

**УДК 620.9**

С.В. КОРОЛЬ, А.С. ГОЛУБЬ, студенты гр.10604218 (БНТУ)  
Научный руководитель В.В. КРАВЧЕНКО, к.э.н., доцент(БНТУ)  
г. Минск

### ПЕРСПЕКТИВЫ ЭНЕРГЕТИКИ: ЛОВУШКА ДЛЯ УГЛЕРОДА

Мазут, уголь и газ извлекаются из Земли для того, чтобы обеспечить мир энергией. При сжигании этого ископаемого топлива и высвобождении его энергии происходит больше всего техногенных выбросов диоксида углерода ( $CO_2$ ) (рисунок 1) – самого распространенного парникового газа в атмосфере Земли после водяного пара.



Рисунок 1 – Процент техногенных выбросов углерода

При достижении концентрации углекислого газа, равной 0,045%, температура на планете повысится на  $2^{\circ}C$ , что негативно повлияет на окружающую среду и приведет к серьезным последствиям. Для достижения критического значения необходимо сжечь порядка 1 триллиона тонн углерода или около 3,6 триллионов тонн углекислого газа (согласно расчетам Международного энергетического агентства) [3]. Исходя из этого, можно сделать вывод, что люди истратили уже половину дозволённого лимита и триллионную тонну могут сжечь в течение 20–30 лет. И если человечество будет бездействовать, к 2050 году на планете будет выделяться 57 гигатонн  $CO_2$  в год.

Стабилизация климата требует снижения глобальных выбросов  $CO_2$  на 50% к 2050. Использование технологии улавливания и хранения

углекислого газа способно снизить выделения диоксида углерода на 20% и является существенным вкладом в решение глобальной проблемы [2].

Улавливание и хранение углерода (англ. Carboncaptureandstorage, или CCS) – процесс, включающий прямое улавливание и отделение углекислого газа от различных энергетических источников. Его основная цель заключается в создании концентрированного потока  $CO_2$  высокого давления, его транспортировки по трубопроводам или с помощью судов к месту хранения, изолируя его от попадания в атмосферу, тем самым, уменьшая дальнейшее негативное воздействие избыточных парниковых газов.

На данный момент существует 3 пути для улавливания и хранения углерода в точечных источниках, т.е. на электростанциях: улавливание перед сжиганием, улавливание после сжигания и сжигание кислородным топливом.

В каждом процессе используются совершенно разные методы для снижения количества выбросов  $CO_2$ , но при этом каждый из них должен включать в себя три основных этапа: улавливание, транспортировка и хранение углерода [3].

Наиболее распространенным является улавливание углерода после сжигания. Его суть заключается в отделении двуокиси углерода от других компонентов дымового газа, выходящего из котла. Это становится возможным благодаря следующим основным способам:

- улавливание на основе растворителя, где  $CO_2$  сначала абсорбируется раствором амина, а затем происходит нагрев абсорбирующей жидкости или сброс давления в ней, вследствие чего углекислый газ высвобождается из этой жидкости. Далее происходит его сжатие и охлаждение для последующей транспортировки и хранения;
- улавливание на основе твердого сорбента, который включает физическую или химическую адсорбцию газа. После чего твердый сорбент отделяется от  $CO_2$  путем уменьшения давления или повышения температуры;
- улавливание мембранами  $CO_2$ , когда дымовой газ сначала охлаждается и сжимается, затем подается через мембраны, которые физически отделяют  $CO_2$  от других составляющих дымового газа.

В системах улавливания до сжигания происходит реакция между топливом и потоком, насыщенным воздухом или кислородом ( $O_2$ ), образуя синтез-газ, из которого  $CO_2$  удаляется с помощью тех же методов, как и в улавливании после сжигания. Происходит разделение смеси на газовый поток  $CO_2$  и поток водорода.

Во время сжигания кислородного топлива сначала удаляется азот из воздуха, после чего остается практически чистый кислород. Именно он используется для сжигания топлива. В этом случае дымовой газ состоит в

большинстве своем из водяного пара и углекислого газа, который удаляется теми же методами, как и в случае улавливания после сжигания.

Благодаря этим технологиям становится возможным уловить порядка 85–95%  $CO_2$ . После улавливания  $CO_2$  в виде криогенной жидкости под давлением (для избегания выбросов в атмосферу и безопасного хранения) необходимо транспортировать к месту постоянного хранения для подземной закачки. Лучше всего для этого использовать трубопроводы, но в случае небольших объемов подойдут и различные виды грузового транспорта.

Опираясь на исследования Министерства энергетики США, можно сделать вывод о том, что наиболее безопасными, устойчивыми и доступными местами хранения  $CO_2$  являются базальтовые образования, угольные пласты, залежи нефти и природного газа, водоносный горизонт, соляные образования и сланцы (рисунок 2) [1].

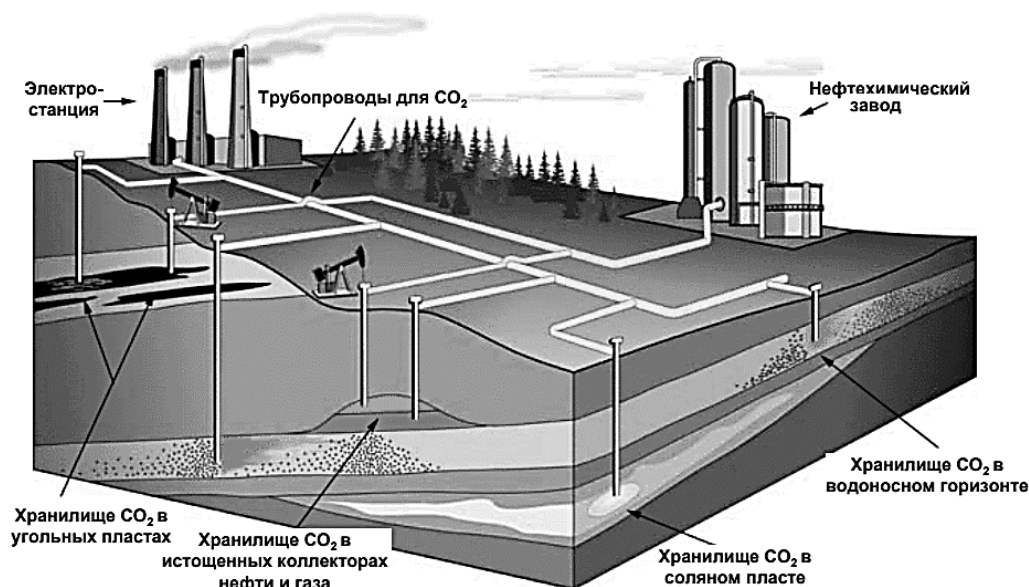


Рисунок 2 – Места хранения углерода

$CO_2$  закачивается через трубу на глубину в несколько километров ниже уровня земли, где слои породы захватывают газ, вследствие чего он не может негативно влиять на окружающую среду. Это возможно благодаря физическим и геохимическим улавливающим механизмам, которые удерживают его в пределах хранилища.

Плюсами использования технологии CCS являются:

- технологии могут снизить выбросы  $CO_2$  от электростанций, работающих на ископаемом топливе, на 80–90% (исходя из результатов исследований Агентства по охране окружающей среды США) [3];
- большая эффективность, чем при прямом захвате воздуха;

- как побочный продукт происходит удаление не только  $CO_2$ , но и оксидов азота, серы и других тяжелых металлов.  
К минусам относятся:
- стоимость внедрения отделения, транспортировки и хранения углекислого газа;
- большой вред для окружающей среды в случае утечки  $CO_2$  из хранилища.

Таким образом, технология CCS будет актуальна до тех пор, пока все производство не станет углероднейтральным. На сегодняшний день человечество не может полностью отказаться от производства  $CO_2$ , но с помощью разработки новых технологий может существенно сократить количество выбросов углекислого газа. Данная технология позволяет использовать существующую энергетическую инфраструктуру с гораздо меньшим вредом для окружающей среды. Специалисты Международного энергетического агентства предполагают, что при условии использования технологии улавливания углерода уже к 2050 году доля устраняемого углекислого газа может составить 20% от всего объема снижения выбросов.

Список литературы:

1. Best Available Technology [Электронный ресурс] / bestavailable-technology. – Режим доступа: <https://aebrus.ru/upload/iblock/4ab/4ab6540-c0371af467e429ac892c68a30.pdf/>. – Дата доступа: 16.10.2021.
2. Технология улавливания и геологического хранения углерода [Электронный ресурс] / технология улавливания и геологического хранения углерода. – Режим доступа: <https://helion-ltd.ru/tehnologiya-ulavlivaniya-i-geologicheskogo-hraneniya-uglekislogo-gaza/>. – Дата доступа : 16.10.2021.
3. CCS: что это, плюсы и минусы [Электронный ресурс] / CCS: что это, плюсы и минусы. – Режим доступа: <https://znaniesvet.ru/ulavlivaniye-i-khraneniye-ugleroda/>. – Дата доступа: 16.10.2021.

Информация об авторах:

Король Снежана Викторовна, студент гр.10604218, БНТУ, 220013, г. Минск, пр. Независимости, д. 65, [snezhanakorol2016@mail.ru](mailto:snezhanakorol2016@mail.ru)

Голубь Анастасия Сергеевна, студент гр.10604218, БНТУ, 220013, г. Минск, пр. Независимости, д. 65, [nastja.golub@mail.ru](mailto:nastja.golub@mail.ru)

Кравченко Владимир Владимирович, к.э.н., доцент, БНТУ, 220013, г. Минск, пр. Независимости, д. 65, [vladmir70@rambler.ru](mailto:vladmir70@rambler.ru)