Научная статья
Original article
УДК 574

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАХВАТА CO2 ИЗ АТМОСФЕРЫ

TECHNOLOGY FOR CAPTURING CO2 FROM THE ATMOSPHERE

Антропов Аким Ильич, магистрант, институт управления и туризма, Балтийский Федеральный Университет имени Иммануила Канта (236041, Россия, Калининград, ул. А. Невского, 14)

Тур Алексей Сергеевич, магистрант, институт управления и туризма, Балтийский Федеральный Университет имени Иммануила Канта (236041, Россия, Калининград, ул. А. Невского, 14)

Лесных Анна Игоревна, магистрант, институт управления и туризма, Балтийский Федеральный Университет имени Иммануила Канта (236041, Россия, Калининград, ул. А. Невского, 14)

Akim Ilyich Antropov, MA student, Institute of Management and Tourism, Immanuel Kant Baltic Federal University (14 A. Nevsky Str., Kaliningrad, 236041, Russia)

Alexey Tur Sergeevich, MA student, Institute of Management and Tourism, Immanuel Kant Baltic Federal University (14 A. Nevsky Str., Kaliningrad, 236041, Russia)

Lesnyh Anna Igorevna, MA student, Institute of Management and Tourism, Immanuel Kant Baltic Federal University (14 A. Nevsky Str., Kaliningrad, 236041, Russia)

Аннотация. В статье описан процесс улавливания CO2 из атмосферы в промышленном масштабе. Описанная конструкция улавливает 1 Мт CO2 в год в непрерывном процессе с использованием водного сорбента KOH, соединенного с контуром регенрации щелочи кальция. В зависимости от финансовых допущений, затрат на энергию и конкретного выбора конфигурации установки, приведенная стоимость тонны CO2, уловленного из атмосферы, колеблется от 94 до 232 долларов США/тCO2.

Abstract. The article describes the process of capturing CO2 from the atmosphere on an industrial scale. The described design captures 1 metric ton of CO2 per year in continuous operation using an aqueous sorbent connected to a calcium alkaline regeneration circuit. Depending on financial assumptions, energy costs and the specific choice of plant configuration, the present value of a ton of CO2 taken from the atmosphere ranges from 94 to 232 US dollars/total cost 2.

Ключевые слова: захват co2, изменение климата, химия, углекислый газ, парниковые газы, чистое топливо.

Keywords: co2 capture, climate change, chemistry, carbon dioxide, greenhouse gases, clean fuel.

Введение. Улавливание CO2 из атмосферного воздуха было коммерциализировано в 1950-х годах в качестве предварительной обработки для криогенного разделения воздуха. В 1960-х годах улавливание CO2 из воздуха рассматривалось как сырье для производства углеводородного топлива с использованием мобильных атомных электростанций.

Промышленный процесс крупномасштабного улавливания атмосферного CO2 (DAC) выполняет две функции. Во-первых, в качестве источника CO2 для производства углеродно-нейтрального углеводородного топлива, позволяющего преобразовывать безуглеродную энергию в топливо с высокой энергетической плотностью. Солнечное топливо, например, может производиться в недорогих местах с высоким уровнем инсоляции из DAC-CO2 и электролитического водорода с использованием технологии преобразования газа в жидкость,

позволяющей обезуглероживать такие трудно электрифицируемые отрасли, как авиация. Во-вторых, DAC с улавливанием CO2 позволяет удалять углерод.

Возможные процессы DAC используют твердые сорбенты или специальные водные растворы в качестве улавливающей среды. Твердые сорбенты отличаются низким потреблением энергии, низкими эксплуатационными затратами и применимостью в широком диапазоне масштабов. Проблемы, связанные с конструкциями твердых сорбентов, заключаются, во-первых, в необходимости построить очень большую структуру с низкими затратами, при этом позволяя периодически изолировать всю структуру от окружающего воздуха на этапе регенерации, когда температура, давление или влажность должны циклически меняться. И, во-вторых, противоречие в требованиях высокой производительности сорбента, низкой стоимости и длительного срока службы в загрязненном окружающем воздухе.

Описание процесса. Процесс состоит из двух соединенных химических контуров (рис . 1). Первый контур улавливает CO2 из атмосферы с помощью ионизированного водного раствора. Во втором цикле CO3 выпадает в осадок в результате реакции с Ca2+ с образованием CaCO3 , в то время как Ca2+ пополняется за счет растворения Ca(OH)2. CaCO3 кальцинируется для высвобождения CO2 с образованием CaO, который гидратируется или «гасится» для получения Ca(OH)2.

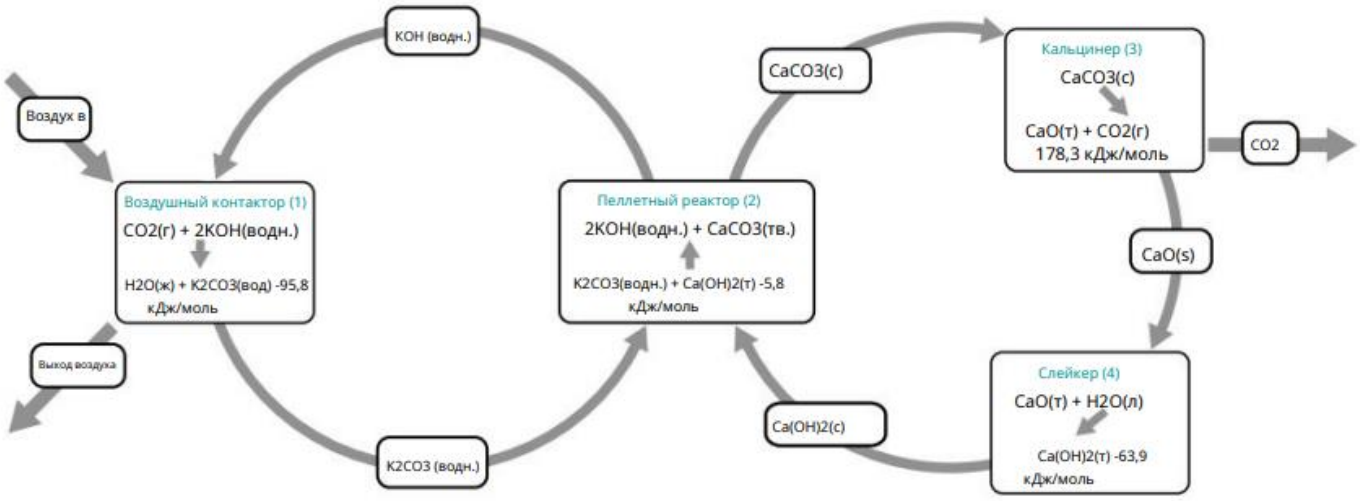

Рис. 1. Химия и термодинамика процесса.

Кальциевая петля (справа) обеспечивает удаление ионов карбоната и, таким образом, регенерацию улавливающей щелочи жидкости (слева). В полях с заголовками показаны названия четырех наиболее важных операций модуля.

В каждой рамке показана химическая реакция с энтальпией реакции при стандартной температуре в килоджоулях на моль углерода. Обратите внимание, что вода высвобождается в реакции 1 и расходуется в реакции 4, уравновешивая процесс. Полный процесс имеет потери на испарение, как показано на рисунке 2.

Преимущество водных сорбентов заключается в том, что контактор может работать непрерывно, его можно построить с использованием дешевого оборудования градирни, а поверхность (жидкости) постоянно обновляется, что обеспечивает очень длительный срок службы контактора, несмотря на наличие пыли и атмосферных загрязнителей. После улавливания CO2 можно легко перекачивать в центральную установку регенерации, что позволяет сэкономить на масштабе и избежать необходимости циклического изменения условий в большом по своей природе воздушном контакторе. Недостатки водных систем включают стоимость и сложность системы регенерации, а также потерю воды в сухой среде.

Компания Carbon Engineering разработала процесс реализации этого цикла в промышленных масштабах. На рис. 2 представлен упрощенный энергетический

и материальный баланс всего процесса. При полной мощности эта установка улавливает из атмосферы 0,98 млн тонн CO2 в год и производит 1,46 млн тонн CO2 в год в виде сухого CO2 при давлении 15 МПа. Дополнительные 0,48 млн тонн CO2 в год производятся за счет сжигания природного газа на месте для удовлетворения всех тепловых и электрических потребностей. Существуют и альтернативные конфигурации с комбинированной подачей электричества и газа.

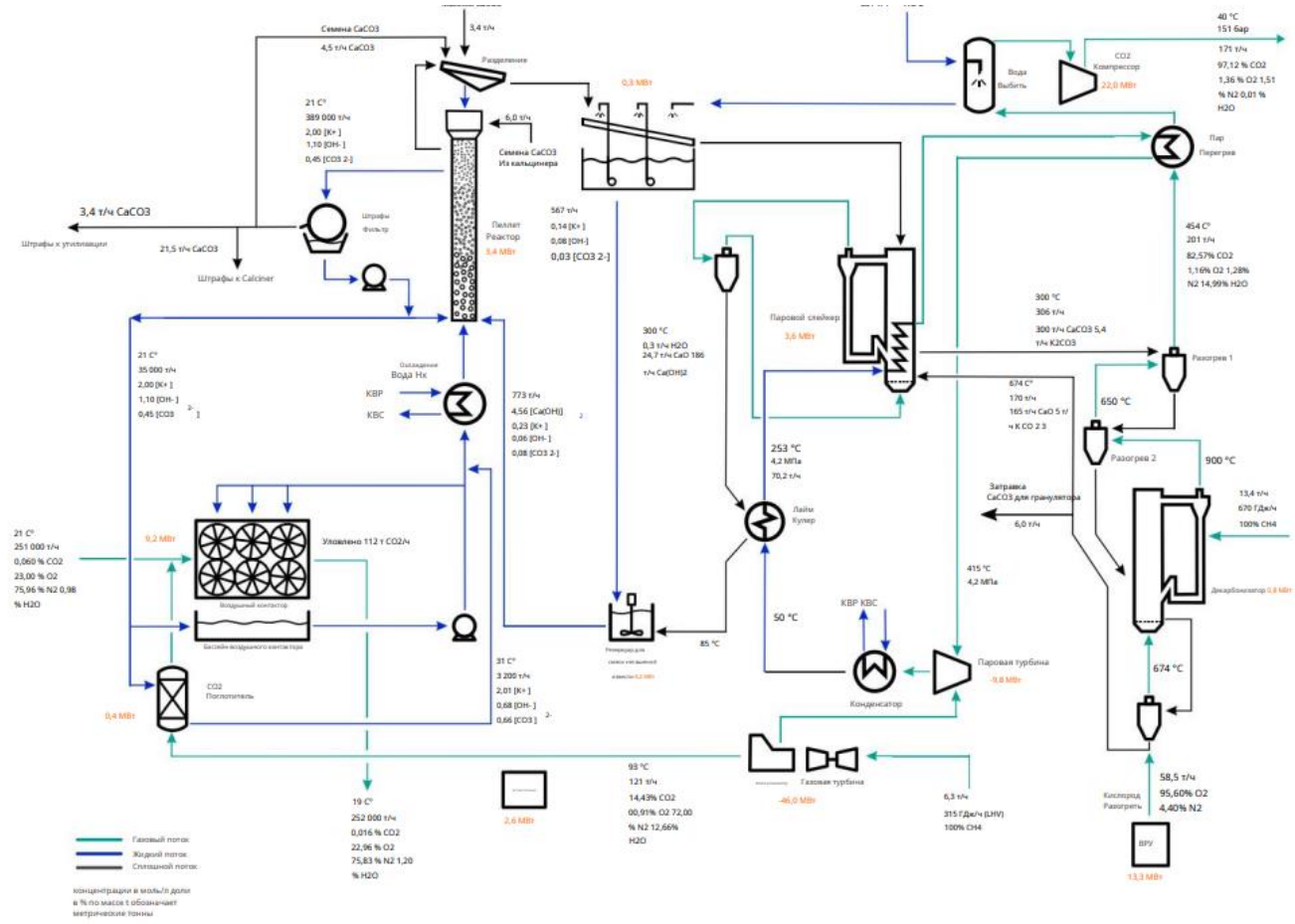

Рисунок 2. Обзор процесса, показывающий баланс массы и энергии.

Потребность в электроэнергии обозначена красным цветом как МВт. Выбранные газовые и жидкие потоки показывают наиболее важные составляющие с использованием массовой доли для газовых потоков и молярной концентрации для водных. Потоки смешанной фазы со значительным массовым потоком твердой фазы имеют цветовую кодировку в зависимости от фазы газа или жидкости, транспортирующей твердое вещество. Блоки обозначены

графическими представлениями, которые предполагают схематическое физическое исполнение блока. Многие второстепенные потоки, такие как охлаждающая вода для многоступенчатого компрессора CO2, не показаны. Существует несколько вариантов подачи потока мелких фракций обратно в кальцинатор, они опущены для простоты, а этот тепловой и массовый баланс отражает мелкие частицы, обрабатываемые идентично потоку, выходящему из промывателя.

Трудно оценить стоимость технологии до ее широкого внедрения. Компания Carbon Engineering потратила несколько десятков миллионов долларов на разработку технологии, однако наши оценки производительности и затрат по-прежнему содержат существенную неопределенность. Наш выбор конструкции технологического процесса был в значительной степени обусловлен целью снижения риска разработки и снижения капитальных затрат на первые установки, а не минимизации энергопотребления или конечной приведенной стоимости. Компания Carbon Engineering приняла консервативный подход к оценке затрат и производительности, отчасти вызванный разногласиями по поводу осуществимости и стоимости DAC. Помимо незначительных изменений в описанном здесь процессе, Carbon Engineering разрабатывает альтернативные процессы DAC. Один из процессов включает полностью электрический вариант кальциевого цикла, исключающий использование природного газа. Другой является полностью жидкофазной системой регенерации, разработанной на основе процесса DAC с тепловым качанием с улучшенной мембраной.

Описанный здесь процесс следует рассматривать как отправную точку с низким уровнем риска, а не как полностью оптимизированный проект с наименьшими затратами. В конфигурациях, использующих электричество, интенсивность выбросов в сеть будет основным фактором, определяющим выбросы. Хотя влияние выбросов электроэнергии на предотвращение затрат все же может быть сравнительно небольшим. Многие небольшие изменения процесса постепенно улучшат производительность по сравнению с базовым уровнем, описанным

здесь. Некоторые усовершенствования будут реализованы как меры по «устранению узких мест» на ранних установках, в то время как другие могут быть включены только в конструкцию новых установок.

Литература

1. Черняев А.А., Заворотин Е.Ф. Факторы устойчивого развития сельских территорий // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2014. № 8. С. 8-10.
2. Беллер М., Штейнберг М. // Синтез жидкого топлива с использованием ядерной энергии в мобильной системе хранения энергии. 1965. С. 8.
3. Лакнер, К.С. (2016). Обещание отрицательных выбросов. 2016. С. 354, 714.
4. Соколоу Р., Десмонд М., Айнс Р.,Блэксток Дж., Болланд О., Каарсберг Т.,Льюис Н., Маццотти М., Пфеффер А., СойерК. и др. // Прямой улавливание CO2 из воздухас химическими веществами: Оценка технологиидля Группы APS по связям с общественностью (АмериканскаяФизическое общество). 2011. С. 121-154.
5. Мартин Д., Джонсон К., Столберг А., Чжан Х.,и Де Янг, С. // Углекислый газ способы его захвата: обзор литературы определение возможностей удаления углерода и оценка стоимости (Энергетический институт Мичиганского университета), [Электронный ресурс] (http://energy.umich.edu/research/publications/carbon-dioxideremoval-options-literature-review-identifyingcarbon-removal , дата обращения 12.05.2022)

References

1. Chernyaev A.A., Zavorotin E.F. Factors of sustainable development of rural territories // Economics of agricultural and processing enterprises. 2019. No. 8. pp. 8-10.
2. Beller M., Steinberg M. // Synthesis of liquid fuel using nuclear energy in a mobile energy storage system. 1965. p. 8.
3. Luckner, K.S. (2020). The promise of negative emissions. 2018. pp. 354, 714.
4. Sokolow R., Desmond M., Ains R., Blackstock J., Bolland O., Kaarsberg T.,Lewis N., Mazzotti M., Pfeffer A., SoyerK. and others . // Direct capture of

CO2 from the air by chemicals: Technology Assessment for the APS Public Relations Group (American Physical Society). 2019. C. 121-154.

5. Martin D., Johnson K., Stolberg A., Zhang H.,and De Yang, S. // Carbon dioxide methods of its capture: literature review determination of carbon removal possibilities and cost estimation (Energy Institute of the University of Michigan), [Electronic resource] (http://energy.umich.edu/research/publications/carbon-dioxideremoval-options-literature-review-identifyingcarbon-removal , accessed 12.05.2022)

© Антропов А.И., Тур А.С., Лесных А.И. 2021 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №5/2021.

Для цитирования: Антропов А.И., Тур А.И., Лесных А.И. ТЕХНОЛОГИЯ ЗАХВАТА CO2 ИЗ АТМОСФЕРЫ// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №5/2021.