

УДК 502/504

Игнатова Алла Юрьевна, доцент, к.б.н.
(КузГТУ, г. Кемерово)
Alla Yu. Ignatova, candidate of biological sciences
(KuzSTU, Kemerovo)

**СПОСОБЫ УЛАВЛИВАНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА
ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ «ПАРНИКОВОГО» ЭФФЕКТА****METHODS FOR CAPTURING CARBON DIOXIDE TO REDUCE THE
GREENHOUSE EFFECT**

В статье рассматривается суть методов улавливания углекислого газа, разработанных для промышленности, их достоинства и недостатки, а также перспективы дальнейшей разработки технологий в области борьбы с «парниковыми газами».

The article discusses the essence of carbon dioxide capture methods developed for industry, their advantages and disadvantages, as well as the prospects for further development of technologies in the field of combating "greenhouse gases".

Парниковый эффект – повышение температуры нижних слоев атмосферы за счет ее различной прозрачности в видимом и дальнем инфракрасном диапазонах. Основными парниковыми газами, приводящими к нагреву атмосферы Земли, являются водяной пар (вклад – 36-72 %), двуокись углерода (9-26 %), метан (4-9 %) и озон (3-7 %). Часть солнечных лучей, падающих на Землю, поглощаются поверхностью и нагревают ее, примерно 1/3 энергии, идущей от Солнца, отражается Землей и атмосферой, а парниковые газы, окружающие Землю, отражают излучение, идущее от Земли, и задерживают его в атмосфере, приводя к дополнительному ее нагреву (рис. 1). Следует отметить, что полное отсутствие в атмосфере парниковых газов привело бы к тому, что средняя температура Земли составляла бы -19 °С (сейчас средняя температура Земли составляет +14 °С). Проблема заключается именно в наличии избыточного (антропогенного) количества парниковых газов, приводящих к увеличению глобальной температуры поверхности.

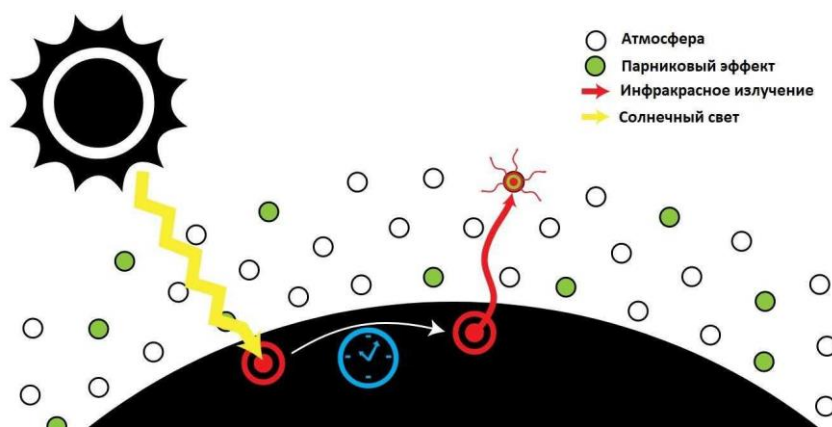


Рис. 1. Парниковый эффект

Для сдерживания глобального потепления существуют различные подходы. Предлагается замена ископаемого топлива на возобновляемые источники энергии, переход с бензинового или дизельного транспорта на электромобили. Другие подходы связаны с внедрением технологий улавливания, использования и, иногда, хранения углерода на производствах, связанных с выбросами углекислого газа.

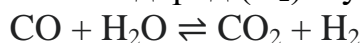
В зависимости от предполагаемого места применения технологии улавливания или применения энергоустановки существуют три основные концепции улавливания CO_2 , образующегося из первичного ископаемого топлива (уголь, природный газ или нефть), биомассы или смеси этих видов топлива.

1. Системы улавливания после сжигания отделяют CO_2 от дымовых газов, образующихся в воздухе в результате сжигания первичного топлива. В этих системах обычно используется жидкий растворитель для захвата небольшой доли CO_2 (обычно 3–15 % по объему), присутствующего в потоке дымового газа, в котором главной составляющей является азот (из воздуха) (рис. 2). Энергоустановки с улавливанием CO_2 после сжигания твердого топлива в воздухе (post-combustion) имеют основное достоинство – эту технологию можно внедрять на действующих ТЭС без модернизации существующего оборудования [1, 2].



Рис. 2. Декарбонизация после сжигания топлива

2. В энергоустановках с улавливанием CO_2 до сжигания (precombustion) уголь подвергается газификации в результате чего получается синтез-газ. Затем синтез-газ проходит ряд ступеней очистки и подвергается шифт-реакции, в ходе которой содержащийся в синтез-газе монооксид углерода (CO) преобразуется в водород (H_2) и углекислый газ (CO_2).



Углекислый газ удаляется из синтеза-газа, а оставшийся водород сжигается в газовой турбине. В отдельной установке углекислый газ сжимается и направляется на захоронение или утилизацию [3].

В системах улавливания до сжигания осуществляется обработка первичного топлива в реакторе с потоком, насыщенным воздухом или кислородом, для создания смеси, состоящей главным образом из окиси углерода и водорода («синтетический газ»). Дополнительный водород наряду с CO_2 образуется в результате реакции окиси углерода с потоком во вторичном реакторе («смещенный реактор»). После этого получившаяся смесь водорода и CO_2 может быть разделена на газовый поток CO_2 и поток водорода, который может сжигаться для получения электроэнергии и/или тепла. Улавливание до сжигания используется, как правило, в энергоустановках, в которых применяется технология комбинированного цикла комплексной газификации (КЦКГ) (рис. 3).

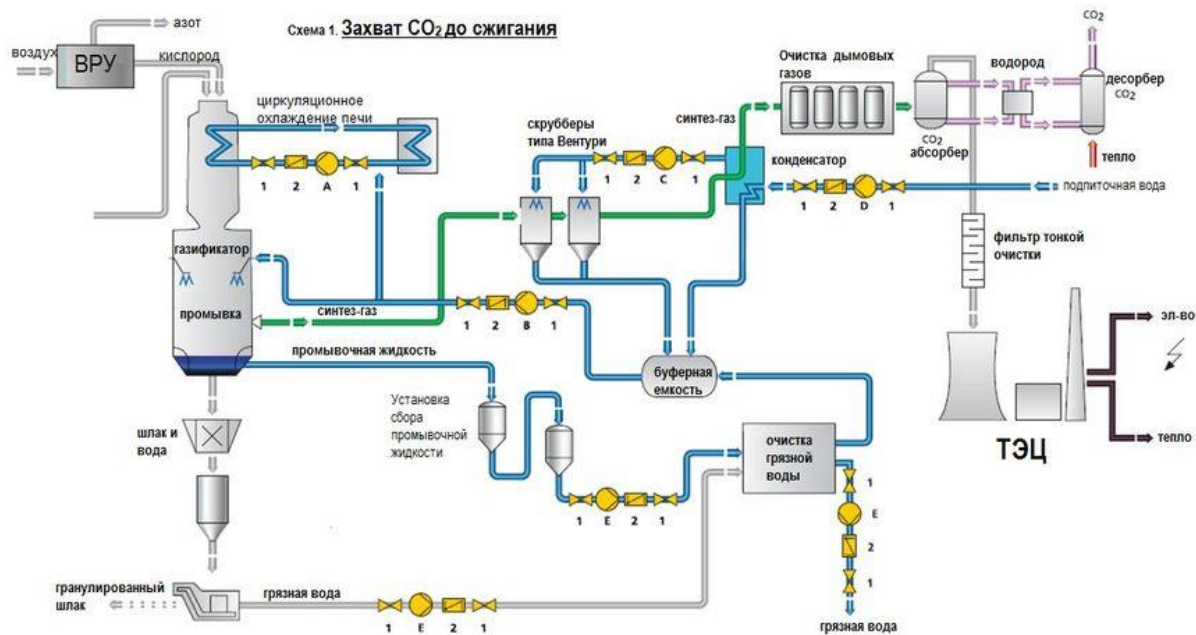


Рис. 3. Улавливание CO_2 до сжигания

3. Метод кислородно-топливного сжигания основан на сжигании топлива (угля) с использованием чистого кислорода вместо воздуха в качестве основного окислителя (рис. 4). В системах сжигания с обогащением топлива кислородом вместо воздуха для сжигания первичного топлива используется кислород для получения дымового газа, который состоит главным образом из водяного пара и CO_2 . Благодаря этому дымовой газ характеризуется высокими концентрациями CO_2 (более 80 % по объему). Затем водяной пар удаляется посредством охлаждения и компрессии газового потока. Сжигание топлива с обогащением кислородом требует сепарации кислорода от воздуха в начале технологической цепочки, при этом в большинстве современных конструкций предполагается использование кислорода с чистотой в 95–99 %. Перед отправкой CO_2 на хранение может потребоваться дополнительная обработка дымового газа для удаления загрязнителей воздуха и несжиженных газов (таких как азот) из дымового газа [1].

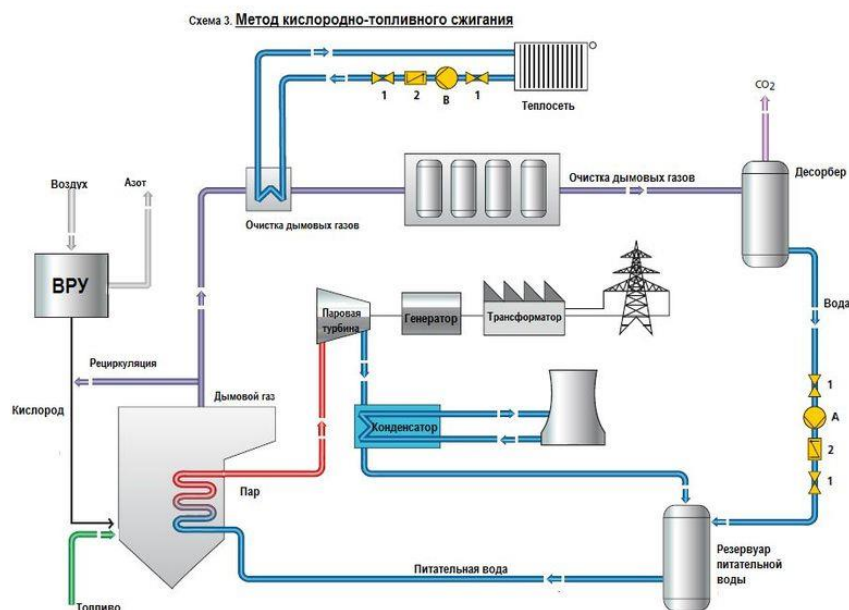


Рис. 4. Метод кислородно-топливного сжигания

Все перечисленные концепции улавливания требуют наличия этапа сепарации CO_2 , H_2 или O_2 от основного газового потока (такого как дымовой газ, синтетический газ, воздушный или неочищенный природный газ). Эти этапы сепарации могут быть осуществлены при помощи физических или химических растворителей, мембран, твердых сорбентов или криогенного разделения. Выбор конкретной технологии улавливания определяется главным образом условиями процесса, в которых она должна действовать. Современные системы улавливания после или до сжигания, предназначенные для энергоустановок, могут улавливать 85-95 % образующегося CO_2 . Возможна более высокая эффективность улавливания, хотя сепараторы становятся значительно большими по размеру, более энергоемкими и более дорогостоящими [1].

Более интересны с точки зрения фиксации углекислого газа с одновременным получением ценной продукции являются идеи улавливания диоксида углерода с использованием растений, которые интенсивно связывают углекислый газ и дают высокий урожай биомассы (например, рапс) или водорослей (например, ламинарии, хлорелла), которые могут интенсивно поглощать CO_2 .

Водоросли, в частности, одноклеточные водоросли рода *Chlorella* весьма неприхотливы к условиям среды, быстро растут, нет необходимости в использовании земельных ресурсов при их выращивании, биомассу водорослей можно использовать как биодобавку на корм скоту.

В 2019 г. американская компания Hypergiant Industries разработала прототип биореактора, использующего морские водоросли для поглощения углекислого газа [4]. Водоросли живут в системе трубок и резервуаре для

воды внутри устройства, которое прокачивается воздухом и подвергается воздействию искусственного света, давая растению пищу, необходимую для его процветания, и позволяет производить биотопливо. Эффективность поглощения CO_2 зависит от освещения, температуры и уровня pH и может быть в 400 раз выше по сравнению с деревьями, занимающими ту же площадь (рис. 5).

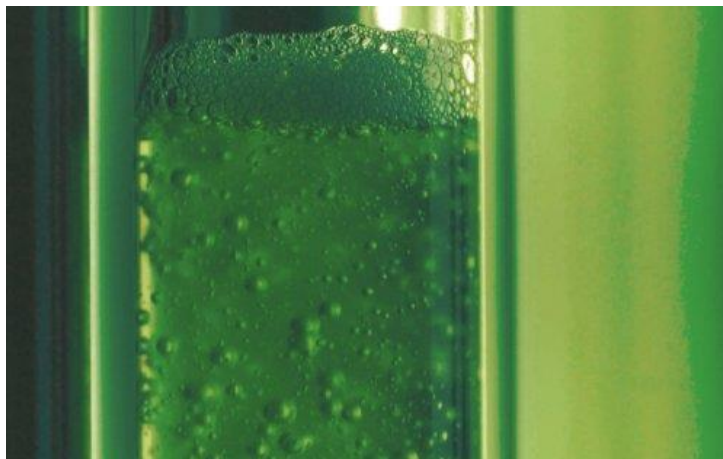


Рис. 5. Утилизация углекислого газа с помощью микроводоросли *Chlorella vulgaris*

Тогда как мероприятия по улавливанию парниковых газов требуют немалых дополнительных ресурсов по сравнению с технологией без улавливания, что будет приводить к увеличению себестоимости продукции, то технологии с использованием растительной биомассы для фиксации углекислого газа и получением качественных продуктов выглядят более привлекательно с экономической позиции.

Список литературы

1. Улавливание и хранение двуокиси углерода / Техническое резюме. Специальный доклад МГЭИК, 2005. [Электронный ресурс]: https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_spm_ts_ru.pdf (дата обращения 02.10.2022 г.)
2. Leung D. Y. C., Caramanna G., Maroto-Valer M. An overview of current status of carbon dioxide capture and storage technologies // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014. Vol. 39. P. 426–443.
3. Череповицын А.Е. Целесообразность применения технологий секвестрации CO_2 в России / А.Е. Череповицын, К.И. Сидорова, Н.В. Смирнова // Нефтегазовое дело: электронный журнал. 2012. № 5. [Электронный ресурс]: <http://ogbus.ru/> (дата обращения 02.10.2022 г.).
4. Биореактор на водорослях поглощает CO_2 в 400 раз эффективнее деревьев [Электронный ресурс]: <https://dzen.ru/media/futurycon/bioreaktor-na-vodorosliah-pogloscaet-so2-v-400-raz-effektivnee-derevev->

[5d8367f8aad43600aead5fd0](#) (дата обращения 02.10.2022 г.).