированы основные стратегии снижения выбросов, включая переход на низкоуглеродное топливо, возобновляемую энергетику и технологии улавливания, утилизации и хранения углекислого газа (CCUS). Особое внимание уделено методу водной абсорбции диоксида углерода (CO<sub>2</sub>): описаны физико-химические основы процесса, типовая схема установки, а также преимущества и недостатки метода.*

*Ключевые слова: глобальное изменение климата, парниковые газы, диоксид углерода, технологии CCUS, водная абсорбция, абсорбер, десорбер, углеродная нейтральность.*

Глобальное изменение климата является одной из наиболее острых экологических проблем XXI века. По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), средняя температура поверхности Земли с 1880 по 2023 год увеличилась приблизительно на 1,1 °С, причём темпы потепления существенно ускорились в последние четыре десятилетия. Основная причина наблюдаемых климатических изменений – антропогенная эмиссия парниковых газов, прежде всего диоксида углерода (CO<sub>2</sub>), метана (CH<sub>4</sub>) и закиси азота (N<sub>2</sub>O). Концентрация CO<sub>2</sub> в атмосфере достигла в 2023 году свыше 420 ppm, что на 50 % превышает доиндустриальный уровень. Основным источником выбросов – сжигание ископаемого топлива.



Рисунок 1 – Динамика выбросов парниковых газов в Республике Беларусь

Например, в Республике Беларусь, согласно данным [1] в структуре выбросов парниковых газов наблюдается устойчивое доминирование энергетического сектора, на долю которого приходится более 50% эмиссии (рис. 1).

Парижское соглашение 2015 года установило цель ограничения потепления уровнем 1,5–2,0°C, что требует радикального сокращения выбросов парниковых газов.

В настоящее время, многие страны применяют различные подходы по снижению поступления выбросов углекислого газа в атмосферу. Среди них: использование низкоуглеродного топлива (ядерное топливо, водород и др.), использование возобновляемых видов энергии (энергия ветра, солнечная энергия, геотермальная энергия и др.), повышение энергоэффективности и внедрение мероприятий по энергосбережению, а также применение технологий по улавливанию, утилизации и хранению углекислого газа (Carbon Capture, Utilization and Storage – CCUS) (рис. 2).

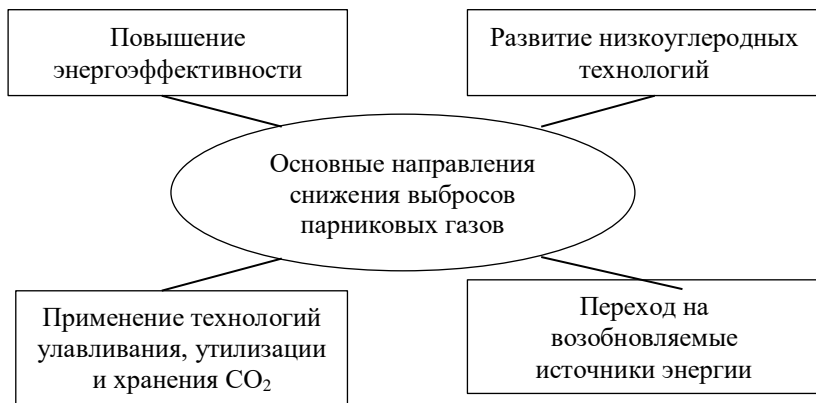


Рисунок 2 - Основные направления снижения выбросов парниковых газов

Значимым инструментом в достижении углеродной нейтральности являются технологии CCUS. Их применение требует значительных капиталовложений и технологических инноваций, однако они позволяют достичь значительно более существенного сокращения выбросов углекислого газа – более чем на 50%. Технологии CCUS включают:

- улавливание углекислого газа при сжигании топлива или в промышленных технологических процессах;
- транспортировку уловленного диоксида углерода;

– использование  $\text{CO}_2$  в качестве ресурса для создания ценных продуктов или услуг;

– постоянное хранение глубоко под землей в геологических формациях.

Технологии улавливания углекислого газа разнообразны и включают в себя абсорбцию (например, водную или с использованием аминов), адсорбцию (использование пористых материалов) и мембранные методы. Выбор конкретной технологии улавливания углекислого газа зависит от типа источника выбросов и экономических факторов. Среди методов извлечения  $\text{CO}_2$  ведущее положение занимают абсорбционные методы.

Абсорбция – массообменный процесс поглощения компонентов газовой смеси жидким поглотителем. При физической абсорбции растворение газа происходит без химического взаимодействия. Движущей силой является разность парциальных давлений поглощаемого компонента в газовой фазе и равновесного давления над раствором. Растворимость газа подчиняется закону Генри и возрастает с увеличением давления и снижением температуры. Основное преимущество физической абсорбции перед химической – значительно меньшее энергопотребление при регенерации абсорбента. Однако эффективность существенно зависит от парциального давления целевого компонента: при низких давлениях степень извлечения снижается.

Особый интерес представляет метод водной абсорбции, использующий воду в качестве поглотителя, что обусловлено его экологической чистотой и доступностью абсорбента. Схема установки улавливания  $\text{CO}_2$  методом водной абсорбции представлена на рисунке 3 [2].

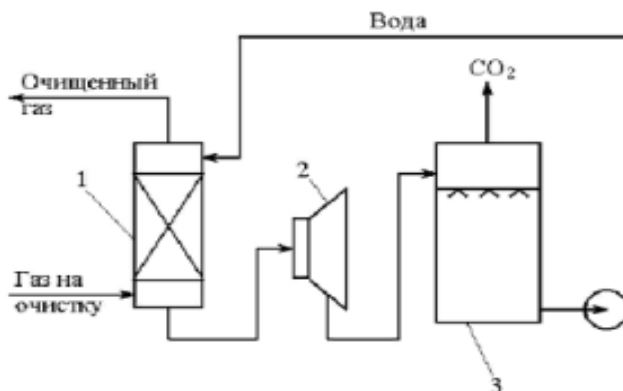


Рисунок 3 – Схема установки улавливания  $\text{CO}_2$  методом водной абсорбции  
1- абсорбер, 2 – рекуперационная турбина, 3 - десорбер

Как следует из рисунка 3, типовая установка водной абсорбции включает два основных аппарата:

– **абсорбер** (обычно насадочная или тарельчатая колонна). Газ, содержащий  $\text{CO}_2$ , подается снизу вверх, а вода – сверху вниз. При контакте фаз  $\text{CO}_2$  переходит в жидкую фазу. На выходе получают очищенный газ, обедненный по  $\text{CO}_2$ , и насыщенный водный раствор;

– **десорбер** (регенератор). Насыщенный раствор нагревают или снижают давление. Равновесие сдвигается в сторону выделения  $\text{CO}_2$ , который отводится в виде концентрированного потока и может быть направлен на утилизацию или хранение. Вода возвращается в абсорбер.

Основные преимущества метода – доступность и дешевизна абсорбента, простота конструкции. Недостатки – невысокая поглотительная способность водой диоксида углерода (8 кг  $\text{CO}_2$  на 100 кг абсорбента), небольшая селективность, чрезмерно большие потери газа при высоком давлении вследствие повышения его растворимости. Наряду с диоксидом углерода в воде растворяются водород, оксид углерода, азот и др. Поэтому выделяющийся диоксид углерода является недостаточно чистым.

Метод водной абсорбции наиболее эффективен при высоких парциальных давлениях  $\text{CO}_2$  – в цементной промышленности, металлургии, при обогащении биогаза. Перспективы его применения связаны с оптимизацией параметров процесса и созданием гибридных схем, сочетающих водную абсорбцию с мембранным разделением и адсорбцией.

### Литература:

1. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – URL: <https://www.belstat.gov.by> (дата обращения: 25.03.2026).

2. Ахметова В.Р., Смирнов О.В. Улавливание и хранение диоксида углерода-проблемы и перспективы // Башкирский химический журнал. – 2020. – Т. 27. – № 3. – С. 103–115.

3. Салахов И.И., Амансарыев А.Б., Горячев А.А., Черкасова Е.И. Обзор технологий улавливания, утилизации и хранения диоксида углерода. Материалы VII Международной научно-практической конференции «Булатовские чтения». - 2023. – Т. 2. – С. 112–118.

4. Технологии улавливания диоксида углерода на ТЭС, его транспортировка, полезное использование и захоронение / [Г.А. Рябов; Перспективы применения установки улавливания углекислого газа на филиалах ПАО «Мосэнерго» / С.А. Петелин, А.Н. Вивчар, П.В. Бублей, В.А. Сердюков, О.Ю. Сигитов]. – 2022 – 32 с.