

УДК 622.276

О.И. СЛОБОЖАНИНА, студент гр. ИЗОСб-20-1 (ТИУ)

Научный руководитель: А.Ю. ЮШКОВ, доцент (ТИУ)

г. Тюмень

ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ И ЗАХОРОНЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

Ключевые слова: углекислый газ, утилизация CO₂, захоронение CO₂

Аннотация: В связи с ухудшением состояния окружающей среды, а именно глобальным потеплением, во многих странах мира ведётся политика по декарбонизации производственных процессов. Учитывая тот факт, что переход на низкоуглеродную энергетику является достаточно трудоёмким процессом, сейчас ведутся активные исследования о перспективных способах утилизации и захоронения углекислого газа, являющегося одной из причин ужесточения законодательства в области охраны атмосферного воздуха.

Согласно статистике Provisional State of the Global Climate 2022 концентрация углекислого газа в атмосфере составляет 418,56 ppm, в то время как до начала промышленной революции этот показатель был на 138,56ppm ниже относительно доиндустриального периода [1]. Это явление легко объяснимо, так как при активном росте промышленности выбросы парниковых газов практически не регулировались, в связи с тем, что на начальных этапах не было установлено какой-либо связи между глобальным потеплением и увеличением количества выбросов в атмосферу.

На данный момент во всём мире ведётся активная борьба с глобальным потеплением, причиной которого выделяют большую концентрацию парниковых газов в атмосфере. Примером предотвращения увеличения выбросов может являться как введение дополнительного налогообложения, напрямую зависящее от количества, так и создание группы технологий Carbon Capture Use and Storage (CCUS) [2]. Данное объединение рассматривает все технологии, связанные с улавливанием, транспортировкой, утилизацией и захоронением углекислого газа.

В статье представлен анализ, направленный на исследование технологий утилизации и захоронения углекислого газа, изучение тенденций научных исследований в этих областях и выявление приоритетных направлений для дальнейшего изучения.

Методы: Анализ материалов представленных в наукометрических базах данных, а также аналитических материалов, разработанными профильными ведомствами и ведущими технологическими компаниями.

Результаты: Процесс улавливания углекислого газа происходит чаще всего, на стационарных источниках таких как: крупные промышленные предприятия, электростанции, станции по переработки нефти. Использование других источников не даёт объёмов, которые целесообразно использовать для транспортировки. По данным официальной статистике Росстата «о Выбросах парниковых газов по секторам совокупные выбросы парниковых газов за 2020 год», возникшие из-за промышленных процессов и использование промышленной продукции и энергетики, составили 1839,4 млн. тонн CO₂-эквивалента/год, что составляет 89,6% от всех выбросов говорящее нам о том, что достаточно большое количество парниковых газов выбрасывается в атмосферу ежегодно [3]. Чаще всего двуокись углерода улавливают, растворяя её в жидкостях, затем при десорбции сжиживают для получения продукта или сорбируют. В зависимости от дальнейших целей выбирают определённый способ обращения с CO₂.

На данный момент идёт активный анализ, что нужно делать на следующем этапе: захоранивать или утилизировать. Недостаточная проработанность этих способов является одной из причин, из-за которых группа технологий CCUS не может быть реализована в глобальных масштабах не только в нашей стране, но и за рубежом.

Есть множество способов утилизации углекислого газа. Это может быть: использование углекислого газа при карбонизации напитков, охлаждение и заморозка продуктов, получение сельскохозяйственных удобрений и средств противопожарной защиты - данные производства напрямую нуждаются в углекислом газе. Наиболее выгодными преобразованиями является превращение CO₂ в спирты и углеводороды, так как это происходит за меньшее количество этапов, чем в других процессах.

Эти направления уже давно используют углекислый газ не только для получения различных видов продукции, но и для уменьшения количества выбросов в атмосферу. Однако, полагаться лишь на эти методы использования не стоит, так как общие объёмы выбросов гораздо выше, чем нужды производств. Стоит обратить внимание вся статистика по выбросам ведётся уже с учётом этого вида утилизации, и, что перед подачей на производство диоксид углерода должен быть очищен от сторонних примесей, либо обогащён, что несёт за собой дополнительные затраты [4].

Ещё одним методом утилизации диоксида углерода считается преобразование в синтез-газ. При помощи каталитической конверсии CO_2 может быть преобразован в синтез-газ, используемый для получения топлива [5]. Технология преобразования происходит благодаря процессу Фишера — Тропша и изучается многими отраслями промышленности, так как считается одной из самых перспективных технологий, но следует отметить, что, на данный момент, это не является рентабельным [6].

Предпочтительным методом утилизации CO_2 является использование углекислого газа в качестве агента в методах увеличения нефтеотдачи (CO_2 -EOR). Этот метод является очень перспективным не только из-за коммерческого потенциала, но и из-за частичной утилизации двуокиси углерода [7]. Учитывая, что данный метод хорошо показывает себя за рубежом, есть большая вероятность реализации его и в России. Несмотря на положительные стороны этого метода - он сложен в реализации. Большинство месторождений отдалены от промышленных объектов, а для транспортировки на дальние расстояния нужны большие затраты и бесперебойные поставки CO_2 , так же свойства нефти и коллектора должны удовлетворять скрининговым критериям [8]. Стоит обратить внимание, что какая-то часть CO_2 будет возвращена на поверхность вместе с нефтяным флюидом из-за дегазации растворённого диоксида углерода.

Существует так же утилизация CO_2 в угольных пластах. Процесс основан на адсорбации диоксида углерода на поверхности угольной матрицы, так же он называется усовершенствованным извлечением метана из угольных пластов. По аналогии с применением CO_2 в методах увеличения нефтеотдачи технология может быть использована для получения коммерческой прибыли. Отрицательными сторонами являются нестабильные поставки CO_2 .

Даже при условии полного внедрения всех способов утилизации диоксида углерода весь объём выбрасываемых газов не будет переработан, так как не всегда есть потребность в получаемой продукции и/или есть возможность транспортировать CO_2 на дальние расстояния. На сегодняшний день только 40 млн. тонн выбросов углекислого газа утилизируется во всём мире ежегодно, в то время как выбросы составляют 36,8 Гт. Исходя из этого стоит рассмотреть и другие методы обращения с диоксидом углерода, а именно его захоронение.

На данный момент рассматривают возможность хранения диоксида углерода в базальтовых породах. После проведения двухлетнего эксперимента компанией Carbfix было захоронено около 200 тонн CO_2 за 2 года путём минерализации диоксида углерода до карбонатных минералов, что позволяет говорить о безопасности этого метода, из-за снижения риска

утечки углерода [8]. Одним из минусов данной технологии является снижение проницаемости пород по мере усиления минерализации, и кинетики реакций минерализации, в связи с чем будет невозможно утилизировать большое количество диоксида углерода.

Одним из способов захоронения CO_2 является захоронение углекислого газа в минеральных водоносных горизонтах. Данный способ является наиболее доступным, потому что эти пористые структуры встречаются по всему миру на глубине от 1000 м и давлении 72,9 атм газ находится в сверхкритическом состоянии. Однако этот метод требует достаточного изучения емкости хранения резервуаров, иначе непрореагировавший CO_2 может выйти на поверхность, или произойдет утечка в источники питьевой воды, почву. Предупреждения утечек следует проводить более подробные изучения состава пластовых вод, прочность флюидоупора, геологических особенностей водоносного бассейна, областей питания и областей разгрузки, а также моделирование проточности и тд.

Вывод: в результате проведенного анализа данных о технологиях по утилизации и захоронению диоксида углерода было выявлено, что данная тема является приоритетным направлением для изучения не только для нашей страны, но и для всего мира в целом, так как данные о проведенных исследованиях были собраны не только из государственных источников, но и зарубежных.

Стоит указать отрицательные стороны перечисленных способов утилизации и захоронения диоксида углерода. При утилизации CO_2 для производства различных видов продукции требуется повышение качества углекислого газа как исходного сырья, что является дорогостоящим процессом. При повышении нефтеотдачи и утилизации в угольных пластах нужно проводить экономические расчёты и/или снижение стоимости транспортировки CO_2 к месторождениям. Технология генерации синтез-газа из углекислого газа является перспективной в плане научных исследований, но не рентабельной, на данный момент. При захоронении углекислого газа в базальтовых породах требуется большее количество расчётов о скорости снижения проницаемости и моделирование этих процессов для повышения эффективности захоронения и большие затраты водных ресурсов могут ставить всю экологичность данного способа утилизации. При захоронении CO_2 в минеральных водоносных горизонтах стоит обратить внимание на моделирование данных процессов, так как, при условии подробного изучения всех процессов, протекающих в пластовых водах, это может стать самым перспективным способом захоронения из-за больших объёмов водоносных пластов.

Список литературы:

[1] - Greenhouse Gases. — Текст: электронный // ArcGIS StoryMaps: [сайт]. — URL: <https://storymaps.arcgis.com/stories/5417cd9148c248c0985a5b6d028b0277>

[2] - О проведении эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах Российской Федерации: Федеральный закон от 06.03.2022 // Государственная Дума. – 2022. – № 34. – Ст. 1-13.

[3] - Федеральная служба государственной статистики Окружающая среда. Выбросы парниковых газов по секторам / Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] // Росстат: [сайт]. — URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11194>

[4] - Сухой лёд — получение и применение / [Электронный ресурс] // Рус-Айс : [сайт]. — URL: <https://sd-dry-ice.ru/article/suhoj-led-poluchenie-i-primenenie/>

[5] Способ получения синтез-газа из CO₂ : № 2017143159, : заявл. 11.12.2017: опубл. 03.10.2018 / Евдокименко Н. Д., Кустов А. Л., Ким К. О., Аймалетдинов Т.Р., Кустов Л.М. – 11 с.

[6] C. Hepburn, E. Adlen, J. Beddington, E.A. Carter, S. Fuss, N. Mac Dowell, J. C. Minx, P. Smith, C.K. Williams. The technological and economic prospects for CO₂ utilization and removal. Nature. 2019. V. 575. P. 87—97.

[7] Christophe McGlade, Head of the Energy Supply Unit Can CO₂-EOR really provide carbon-negative oil? / Christophe McGlade, Head of the Energy Supply Unit [Электронный ресурс] // IEA: [сайт]. — URL: <https://www.iea.org/commentaries/can-co2-eor-really-provide-carbon-negative-oil>

[8] Rapid carbon mineralization for permanent disposal of anthropogenic carbon dioxide emissions / M. M. JUERG, STUTE MARTIN, Ó. S. SANDRA [и др.]. — Текст: непосредственный // science. — 2016. — № 352. — С. 1312-1314.

[9] Клубков С., Емельянов К., Зотов Н. CCUS Монетизация Выбросов CO₂ / Клубков С., Емельянов К., Зотов Н. [Текст] // VYGON Consulting. —: август 2021. — С. 14-17.

Информация об авторах: Слобожанина Оксана Игоревна, гр. ИЗОСб-20-1, ТИУ, 625000, Уральский федеральный округ, Тюменская область, г. Тюмень, ул. Володарского, 38