

Самбаева Д.А.

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СНИЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ГАЗОВОЙ ФАЗЕ

D.A. Sambaeva

### ENVIRONMENTAL ASPECTS OF REDUCING THE CONCENTRATION OF CARBON DIOXIDE IN THE GAS PHASE

УДК: 66.063.61:661.993

*В статье отмечены практические основы минимизации диоксида углерода в приземном слое атмосферного воздуха на основе анализа и оценки мировых и собственных научных исследований.*

*In this article practical fundamentals of minimizing the carbon dioxide concentration in lower layers of atmosphere were noted on the basis of estimation and analyze of personal and general researches.*

В настоящее время имеется широкий спектр научных данных, где отмечено, что продолжающийся рост концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере может привести к изменению глобального климата, поэтому снижение скорости поступления  $\text{CO}_2$  в атмосферу за счет изменения структуры экономики, и в результате внедрения более эффективных методов **улавливания, утилизации и хранения  $\text{CO}_2$**  является важной задачей. С учетом этих обстоятельств ниже приведены основные способы снижения концентраций диоксида углерода в приземном слое атмосферного воздуха.

С целью минимизации концентрации диоксида углерода в окружающей природной среде необходимо шире использовать водную, ветровую энергию, а в дальнейшей перспективе - энергию реакции вещества и антивещества. При этом наиболее перспективной технологией снижения эмиссии  $\text{CO}_2$  является внедрение комбинированной технологии производства электрической энергии, с предварительной газификацией твердого топлива за счет изменения КПД установок, включающие встроенную внутри цикловую газификацию, где углеродсодержащее топливо при высокой температуре и давлении обрабатывается паром со строго регулируемым количеством подаваемого воздуха (или кислорода), т.е. существует так называемая технология "паровое преобразование" топлива, а именно получения "синтетического газа", состоящая из оксида углерода и водорода. Полученная смесь разделяется без особых проблем: водород сжигается, а  $\text{CO}$  вновь подвергается обработке паром в присутствии катализатора. В результате образуется легко разделяемая смесь  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2$  (новая технологическая эра – водородная энергетика), но опять требуется консервация  $\text{CO}_2$ , как минимум несколько столетий [1-5].

Ведется разработка технологии получения сверх чистого угля для сжигания в газовых турбинах. Здесь одновременно исследуется процесс осаждения химических паров углеводородов для последующего улавливания углерода в форме нанонитей, как побочного продукта процесса получения водорода. При сжигании топлива почти в чистой кислородной среде ды-

мовой газ представляет собой концентрированный  $\text{CO}_2$ . Кислородная среда оберпечивает большую степень выгорания топлива. В связи с этим перспективным направлением снижение эмиссии  $\text{CO}_2$  в окружающей среде является сжигание топлива в 100% кислородной среде [2-6]. Наряду с этим в работе [6] изучаются практические аспекты фотокаталитического метода снижения  $\text{CO}_2$ , где используется инфракрасная спектроскопия для выяснения механизма возбужденного состояния смесей, используемых для снижения уровня  $\text{CO}_2$ .

Использование ядерных циклов производства тепла и энергии решает проблему эмиссии  $\text{CO}_2$ , но оно сопряжено с проблемами захоронения и переработки радиоактивных отходов и утилизации отработавшего оборудования АЭС [2,3].

Улавливания  $\text{CO}_2$  на предприятиях, использующих ископаемые топлива, ведется по трем основным направлениям: улавливание до процесса сжигания; улавливание после процесса сжигания; кислородно-топливное сжигание. Каждое из этих процессов обеспечивает отделение  $\text{CO}_2$  от газового потока. Для указанных целей разработано пять технологий: промывка химическим растворителем; очистка физическим растворителем; адсорбция/десорбция; мембранное отделение; криогенное сепарирование. Модернизация технологии сжигания твердого топлива позволяет снизить эмиссию  $\text{CO}_2$  до 20%. Дальнейшее снижение эмиссии  $\text{CO}_2$  требует применение сорбционных технологий (абсорбцией моноэтаноламином, вымораживанием и вращающимся регенеративным методом). Здесь наиболее предпочтительной технологией является очистка дымовых газов химическими растворителями, обычно амином. В результате образуется смесь с содержанием  $\text{CO}_2$ . В дальнейшем растворитель нагревается для разрушения смеси и получается сверхчистый диоксид углерод. Исследуются возможности новых поглотителей на силикатной основе, способных адсорбировать большие объемы углерода при использовании их на электростанциях, работающих на ископаемых видах топлива [2-4,6,7].

Индуктивное впрыскивание и исследование возможности улавливания  $\text{CO}_2$  в реакторах с циркулирующим кипящим слоем позволит обрабатывать и осуществить генерации процесса обжига и карбонизации сорбентов  $\text{CO}_2$ , содержащих известь [5].

Улавливание и хранение  $\text{CO}_2$  является наиболее приемлемой технологией для предприятий с большими стационарными источниками эмиссии диоксида углерода поскольку обеспечивает быстрое сокращение больших атмосферной эмиссии  $\text{CO}_2$  [6].

Предложен новый композиционный (полимерно-металлический) материал для изготовления мембраны, способные отделять CO<sub>2</sub> от других газов (CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>) [8].

Относительно дешевой технологией улавливания CO<sub>2</sub> является разработка компании Toshiba (Япония) в сотрудничестве с Astom (США), где диоксид углерод, получаемый в процессе непрерывной регенерации адсорбента, криогенным методом компримируется (до 14 МПа) и сжижается. Эффективность удаления CO<sub>2</sub> составляет 60% [2,3].

Диоксид углерода поглощается океаном, сушией (лесами, степями, полями), т.е. баланс CO, не сводится. В связи с этим в настоящее время вопрос об утилизации и разработке способов долговременного хранения CO<sub>2</sub> стоит на повестке дня экологов.

Концентрированный CO, можно закачивать под землю, где CO, будет связываться с образованием нерастворимых минералов. Установки можно было бы строить в пустынях, потому что снижение концентрации CO<sub>2</sub> в других регионах может привести вымиранию растений, используемых CO<sub>2</sub> в процессе фотосинтеза [8]. Соответственно, наиболее перспективной технологией снижения эмиссии CO, явилось бы использование биологических ресурсов [1,9].

Существует предложение извлекать избыток CO<sub>2</sub> из воздуха, сжигать и нагнетать в глубоководные слои океана, используя при этом естественную циркуляцию диоксида углерода. Другое предложение заключается в том, что рассеивать в стратосферу мельчайшие капельки серной кислоты и уменьшать тем самым приход солнечной радиации на земную поверхность [10,11].

Имеются технологии закачивания CO<sub>2</sub> в подземные горизонты или в воду мирового океана. При этом неразрабатываемые угольные пласты также могут быть использованы для хранения CO<sub>2</sub>, так как CO<sub>2</sub> адсорбируется углем, вытесняя ранее адсорбированный метан. Основным фактором при рассмотрении данного варианта хранения CO<sub>2</sub> является степень проницаемости угольного пласта. Низкая проницаемость угля затрудняет процесс нагнетания газа. Более того, нагнетание CO, может вызвать разбухание угля [7,12]. Здесь следует отметить, что впервые в мировой практике использование глубоководных минерализованных водоносных пластов для нагнетания CO<sub>2</sub> в промышленных масштабах начато в 1996 году компанией Statoil связанной с добычей природного газа. Ежегодно закачивалось до 1 млн.тонн CO<sub>2</sub> в водоносные слои, находящиеся примерно, на 800 метров ниже уровня морского дна. BP-компания Statoil и Sonatrach в 2004 году производил закачку 1 млн.тонн CO<sub>2</sub>, полученного путем его отделения от углеводородных газов в океанические воды [13].

Имеется несколько способов хранения и регулирования каптированных объемов CO<sub>2</sub>, включая нагнетание в геологические формации, депонирование в толще воды глубоководных слоях океана, а также преобразование его в твердые минералы.

Хранение диоксида углерода в геологических формациях требует наличия проницаемых горных пород и пространства для хранения газа. Возможно

хранение CO<sub>2</sub> оптимально в следующих трех геологических формациях: истощенные или находящиеся на грани истощения нефтегазовые резервуары; глубинные минеральные водоносные горизонты; нерабочие угольные пласты или естественные подземные резервуары, которые имеют достаточный объем для вмещения эмиссий газа, накопленных за многие годы [6,7].

В связи с изложенным выше изучены реакции минерализации, т.е. поведение CO<sub>2</sub> в солевом растворе и хранения CO<sub>2</sub> в угольных пластах. Была разработана совершенно новая концепция активной карбонизации, основанная на обработке пластов серной кислотой и продемонстрированы возможности хранения CO<sub>2</sub> в глубинных водоносных и минерализованных горизонтах газового месторождения [6,13].

Имеется идея о закачивании CO<sub>2</sub> в соляные "пузыри", расположенные глубоко под морским дном, где CO<sub>2</sub> будет либо полностью растворяться в очень соленой воде, либо реагировать с силикатами, образуя карбонаты и бикарбонаты, которые теоретически способны сохранять свою устойчивость в миллионы лет [8,9]. Например, норвежская компания Statoil закачала CO<sub>2</sub> в огромный плавун в море, т.е. в слой пористого песка и воды, расположенный на глубине 800 метров под морским дном. За истекшие 6 лет компанией законсервировано около 5 миллионов тонн CO<sub>2</sub>, и как показывают результаты сейсмической разведки, пока резервуар шириной 1,7 км ведет себя вполне нормально, не проявляя признаков утечки и аномальной активности [14,15]. Английские специалисты на основании шестилетнего эксперимента пять миллионов CO<sub>2</sub> закачали в огромный пузырь на дне Северного моря. [6].

Океаны и наземные растения могут поглотить лишь 40% выбросов CO<sub>2</sub> производимого при сжигании нефти, угля и природного газа, а 60% выбросов CO<sub>2</sub> накапливается в атмосфере. Отмечено, что нынешняя скорость поглощения диоксида углерода океанами - это ответ естественной системы управления, т.е. на 30% уменьшение концентрации CO, в атмосфере, то максимальная скорость поглощения может быть не больше 6-7 Гт в год. Поэтому, нет никаких оснований считать, что естественная система управления каким ли образом стабилизирует содержание CO<sub>2</sub> в окружающей среде [17].

Движущей силой разработки систем улавливания и хранения CO<sub>2</sub> является опасность глобального изменения климата под действием антропогенной эмиссии парниковых газов. При этом, некоторые концепции и технологии все ещё находятся на стадии разработки, но вопреки этому, применение их в будущем повлияет на решение большого спектра эколого-экономических вопросов на национальном и международном уровнях. В связи с этим в Киото принята конвенция (Япония, декабрь 1997 г, 160 стран), обязывающая 38 индустриально развитых стран сократить к 2008-2012 годам выбросы CO, на 5% от уровня 1990 года. Положение Киотского протокола, которое требует от стран - участниц расходовать немалые деньги для сокращения эмиссии парниковых газов является актуальной задачей, поскольку механизм регулирования

выбросов, стимулирует передовые технологии и развитие всей экологической деятельности в целом [18-21].

Киотский протокол обязывает тридцать восемь индустриально развитых стран сократить к 2008-2012 годам выбросы CO<sub>2</sub> на 5% от уровня 1990 года: в 15 странах Европейского Союза на 8%; США - на 7%; Япония - на 6%. Определены количественные обязательства по ограничению или сокращению выбросов в странах (в процентах от базового года или периода): Австралия -108; Австрия-92; Бельгия-92; Болгария\*-92; Венгрия\*-94; Германия-92; Греция-92; Дания-92; Европейское сообщество-92; Ирландия-92; Исландия-110; Испания-92; Италия-92; Канада-94; Латвия\*-92; Литва\*-92; Лихтенштейн-92; Люксембург-92; Монако-92; Нидерланды-92; Новая Зеландия-100; Норвегия-101; Польша\*-94; Португалия-92; РФ\*- 100; Румыния\*-92; Словакия\*-92; Словения\*-92; Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии-92; США-93; Украина\*-100; Финляндия-92; Франция-92; Хорватия-95; Чешская Республика\*-92; Швейцария-92; Швеция-92; Эстония\*-92; Япония-94 (\*страны, которые осуществляют процесс перехода к рыночной экономике). Снижение по CO<sub>2</sub> на единицу ВВП прослеживается и в Китае [22].

Оценка сложности решения вопроса сокращения выбросов CO<sub>2</sub> в окружающей среде привела к тому, что цены на сертификацию разрешений на выбросы увеличились к апрелю 2005 г. до 15 евро/т CO<sub>2</sub> по сравнению с 7 евро/т CO<sub>2</sub> в январе и феврале 2005 г [22].

Макроэкономическое моделирование для оценки возможностей снижения выбросов CO<sub>2</sub> в России показали три сценария экономического развития: развитие на старых технологиях (NNT); развитие на новых технологиях (NT); новые технологии и торговля выбросами (NTET) [7,22].

Механизмы регулирования выбросов парниковых газов, вопросы стимулирование передовых технологий и развитие всей экологической деятельности в международном уровне были рассмотрены в Дании (2009г) и в Мексике (2010г).

Таким образом, исходя из обзора литературы можно отметить следующие способы минимизации концентраций диоксида углерода в приземном слое атмосферного воздуха: направление пузырьков CO<sub>2</sub> в глубоководные слои северного ледовитого океана и их поглощение; поглощение часть CO<sub>2</sub> в процессе фотосинтеза растений; отделение диоксида углерода от горючего топлива; хранение CO<sub>2</sub> в герметичных контейнерах; поглощение диоксида углерода из дымовых газов ТЭЦ моноэтаноламином; минимизация CO<sub>2</sub> в выхлопных газах автотранспорта за счет альтернативных экологически чистых топлив; конверсия углеродсодержащего топлива водно-кислородной смесью и получение синтетического газа; использование энергии водорода; разработка эффективной технологии консервации диоксида углерода; использование мирового океана для консервации CO<sub>2</sub>, поглощение CO<sub>2</sub> с пузырьками солевых частиц на дне морей и достижения устойчивого хранения диоксида углерода в несколько миллионов лет;

отделение CO<sub>2</sub> от метана и поглощение газа морской водой и песком, т.е. использование их в качестве контейнера для CO<sub>2</sub> в морских водах; уменьшение CO<sub>2</sub> в отходящих газах за счет водотопливных эмульсий [23,24]; использование CO<sub>2</sub> для выращивания одно-клеточных растений (водоросли); поглощение избыточного диоксида углерода молодыми лесными массивами, в частности еловыми, где CO<sub>2</sub> консервируется в их корневых системах; регуляция содержания CO, в атмосфере под действием наземных и подземных растений, т.е. превращение CO<sub>2</sub> в органическую биомассу и сохранение углерода в почве в тысячелетие (один гектар лесного массива может поглощать около две тонны атмосферного диоксида углерода, особенно молодые еловые леса); использование фильтрующих установок в производстве отходящих газов; применение экологически безопасных и чистых энергий, обращение с мало- и безотходными технологиями, озеленение городов и сел; разработка и использование экологически безопасных и чистых энергоресурсов и построение на их основе электростанций; получение электроэнергии на основе гелиоустановок и ветровых двигателей; создание "зеленой фабрики" на основе средне возрастных лесных массивов.

#### Литература:

1. Корчевой Ю.П., Майстренко А.Ю. Экологически чистые технологии сжигания и газификации высокозольных углей в кипящем слое. - Экотехнологии и ресурсосбережение, 2001. -№5.-С. 3-8.
2. Карчевой Ю.П., Дудник А.А., Зварич В.Н. Энергетические установки с топливными элементами как привод автомобилей и автобусов / Экотехнологии и ресурсосбережения, 2006. -№1. -С. 9-28
3. Дикий Н.А., Пягничко А.И., Карп И.Н. Производство электрической и тепловой энергии по газопаровому циклу на комбинированном угольном и газовом топливе // Экотехнологии и ресурсосбережение.-2006.- С.3-7
4. [Colin.shape@nottingham.ac.uk](mailto:Colin.shape@nottingham.ac.uk).
5. Сыдыков Ж.Д. Конверсия карбонат содержащего техногенного сырья и уменьшения эмиссии диоксида углерода в газовой фазе - Канд. диссертация - Бишкек, 2010 -120 с.
6. Улавливание и хранение углекислого газа. Информационный буклет. - Программа экологического чистого ископаемого топлива. - М., 2005.
7. Высоцкий С.П. Проблемы эмиссии углекислого газа // Экотехнология и ресурсосбережение. - М., 2007. - №2. - С.47-50.
8. <http://www.cnews.ru> 8
9. Jackie Jones. Biomass a fuel of convenience. // Renewable Energy World.- 2006. -Vol.9, -N 3. -P.32-41
10. Лаурман Дж. Стратегические направления действий и проблема влияния CO<sub>2</sub> на окружающую среду// Углекислый газ в атмосфере.-М.: 1987.-С.425-475.
11. Энергия, природа и климат / В.В. Клименко., А.В. Клименко., Т.А. Андрейченко., и др. - М.: Изд-во. Моск. Энергет. Ин-та, 1997.-215 с.
12. Pfeiffer A. Capturing the Carbon. // Power Eng.- 2004,- Vol,12.5. -P.84-88

13. Carbon Dioxide Storage Potential / British Geological Survey. -England: Cambridg Univ/ Press, 2005.- 431 p. catalog/pages/7886.html.
14. Пономарь В.В. Об энергетической безопасности СНГ. CO<sub>2</sub> -антипарниковый газ.// Сб. тр. Междунар. энергет. конф. - Кишинев, 2005. - С.121-124.
15. <http://www.membrana.ru>.
16. Длительное выращивание молодой ели в атмосфере с удвоенной концентрации CO<sub>2</sub> стимулирует преимущественный рост толстых корней/Мао У.Ж., Ванг Я.Ж., Цзу Я.Г. и др.// Физиология растений.- 2005. - Т.52, - №5-С.741 -746.
17. Гусаков Н.В. Химия окружающей среды. - Ростов-На-Дону: Феникс, 2004.-192с.
18. Соколов В. А. Геохимия природных газов. - М.: Недра, 1971,-334с.
19. Уорк К., Уорнер С. Загрязнение воздуха. Источники и контроль,-М.: Мир, 1980.-539с.
20. Theo Fens, Berend Olde. Learning the trade. // Power Eng. 2005. -Vol.13. -P.69-73.
21. Маймеков З.К. Массообмен между каплями жидкости и газом в процессах абсорбции и испарения. - Бишкек: Илим, 1993. - 130с.
22. Самбаева Д.А. Влияние воды в водотопливных эмульсиях на процессы образования и уменьшения оксида углерода в газовой фазе. - Автореф. дис. на соискание уч.ст. канд. хим. Наук - Бишкек, 2002. – 18с.

**Рецензент: д.т.н., профессор Орозобаков Т.О.**

---