

Концептуальное представление технологий захоронения углекислого газа и их безопасность

Череповицын А.Е., д.э.н., профессор, Заведующий кафедрой организации и управления, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»
Ильинова А.А., к.э.н., ассистент кафедры организации и управления,
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

Аннотация. Работа посвящена вопросу секвестрации углекислого газа в геологических формациях. Проведен анализ технологий захоронения углекислого газа и возможных вариантов их реализации. Представлена классификация существующих проектов захоронения CO₂. Определены подходы к безопасному сохранению углекислого газа. Предложены рекомендации по внедрению технологий секвестрации в условиях России, определены основные направления проведения дальнейших исследований.

Ключевые слова: углекислый газ, технологии секвестрации, безопасное захоронение, геологические формации

Conceptual representation of Carbon Capture and Storage and its safety

Cherepovitsyn A.E., Professor, National University of Mineral Resources “Mining”
Head of Organization and Management Department

Ilinova A.A., PhD in Economics, Assistant of Organization and Management
Department, National University of Mineral Resources “Mining”

Annotation. Paper is devoted to Carbon Capture and Storage (CCS) in geological formations. The analysis of CCS technologies and possible options of their realization is carried out. Classification of the existing CCS projects is presented. Approaches to safe CCS are defined. Recommendations for introduction of CCS technologies in Russian conditions are offered, the main directions of further research are defined.

Keywords: carbon dioxide, Carbon Capture and Storage (CCS) technologies, safe storage, geological formations

Введение

Одной из ключевых мировых экологических проблем остается глобальное потепление. Повышение среднегодовой температуры поверхностного слоя атмосферы вызвано, в первую очередь, парниковыми газами, выполняющими роль одностороннего барьера, который пропускает солнечные лучи к поверхности Земли и препятствует прохождению инфракрасного излучения (тепла) в космос.

Бурное развитие промышленности, повлекшее за собой рост потребления электроэнергии в развивающихся странах (в первую очередь, в странах БРИКС), стало одной из основных причин увеличения выбросов углекислого газа (CO_2) в атмосферу. Наиболее сильное воздействие на окружающую среду оказывают промышленные сектора таких стран, как Китай, Индия, США, Австралия, Бразилия, страны Европейского союза (ЕС), Россия, Япония.

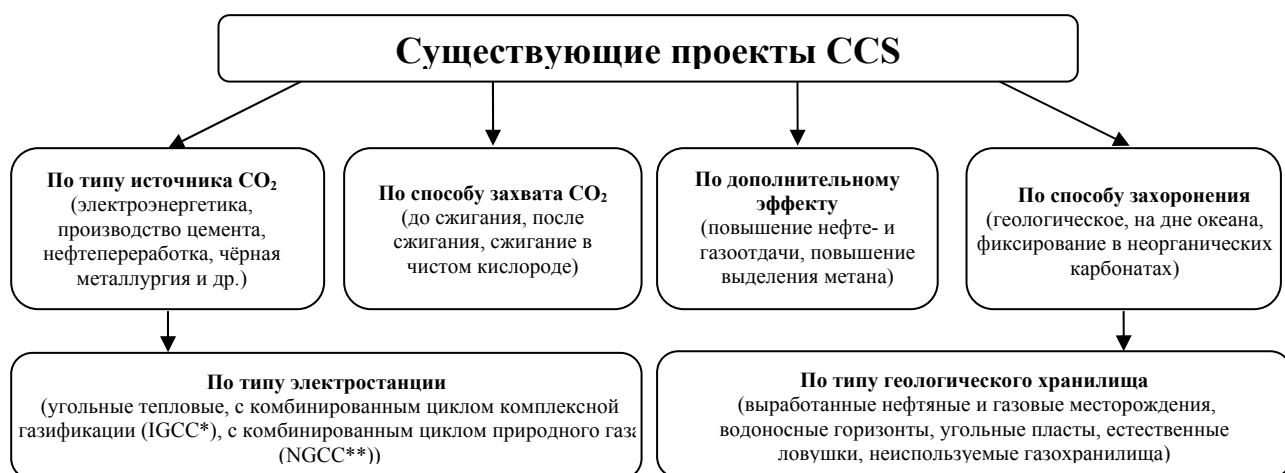
Особенно острая ситуация в Китае, темпы прироста ВВП которого за последнее десятилетие находятся в пределах 7-14 % в год [7]. Стоит отметить, что основным источником тепло- и электроэнергии в этой стране являются теплоэлектростанции, работающие на угле и угольной пыли, выбросы CO_2 которых в два раза превышают выбросы электростанций, работающих на природном газе (100 против 55 т/тыс. Дж) [1]. Источниками углекислого газа также являются металлургическое производство, по уровню развития которого Китай занимает лидирующие позиции в мире, и производство цемента. Смог во многих промышленных городах Китая и быстрый рост смертности от рака легких у взрослых и детей (на 400% за последние 10 лет) стали одними из основных причин подписания соглашения между Россией и Китаем на поставку газа по дополнительной ветке газопровода «Сила Сибири», запущенного в строительство 1 сентября 2014 года [6].

Но даже такие меры не спасают от объемов мировых выбросов CO_2 , а лишь нивелируют их на отдельных территориях. Уровень развития альтернативных

источников энергии в ближайшие 50-70 лет также не сможет обеспечить необходимые объемы тепло- и электроэнергии по конкурентоспособной цене [1]. Исходя из этого, очевидна необходимость частичного планомерного перехода от традиционных способов получения энергии к альтернативной энергетике, а также необходимость поиска и развития возможных вариантов частичного решения вопроса глобального характера.

Применение технологий захоронения углекислого газа (CO₂)

Одним из возможных вариантов частичного решения проблемы с сохранением существующего уровня производства и качества жизни на сегодняшний день является секвестрация углерода (CCS – Carbon Capture and Storage). Технологии секвестрации основываются на захвате CO₂ и других соединений углерода и его длительном хранении в природных резервуарах (соленосные формации, нефтегазовые месторождения, угольные пласты) или на дне океана. Пилотные проекты по захвату и захоронению углекислого газа существуют в развитых странах, например в США, уже более 40 лет. Мировыми лидерами в разработке и развитии технологий CCS являются США, страны ЕС, Канада и Австралия. В этих странах также развито применение углекислого газа для повышения газо- и нефтеотдачи истощенных месторождений за счет эффекта абсорбции в угольный пласт с вытеснением метана, а также абсорбции в нефть со снижением ее вязкости. По всему миру существует более 150 демонстрационных проектов по захвату и захоронению CO₂, отличающихся по технологиям, условиям захоронения, объемам, производственной принадлежности, степени развития и др. [3]. Классификация существующих проектов захоронения углекислого газа приведена на рисунке 1.



* IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle) - газификации угля в комбинированном цикле;

** NGCC (Natural Gas Combined Cycle) – электростанции, работающие на природном газе по комбинированному циклу

Рис. 1 – Классификация существующих проектов захоронения CO₂

В процессе секвестрации CO₂ можно выделить следующие основные производственные этапы:

- Захват углекислого газа на предприятии-источнике.
- Транспортировка газа до места захоронения, которая включает процессы сжижения, концентрации в зависимости от выбранного способа транспортировки: трубопровод, автомобильный транспорт, морской транспорт.
- Закачка и захоронение CO₂ выбранным способом.

Процесс захвата углекислого газа возможен тремя известными и опробованными в пилотных проектах способами: до сжигания, после сжигания, сжигание в чистом кислороде.

При способе улавливания до сжигания осуществляется обработка топлива кислородом или воздухом под высоким давлением для получения «синтетического газа» (смесь окиси водорода и углерода), который впоследствии разделяется на поток водорода, применяемый для дальнейшего получения тепло- и электроэнергии, и поток CO₂, подлежащий дальнейшему хранению. Технология является достаточно экологичной, поскольку при сгорании образуется только водяной пар. Несмотря на высокую эффективность захвата (15-60% от объема CO₂ в топливе), весь процесс сепарации является достаточно сложным и

дорогостоящим и может быть применен только при больших концентрациях углекислого газа (15% и более) [5].

При способе улавливания после сжигания при помощи систем сепарации углекислый газ отделяют от дымовых газов, образованных в результате сжигания первичного топлива (в первую очередь, угольной пыли и природного газа). Способ основывается на химической абсорбции жидкого растворителя с дальнейшим восстановлением углекислого газа под воздействием высоких температур. Такие системы являются менее эффективными с точки зрения захвата CO_2 (3-15 % от объема дымового газа), и их работа сопровождается большими затратами энергии, вызванными необходимостью разрушения устойчивых связей между растворителем и углекислым газом. Однако данные системы являются наиболее изученными на сегодняшний день.

В системах сжигания в кислороде вместо воздуха для сжигания топлива применяется чистый кислород, что позволяет получить дымовой газ, состоящий из водяного пара и CO_2 . Сепарация дымового газа от водяного пара реализуется посредством охлаждения и компрессии газового потока. При данном способе образуются высокие концентрации углекислого газа (80% и более). Основными недостатками этого способа являются необходимость получения чистого кислорода и дополнительная доочистка углекислого газа перед отправкой на захоронение.

Структура технологий секвестрации углекислого газа с различными способами захвата и захоронения представлена на рисунке 2 (адаптировано на основе [8]).

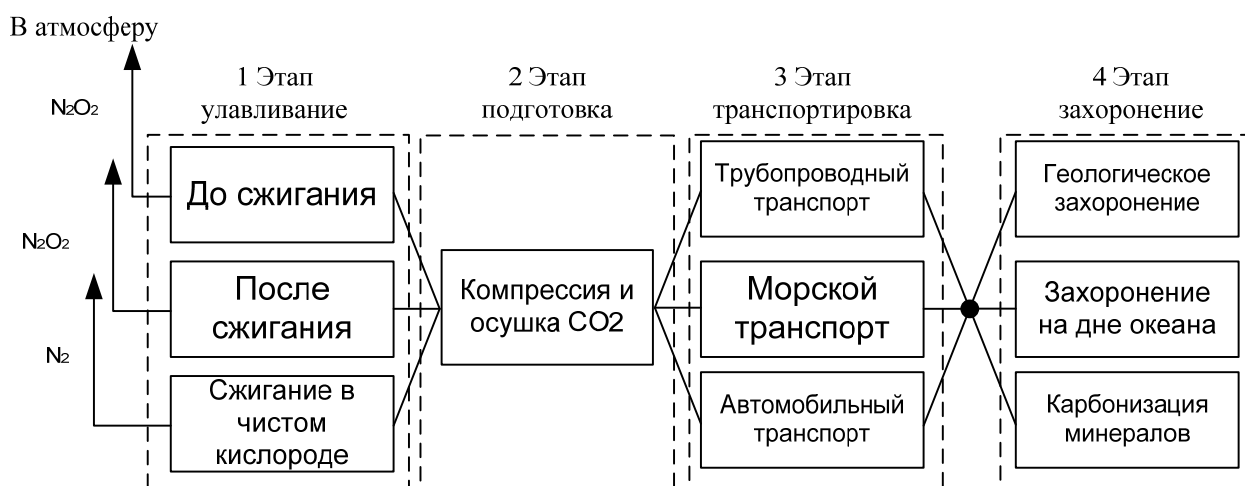


Рис. 2 – Структура технологий секвестрации CO_2 с различными способами захвата, транспортировки и захоронения

Способы захоронения делятся на три основных: геологическое захоронение, карбонизация минералов и захоронение на дне океана.

При геологическом захоронении углекислый газ закачивается в соляные формации, выработанные месторождения и другие хранилища на глубине порядка 800 м и более, где воздействие поверхностного слоя и различные геохимические механизмы удерживают его внутри резервуара. Хранение в глубинных соленосных формациях обеспечивается за счет наличия в перекрывающем слое глинистого сланца или глинистой породы. Наиболее герметичными с точки зрения захоронения являются отработанные нефтегазовые месторождения благодаря непроницаемому слою над ними, состоящему, например, из сланца [8].

Дополнительными механизмами, удерживающими углекислый газ внутри резервуара и предотвращающими его боковую миграцию ниже перекрывающего слоя, могут быть геохимические ловушки. После поступления CO_2 в резервуар под высоким давлением газ в течение сотен – тысяч лет растворяется в имеющейся в резервуаре воде. Насыщенная углекислым газом вода становится более тяжелой и погружается на дно формации, где происходят дальнейшие химические реакции с минералами породы с образованием различных ионов, вследствие чего углекислый газ за миллионы лет превратится в твердые карбонатные минералы.

Захоронение CO_2 в океане может быть осуществлено двумя способами [5]:

1. Растворение CO_2 в водном столбе на глубине более 1000 м. Способ предполагает строительство постоянного трубопровода от предприятия-источника выбросов либо транспортировку посредством передвижного судна.

2. Доставка CO_2 на дно моря, где газ образует озеро под давлением водяного столба на глубине более 3000 м. Способ предполагает строительство трубопровода от источника загрязнения.

Предположительно, растворенный в воде углекислый газ становится частью глобального цикла углерода, который, в конечном итоге, приведет к равновесию углерода с CO_2 в атмосфере. После вступления в реакцию углекислого газа с окисями металлов, содержащимися в большом количестве в силикатных минералах, образуются стабильные карбонаты. Скорость прохождения реакции весьма низкая; ее необходимо ускорять посредством обработки минералов, что является достаточно энергоемким и дорогим процессом. Возможности применения данной технологии находятся на стадии разработки. Влияние захоронения и растворения углекислого газа на окружающую среду находится пока на стадии исследования. Основным недостатком данного способа, выявленным в ходе лабораторных и океанских экспериментов небольших масштабов, является повышение кислотности, что может повлиять на морские экосистемы.

В этой связи большинство экспертов сходятся во мнении, что на сегодняшний день геологическое захоронение углекислого газа – единственный возможный вариант.

Геологические хранилища, которые могут быть использованы в качестве резервуаров, существуют во всем мире. По оценкам экспертов, потенциал захоронения CO_2 в геологических формациях составляет минимум 2000 Гт. Прогнозы специалистов очень неоднозначны, однако, даже по самым скромным (минимальным) подсчетам, существующих объемов будет достаточно для захоронения CO_2 в течение ближайших десятилетий при существующих объемах выбросов. Наибольшим потенциалом в данном контексте обладают следующие

территории: сибирская часть России, США, Канада, Ближний Восток и Северная Африка [4].

Стоит отметить тот факт, что ни одна из технологий секвестрации парниковых газов никогда не использовалась от начала до конца, а лишь существует как отдельные технологические циклы. Демонстрация пилотных проектов секвестрации не доказывает их безопасность и эффективность ввиду ограниченности объемов и новизны технологий.

Безопасность технологии

Внедрение технологий секвестрации CO₂ сопряжено с необходимостью обеспечения безопасности их использования. Значительные объёмы CO₂ предполагается закачивать в подземное пространство на длительное время (сотни и тысячи лет). Нагнетательные скважины, прочая инфраструктура и геологические условия резервуара могут стать причинами утечки CO₂.

Тем самым, безопасность технологий секвестрации углекислого газа сегодня является наиболее обсуждаемым вопросом. В первую очередь, это опасность возникновения утечек углекислого газа из мест захоронения. Миграция газа может быть вызвана несколькими причинами, представленными ниже.

- Любые геологические изменения (движения породы и т.д.) могут вызвать миграцию углекислого газа из формации в менее герметичные породы и далее на поверхность земли.

- Избыточное давление при закачке газа может вызвать нарушение герметизации покрывающего слоя или породы, находящейся ниже его.

- CO₂ может вступить в реакцию с вмещающими породами и в результате их разрушения выбраться наружу.

- CO₂ может мигрировать за счет проникновения в грунтовые воды и выйти на поверхность либо в открытые водоемы с одновременным загрязнением питьевой воды.

- Повреждение обсадных труб и цементных мостов может привести к утечке газа.

Риски утечек углекислого газа не поддаются количественной оценке, однако большинство специалистов отмечают, что утечка лишь 1% CO₂ может привести к необратимым последствиям и свести к нулю все усилия, приложенные к реализации технологий секвестрации. В этой связи вопросам безопасности должно отводиться особо пристальное внимание [2].

Исход CO₂ обратно в атмосферу может отрицательно повлиять на почвенную экосистему, причиняя вред флоре и фауне. Загрязнение поверхностных воды грозит опасностью водной экосистеме, попадание CO₂ в подземные воды может ухудшить их свойства путём мобилизации токсичных металлов и растворения прочих минералов.

Рекомендации по внедрению технологий CCS в России

Исходя из сложившейся ситуации в производственном и энергетическом секторах России, где большая часть угольных и газовых электростанций построена по устаревшим технологиям (97% от общего объема выбросов), необходимость развития технологий секвестрации CO₂ стоит достаточно остро. По оценкам объемов потенциально возможных хранилищ углекислого газа Россия обладает огромным потенциалом в этой области.

Для реализации технологий секвестрации углекислого газа в условиях России целесообразно проводить исследования по следующим направлениям [8]:

- определить возможности реализации мероприятий по секвестрации углекислого газа и повышению нефтеотдачи с учетом механизмов государственной поддержки и рыночных опций западноевропейских стран;
- определить стоимость захоронения единицы объема углекислого газа для региональных, климатических, геологических и инфраструктурных особенностей потенциальных мест захоронения;
- исследовать возможности государственно-частных партнерств, для реализации демонстрационных проектов секвестрации;

– изучить общественное восприятие широкомасштабного использования технологий секвестрации с учетом необходимости обеспечения безопасности, в том числе будущих поколений.

Обратная связь позволит поддержать инициативы по захоронению CO₂, наладить партнерские отношения со всеми заинтересованными лицами.

Выводы

Проблема эффективного захвата и безопасного захоронения углекислого газа имеет решающее значение для экологии многих стран, таких как Китай, США, Россия, и мира в целом. Проблема осложняется постоянным ростом производственных мощностей и увеличением потребления тепло- и электроэнергии. Уровень развития альтернативных источников энергии на сегодня не в состоянии обеспечить необходимые уровни потребления и приемлемую цену электроэнергии. Частичным решением вопроса может стать развитие технологий секвестрации углекислого газа при сохранении существующего уровня производства и качества жизни.

В целом в России существует огромный потенциал для безопасного захоронения углекислого газа в подземных резервуарах и его применения для повышения коэффициента извлечения метана из угольных пластов и нефтеотдачи истощаемых месторождений за счет эффекта абсорбции. Технологии секвестрации позволят сократить поступления парниковых газов в атмосферу в условиях бурного промышленного роста. Секвестрация CO₂ является сложным и наукоемким процессом, требующим строгого выполнения норм безопасности и соблюдения технологий эффективного захвата газа на предприятиях-источниках.

Исследование выполнено в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых, проект МД-3181.2013.5

Библиографический список:

1. European Commission – Reference Document on Best Available Techniques (BREF) in Large Combustion Plants. – Integrated Pollution Prevention and Control

- (IPPC). – 2006, 618 с.
URL:http://ec.europa.eu/environment/ipcc/brefs/lcp_bref_0706.pdf(дата обращения: 05.10.2014г.).
2. Greenpeace - False Hope – Why Carbon Capture and Storage Won't Save the Climate. – Greenpeace International. – 2008. 44 с.
URL:<http://www.greenpeace.org/usa/Global/usa/report/2008/5/false-hope-why-carbon-capture.pdf>(дата обращения: 02.10.2013г.).
3. IEA – Carbon Capture and Storage. Progress and Next Steps. – IEA/OECD. – 2010. 44 с. URL:
http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ccs_g8.pdf(дата обращения: 04.10.2014г.).
4. National Energy Technology Laboratory – Carbon Sequestration Atlas of the United States and Canada. – DOE NETL. – 2010. 162 с.
URL:http://www.netl.doe.gov/technologies/carbon_seq/refshelf/atlasIII/2010atlasIII.pdf
(дата обращения: 07.10.2014г.).
5. МГЭИК – Улавливание и хранение двуокиси углерода. - Специальный доклад по просьбе Рамочной конвенции ООН об изменении климата. – 2005. 66 с.
URL: http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_spm_ts_ru.pdf(дата обращения: 07.10.2014г.).
6. Официальный сайт «Вести недели». URL:
<http://vesti7.ru/news?id=42810>(дата обращения 04.10.2014г.).
7. Сайт «Мировая экономика». URL:
<http://www.ereport.ru/stat.php?razdel=country&count=china&table=ggesia>(дата обращения 04.10.2014г.).
8. Череповицын А.Е., Ильинова А.А., Смирнова Н.В. О захоронении CO₂ в геологических формациях: экономико-общественные аспекты. // Российский экономический интернет-журнал. URL: <http://www.e-rej.ru/upload/iblock/2f2/2f2c92621d378a0e0de07ac536acbff9.pdf>(дата обращения 07.10.2014 г.).