

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ МИНИМИЗАЦИИ КОНЦЕНТРАЦИЙ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ГАЗОВОЙ ФАЗЕ

Д.А. Самбаева

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

Ключевые слова: диоксид углерода; концентрация; газовая фаза; минимизация.

Известен широкий спектр научных данных, где утверждается, что продолжающийся рост концентрации CO_2 в атмосфере может привести к глобальному изменению климата. Поэтому снижение скорости поступления CO_2 в атмосферу в результате внедрения более эффективных методов *улавливания, утилизации и хранения CO_2* является актуальной задачей. Рассмотрим основные способы снижения концентраций диоксида углерода в приземном слое атмосферного воздуха.

Для минимизации концентрации диоксида углерода в окружающей природной среде следует шире использовать водную и ветровую энергию, а также энергию реакции вещества и антивещества. Наиболее перспективной технологией снижения эмиссии CO_2 на наш взгляд, является внедрение комбинированной технологии производства электрической энергии с предварительной газификацией твердого топлива за счет изменения КПД установок. Они включают встроенную внутрицикловую газификацию, где углеродсодержащее топливо при высокой температуре и давлении обрабатывается паром со строго регулируемым количеством подаваемого воздуха (или

кислорода). Существует так называемая технология “парового преобразования” топлива, т.е. получения “синтетического газа”, состоящего из оксида углерода и водорода. Полученная смесь разделяется без особых проблем: водород сжигается, а CO вновь подвергается обработке паром в присутствии катализатора. В результате образуется легко разделяемая смесь CO_2 и H_2 (новая технологическая эра – водородная энергетика), но затем требуется консервация CO_2 в течение как минимум нескольких столетий [1–5].

Разрабатывается технология получения сверхчистого угля для сжигания в газовых турбинах. 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 дымовой газ представляет собой концентрированный CO_2 . Кислородная среда обеспечивает большую степень выгорания топлива. В связи с этим перспективно направление снижения эмиссии CO_2 в окружающей среде путем сжигания топлива в 100%-й кислородной

среде [2–6]. В работе [6] рассмотрены практические аспекты фотокаталитического метода снижения CO_2 с использованием инфракрасной спектроскопии.

Использование ядерных циклов производства тепла и энергии решает проблему эмиссии CO_2 , но оно сопряжено с проблемами захоронения и переработки радиоактивных отходов и утилизации отработавшего оборудования АЭС [2–3].

Улавливание CO_2 на предприятиях, использующих ископаемые топлива, ведется по трем основным направлениям: улавливание до процесса сжигания; улавливание после процесса сжигания; кислородно-топливное сжигание. Каждый из этих процессов обеспечивает отделение CO_2 от газового потока. Разработаны технологии: промывка химическим растворителем; очистка физическим растворителем; адсорбция/десорбция; мембранное отделение; криогенное сепарирование. Модернизация технологии сжигания твердого топлива позволяет снизить эмиссию CO_2 до 20%. Дальнейшее снижение эмиссии CO_2 требует применения сорбционных технологий (абсорбцией моноэтаноламином, вымораживанием и вращающимся регенеративным методом). Наиболее предпочтительна технология очистки дымовых газов химическими растворителями, обычно амином. В результате образуется смесь с содержанием CO_2 . Затем растворитель нагревается для разрушения смеси и получения сверхчистого диоксида углерода. Исследованы возможности новых поглотителей на силикатной основе, которые способны адсорбировать большие объемы углерода при использовании на электростанциях, работающих на ископаемых видах топлива [2–4, 6, 7].

Индуктивное впрыскивание и исследование возможности улавливания CO_2 в реакторах с циркулирующим кипящим слоем позволит обрабатывать и осуществить генерации процесса обжига и карбонизации сорбентов CO_2 , содержащих известь [5].

Улавливание и хранение CO_2 – наиболее приемлемая технология для предприятий с большими стационарными источниками эмиссии диоксида углерода, поскольку обеспечивает быстрое сокращение больших объемов атмосферной эмиссии CO_2 [6].

Предложен новый композиционный (полимерно-металлический) материал для изготовления мембраны, способный отделять CO_2 от других газов (CH_4 , H_2) [8].

Относительно дешевой технологией улавливания CO_2 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_2 составляет 60% [2, 3].

Диоксид углерода поглощается океаном, сушией (лесами, степями, полями), т.е. баланс CO_2 не сводится. Поэтому вопрос об утилизации и разработке способов *долговременного хранения CO_2* весьма актуален для экологов.

Концентрированный CO_2 можно закачивать под землю, где он будет связан с образованием нерастворимых минералов. Установки следует строить в пустынях, потому что снижение концентрации CO_2 в других регионах может привести к вымиранию растений, использующих CO_2 в процессе фотосинтеза [8]. Наиболее перспективной технологией снижения эмиссии CO_2 может стать использование биологических ресурсов [1, 9].

Предполагается также извлекать избыток CO_2 из воздуха, сжигать и нагнетать его в глубоководные слои океана, используя при этом естественную циркуляцию диоксида углерода или рассеивать в стратосферу мельчайшие капельки серной кислоты и уменьшать солнечную радиацию [10, 11].

Имеются технологии закачивания CO_2 в подземные горизонты или в воды мирового океана. Незарабатываемые угольные пласты также могут быть использованы для хранения CO_2 , так как CO_2 адсорбируется углем, вытесняя ранее адсорбированный метан. В этом случае имеет значение степень проницаемости угольного пласта. Низкая проницаемость угля затрудняет процесс нагнетания газа. Более того, нагнетание CO_2 может вызвать его разбухание [7, 12]. Следует отметить, что впервые в мировой практике использование глубоководных минерализованных водоносных пластов для нагнетания CO_2 в промышленных масштабах было начато в 1996 г. компанией Statoil, занимающейся добычей природного газа. Ежегодно закачивалось до 1 млн т CO_2 в водоносные слои, находящиеся примерно на 800 м ниже уровня морского дна. В 2004 г. была произведена закачка 1 млн т CO_2 в океанические воды [13].

Известны и другие способы хранения и регулирования каптированных объемов CO_2 , 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. Например, в истощенных или находящихся на грани истощения нефтегазовых резервуарах; глубинных минеральных водоносных горизонтах; нерабочих угольных пластах или естественных подземных резервуарах, имеющих достаточный объем для вмещения эмиссий газа, накопленных за многие годы [6, 7].

Были изучены реакции минерализации, т.е. поведение CO_2 в солевом растворе и хранения CO_2 в угольных пластах. Была разработана совершенно новая концепция *активной карбонизации*, основанная на обработке пластов серной кислотой в глубинных водоносных и минерализованных горизонтах газового месторождения [6, 13].

Предлагается также закачивать CO_2 в соляные “пузыри”, расположенные глубоко под морским дном, где он 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_2 в огромный плавун в море, т.е. в слой пористого песка и воды, расположенный на глубине 800 м под морским дном. За истекшие 6 лет компанией законсервировано около 5 млн т CO_2 , 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]. Английскими специалистами было закачено пять млн CO_2 в огромный пузырь на дне Северного моря [16].

Океаны и наземные растения могут поглотить лишь 40% выбросов CO_2 , производимого при сжигании нефти, угля и природного газа, а 60% выбросов CO_2 накапливается в атмосфере. Считается, что существующая скорость поглощения диоксида углерода океанами – это ответ естественной системы управления. Уменьшение на 30% концентрации CO_2 в атмосфере определяет скорость поглощения не более 6–7 Гт в год. Поэтому, нет никаких оснований считать, что естественная система управления каким ли образом стабилизирует содержание CO_2 в окружающей среде [17].

Движущей силой разработки систем улавливания и хранения CO_2 является опасность глобального изменения климата под действием антропогенной эмиссии парниковых газов. В связи с этим в Киото в декабре 1997 г. была принята конвенция, обязывающая 38 индустриально развитых стран сократить к 2008–2012 гг. на 5% выбросы CO_2 от уровня 1990 года [18–21];

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 CO_2 на единицу ВВП прослеживается и в Китае [22].

Оценка сложности решения вопроса сокращения выбросов CO_2 привела к тому, что цены на сертификацию разрешений на выбросы увеличились к апрелю 2005 г. до 15 евро/т CO_2 по сравнению с 7 евро/т CO_2 в январе и феврале 2005 г. [22].

Макроэкономическое моделирование для оценки возможностей снижения выбросов CO_2 в России определило 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 стимулирования передовых технологий и развитие всей экологической деятельности в международном уровне были рассмотрены в Дании (2009 г.) и в Мексике (2010 г.).

Таким образом, можно отметить следующие способы минимизации концентраций диоксида углерода в приземном слое атмосферного воздуха: направление пузырьков CO_2 в глубоководные слои Северного Ледовитого океана и их поглощение; поглощение части CO_2 в процессе фотосинтеза растений; отделение диоксида углерода от горючего топлива; хранение CO_2 в герметичных контейнерах; поглощение диоксида углерода из дымовых газов ТЭЦ моноэтаноламином; минимизация CO_2 в выхлопных газах автотранспорта за счет альтернативного экологически чистого топлива; конверсия углеродсодержащего топлива водно-

кислородной смесью и получение синтетического газа; использование энергии водорода; разработка эффективной технологии консервации диоксида углерода; использование мирового океана для консервации CO₂; поглощение CO₂ пузырьками солевых частиц на дне морей и достижение устойчивого хранения диоксида углерода в течение нескольких миллионов лет; отделение CO₂ от метана и поглощение газа морской водой и песком, т.е. использование их в качестве контейнера для CO₂ в морских водах; уменьшение CO₂ в отходящих газах за счет водотопливных эмульсий [23, 24]; использование CO₂ для выращивания одноклеточных растений (водоросли); поглощение избыточного диоксида углерода молодыми лесными массивами, в частности, еловыми, где CO₂ консервируется в их корневых системах; регуляция содержания CO₂ в атмосфере под действием наземных и подземных растений, т.е. превращение CO₂ в органическую биомассу и сохранение углерода в почве в течение тысячелетий (один гектар лесного массива может поглощать около двух тонн атмосферного диоксида углерода, особенно молодые еловые леса); использование фильтрующих установок в производстве отходящих газов; применение экологически безопасных и чистых энергий, обращение к мало- и безотходным технологиям, 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 средневозрастных лесных массивов.

Литература

1. Карчевой 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., Пятничко 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. [Электронный ресурс]: <http://Colin.shape@nottingham.ac.uk>.
5. Сыдыков Ж.Д. Конверсия карбонатсодержащего техногенного сырья и уменьшение эмиссии диоксида углерода в газовой фазе: канд. дисс... Бишкек, 2010. 120 с.
6. Улавливание и хранение углекислого газа. Информ. 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. № 3. P. 32–41.
10. Лаурман Дж. Стратегические направления действий и проблема влияния CO₂ 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: Cambridge Univ/Press, 2005. 431 p.
14. Пономарь В.В. Глобальное потепление, усиление землетрясений и стихийных бедствий как следствие истощения, озонового слоя. CO₂ – антипарниковый газ // <http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7886.html>.
15. Пономарь В.В. Об энергетической безопасности СНГ. CO₂ – антипарниковый газ // Сб. тр. Междунар. энергет. конф. Кишинев, 2005. С. 121–124.
16. <http://www.membrana.ru>.
17. Длительное выращивание молодой ели в атмосфере с удвоенной концентрации CO₂ 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.
18. Гусаков Н.В. Химия окружающей среды. Ростов-н/Д.: Феникс, 2004. 192 с.
19. Соколов В.А. Геохимия природных газов. М.: Недра, 1971. 334 с.
20. Мак-Ивен М.Д., Филлипс Л.Ф. Химия атмосферы. М.: Мир, 1978. 375 с.
21. Уорк К., Уорнер С. Загрязнение воздуха. Источники и контроль. М.: Мир, 1980. 539 с.
22. Theo Fens, Berend Olde. Learning the trade // Power Eng. 2005. Vol. 13. P. 69–73.
23. Маймеков З.К. Массообмен между каплями жидкости и газом в процессах абсорбции и испарения. Бишкек: Илим, 1993. 130 с.
24. Самбаева Д.А. Влияние воды в водотопливных эмульсиях на процессы образования и уменьшения оксида углерода в газовой фазе: Автореф. дис... канд. хим. наук. Бишкек, 2002. 18 с.