

УДК 66.074.331

## ***ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ СОКРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В АТМОСФЕРУ***

***Крыжко Д. А.***

*студент<sup>1</sup>,*

*Российский университет транспорта РУТ (МИИТ),*

*Москва, Россия*

### **Аннотация**

Статья посвящена обзору современных технологий, направленных на сокращение выбросов углекислого газа в атмосферу, что является важным шагом в решении проблемы глобального потепления и климатических изменений. Рассматриваются три основных метода: физическая абсорбция, хемосорбция и адсорбция. Каждый из них характеризуется своими преимуществами и ограничениями, включая эффективность, экономичность и универсальность применения. Особое внимание уделяется промышленным абсорбентам, таким как вода, метанол и этаноламин, а также пористым материалам, включая активированный уголь и цеолиты. Анализируется влияние индустриальной революции и современного уровня выбросов CO<sub>2</sub> на экосистемы планеты. В заключении подчеркивается необходимость дальнейших исследований и инновационных решений для достижения углеродной нейтральности.

**Ключевые слова:** углекислый газ, выбросы, абсорбция, хемосорбция, адсорбция.

## ***TECHNOLOGICAL REVIEW OF METHODS OF REDUCING CARBON DIOXIDE EMISSIONS INTO THE ATMOSPHERE***

---

<sup>1</sup> Научный руководитель: Попов Владимир Георгиевич, профессор, д.т.н., РУТ (МИИТ)

Scientific supervisor: Popov Vladimir Georgievich, professor, doctor of technical sciences, RUT (MIIT)

Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

**Kryzhko D. A.**

*student,*

*Russian University of Transport RUT (MIIT),*

*Moscow, Russia*

## **Abstract**

This article provides an overview of modern technologies aimed at reducing carbon dioxide emissions into the atmosphere, which is an important step in solving the problem of global warming and climate change. Three main methods are considered: physical absorption, chemisorption and adsorption. Each of them is characterized by its own advantages and limitations, including efficiency, cost-effectiveness and versatility of application. Particular attention is paid to industrial absorbents such as water, methanol and ethanolamine, as well as porous materials including activated carbon and zeolites. The impact of the industrial revolution and the current level of CO

need for further research and innovative solutions to achieve carbon neutrality is emphasized.

**Keywords:** carbon dioxide, emissions, absorption, chemisorption, adsorption.

В современном мире проблематика углеродного следа становится всё более и более насущной. Стремительно меняющийся климат, глобальное потепление, экстремальные погодные явления и разрушение экосистем определяют для мирового сообщества актуальность данного вопроса. Сектор энергетики, промышленности и транспорта остаются основными источниками CO<sub>2</sub> и без внедрения эффективных технологий уровень выбросов продолжит расти, угрожая биосфере не только в долгосрочной перспективе, но и в ближайшем будущем. Более того, международные обязательства, такие как Парижское соглашение 2015 года, требуют от стран активных действий для

достижения углеродной нейтральности, что делает эту проблему первоочередной в политической и экономической повестке.

Углекислый газ имеет концентрацию 0,03-0,045% от общего объема атмосферной смеси. Он играет большую роль в жизнедеятельности биосферы, а также в поддержании температуры Земли. В рамках современного углеродного цикла углекислый газ, находящийся в атмосфере, поддерживает процесс фотосинтеза. Затем, после участия в жизнедеятельности растений или животных, углеродные соединения попадают обратно в атмосферу или почву при распаде органических веществ. Часть углекислого газа абсорбируется мировым океаном, где образуются карбонаты, которые в свою очередь откладываются в виде пластов. Далее из этих пластов высвобождается углекислый газ при вулканической деятельности и диоксид углерода опять попадает в атмосферу. Обобщая, можно сделать вывод о том, что потоков углерода в атмосфере, гидросфере и литосфере множество, и углекислый газ играет в них существенную роль [1, 2].

С середины XIX века, с началом индустриальной революции, уровень углекислого газа в атмосфере начал существенно расти из-за массового сжигания угля для производства энергии и развития промышленности. К этому времени концентрация CO<sub>2</sub> в атмосфере достигла 280 ppm (parts per million - частей на миллион) — уровень, который оставался стабильным на протяжении тысячелетий. С развитием технологий и увеличением использования нефти и газа в XX веке выбросы углекислого газа значительно ускорились, особенно после Второй мировой войны, когда начался бурный экономический рост. К 1950-м годам ученые, такие как Чарльз Килинг, начали систематически измерять уровень CO<sub>2</sub> в атмосфере (так называемая "кривая Килинга"). Сегодня уровень углекислого газа продолжает расти, и это способствует глобальному потеплению и климатическим изменениям. [3].

Согласно докладу ООН в рамках программы ЮНЕП от 24 октября 2024 года о разрыве в уровне выбросов за 2023 год распределение выбросов углекислого газа по отраслям следующее [4]:

- Энергетика – 25%;
- Промышленность – 11%;
- Транспорт – 15%;
- Строительство – 6%;
- Производство топлива – 10%;
- Промышленные процессы – 9%;
- Сельское хозяйство и пр. – 18%;
- Другое – 4%.

На основании этих данных, можно сделать вывод о необходимости развития технологий, сокращающие выбросы диоксида углерода в атмосферу.

Методы очистки газов от диоксида углерода можно разделить на следующие группы [5]:

- физическая абсорбция, основанная на растворимости  $\text{CO}_2$  в полярных растворителях;
- хемосорбция, основанная на химическом связывании  $\text{CO}_2$  при взаимодействии его с соединениями щелочного характера;
- адсорбция, основанная на поглощении  $\text{CO}_2$  твердыми сорбентами;

Физическая абсорбция представляет из себя процесс поглощения частиц из воздушной смеси в жидкую среду. Подчиняется абсорбция закону Генри, который гласит, что при постоянной температуре растворимость (концентрация) газа в данной жидкости прямо пропорциональна давлению этого газа над раствором.

Процесс протекает в специальных устройствах – абсорберы. Ввиду того, что абсорбция проходит на поверхности раздела фаз, то устройства принято разделять поверхностные, распыляющие и барботажные. Существуют два популярных в промышленности абсорбента – вода и метанол.

Абсорбция водой требует определенных условий, а именно низкая температура и высокое давление. При промывке газа холодной водой и высоким давлением диоксид углерода поглощается водой, тем самым очищая газовую

смесь. Состоит это абсорбируемое вещество на  $\approx 85\%$  диоксида углерода, а остальное это водород, азот и сероводород.

Использование метанола в абсорберах происходит при температуре  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  и давлении  $0,4\text{ МПа}$ . Растворимость диоксида углерода в метиловом спирте выше, чем в воде (1 грамм метанола абсорбирует  $600\text{ см}^2\text{ CO}_2$ ), поэтому он более промышленно выгоден [5, 6].

Данный метод имеет следующие преимущества:

- Отсутствие химической реакции;

Данное преимущество упрощает и удешевляет процесс абсорбции, тем самым увеличивает срок службы абсорбента

- Многоразовость;

Абсорбенты можно легко регенерировать путем снижения давления или повышения температуры.

- Экономичность.

Этот метод часто используют для комплексной очистки газовых выбросов, так как абсорбируется не только  $\text{CO}_2$ , но и  $\text{H}_2\text{S}$  и другие газы.

Хемосорбция диоксида углерода основана на способности некоторых химических веществ связываться с углекислым газом, образуя растворимые или твердые соединения. Насадочные и вихревые абсорберы самые популярные механизмы для хемосорбции, где последний является самым производительным, так как они с нисходящим способом взаимодействия фаз и циркуляцией жидкости через дополнительную емкость [7]. Основные абсорбенты – водный раствор этаноламин и раствор карбонатов.

Используя этаноламин в процессе хемосорбции, приводит к появлению карбонатов и бикарбонатов, которые затем разлагаются в десорбере, выделяя углекислый газ при температуре  $110\text{-}120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Регенерация сорбента требует значительного количества тепла, чтобы десорбировать диоксид углерода. КПД установки при подходящей конфигурации может составлять до  $99\%$ .

Очистка растворами карбонатов на взаимодействии диоксида углерода с водными растворами карбонатов натрия и калия (обычно поташа) с Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

активирующими добавками оксидов поливалентных металлов. Использование карбонатов менее эффективно, чем этаноламин, но более выгоден из-за своей стоимости [5-7].

Важной характеристикой метода является его универсальность. Он может быть применен как к стационарным источникам выбросов (например, электростанциям), так и к мобильным установкам, таким как морские платформы. При этом эффективность улавливания может достигать 90%, что делает его привлекательным для предприятий, стремящихся к декарбонизации.

Несмотря на свои преимущества, метод химической абсорбции сталкивается с рядом недостатков. К ним относятся коррозия оборудования из-за свойств аминовых растворов, а также утилизация отходов, образующихся в процессе. Кроме того, энергетическая интенсивность десорбции повышает затраты, особенно для крупных предприятий с высокими объемами выбросов. Решение этих проблем возможно за счет внедрения новых материалов, таких как гибридные амины или альтернативные абсорбенты, а также разработки систем рекуперации тепла.

Адсорбция – это процесс поглощения вещества поверхностным слоем твердого тела. Основу метода составляет использование твердых адсорбентов, которые способны избирательно поглощать молекулы CO<sub>2</sub> из газовой смеси. Наиболее распространенными адсорбентами для улавливания CO<sub>2</sub> являются пористые материалы, такие как активированный уголь и цеолиты. Эти материалы обладают высокой удельной поверхностью, что обеспечивает их способность эффективно захватывать молекулы углекислого газа [5, 6].

Установки для адсорбции могут быть адаптированы к различным масштабам производства, от небольших объектов до крупных промышленных предприятий. Кроме того, технология позволяет улавливать не только углекислый газ, но и другие загрязняющие вещества, что делает ее многоцелевой. Однако эффективность процесса во многом зависит от условий эксплуатации, таких как температура, влажность и давление. Данный метод отлично комбинируется с технологическими процессами на цементных заводах,

как так там активно используются цеолиты как активную минеральную добавку для цементов, бетонов и строительных растворов.

Процесс также обладает и недостатками. Одной из основных проблем является снижение эффективности адсорбента со временем из-за загрязнения или износа.

Современная проблема углеродного следа требует внедрения эффективных технологий для сокращения выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу снижения выбросов, включая физическую абсорбцию, хемосорбцию и адсорбцию, рассмотрены с учетом их эффективности и особенностей применения в разных условиях. Каждый метод обладает своими преимуществами, включая экономичность и многообразие, однако сталкивается с технологическими и эксплуатационными ограничениями. Развитие технологий и материалов является необходимым условием для достижения углеродной нейтральности, что подчеркивает актуальность дальнейших исследований и инноваций.

### **Библиографический список:**

1. Petty, G. W.: A First Course in Atmospheric Radiation, pages 229—251, Sundog Publishing, 2004
2. Гинзбург, А. С. Исследование динамики глобального углеродного цикла с помощью замкнутой малопараметрической модели / А. С. Гинзбург, Н. Н. Завалишин // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 44, № 6. – С. 737-754. – EDN JUJYJX
3. Журнал «Вестник атома» № 2 – март 2021, с. 3–7 [Электронный ресурс]. URL: <https://goo.su/8PGr> (дата обращения: 11.11.2024)
4. Доклад Организации Объединенных Наций в рамках программы ЮНЕП о разрыве в уровне выбросов за 2024 год – октябрь 2024, [Электронный ресурс]. URL: <https://www.unep.org/ru/resources/doklad-o-razryve-v-urovne-vybrossov-za-2024-god> (дата обращения: 11.11.2024)

5. Технология переработки углеводородных газов : учебник для вузов / В. С. Арутюнов, И. А. Голубева, О. Л. Елисеев, Ф. Г. Жагфаров. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 723 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-12398-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. с. 162 — URL: <https://urait.ru/bcode/542503/p.162> (дата обращения: 25.12.2024)
6. Каракеян, В. И. Процессы и аппараты защиты окружающей среды : учебник и практикум для вузов / В. Б. Кольцов, О. В. Кондратьева ; под общей редакцией В. И. Каракеяна. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 529 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-20302-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/557927> (дата обращения: 25.12.2024)
7. Механизм и кинетика хемосорбции углекислого газа водным раствором карбоната натрия / А. В. Старкова, А. Ф. Махоткин, А. С. Балыбердин, И. А. Махоткин // Вестник Казанского технологического университета. — 2011. — № 15. — С. 76-81. — EDN OFSLVF

*Оригинальность 82%*