

УДК 614.84

Варианты формирования комплексных промышленных объединений по утилизации и переработке углекислого газа в продукты крупнотоннажной химии

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2022.19.1.71

© Технологии гражданской безопасности, 2022

В.П. Малышев, О.В. Виноградов, И.А. Родионов

Аннотация

В статье рассмотрены перспективы использования комплексного подхода к утилизации углекислого газа. На основе анализа возможностей современных методов улавливания и переработки углекислого газа предложены варианты объединения промышленных объектов для комплексной утилизации и последующей переработки углекислого газа в продукты крупнотоннажной химии.

Ключевые слова: методы улавливания; переработка и захоронение углекислого газа; комплексная утилизация и переработка углекислого газа; снижение выбросов углекислого газа; промышленные объединения.

Options for the Formation of Complex Industrial Associations for Utilization and Processing of Carbon Dioxide into Basic Chemicals Products

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2022.19.1.71

© Civil Security Technology, 2022

V. Malyshev, O. Vinogradov, I. Rodionov

Abstract

The article discusses the prospects of using an integrated approach to carbon dioxide utilization. Based on the possibilities analysis of the carbon dioxide capture and processing modern methods, options for combining industrial facilities for complex utilization and subsequent processing of carbon dioxide into basic chemical products are proposed.

Key words: methods of capture; processing and disposal of carbon dioxide; complex utilization and processing of carbon dioxide; reduction of carbon dioxide emissions; industrial associations.

22.12.2021

Введение

Сегодня в мире насчитывается лишь 28 крупных промышленных предприятий в 10 странах, где углекислый газ улавливается, захоранивается или используется в качестве исходного сырья. Они суммарно ежегодно утилизируют около 40 млн тонн выбросов углекислого газа. Основной вклад в этот объем — более 28,5 млн тонн в год, вносят предприятия по добыче и переработке природного газа. Остальной объем приходится на предприятия по производству строительных материалов, синтетического и биотоплива, удобрений, железа и стали.

Глобальный потенциал этих предприятий при условии комплексного подхода к утилизации углекислого газа, по разным оценкам, составляет от 10 до 30 млрд тонн в год. Этот объем ограничен лишь отсутствием развитой инфраструктуры транспортировки углекислого газа от предприятий, являющихся источниками углекислого газа, к предприятиям по его переработке [1, 2].

Существуют технологии снижения выбросов углекислого газа за счет поглощения различными абсорбентами и последующего получения химических веществ, которые могут быть использованы в значительных количествах в различных отраслях промышленности [3]. Совсем другой экономический эффект может быть получен за счет использования комплексного подхода, для реализации которого необходимо обеспечить масштабное внедрение новых технологий улавливания и переработки углекислого газа и сформировать промышленный сектор для достижения нулевых выбросов в наиболее экономически развитых регионах Российской Федерации.

Современные методы утилизации и переработки углекислого газа

Одним из наиболее перспективных методов извлечения углекислого газа из дымовых газов является «... применение 30%-ного водного раствора моноэтаноламина с ингибиторами, что позволяет извлекать 85–95% углекислого газа из дымовых газов и выдавать их с чистотой 99,95%...» [4]. В этом случае основным источником углекислого газа являются тепловые электростанции, использующие различные виды углеводородного топлива. Установки по извлечению углекислого газа (абсорберы) способны ежедневно извлекать от 90 до 1000 тонн углекислого газа в сутки. Афанасьев С. В. отмечает, что «... при этом мощность таких установок может быть повышена до 4600 тонн в сутки для установок по переработке дымовых газов тепловых электростанций, работающих на угле, или до 2400 тонн в — сутки для установок по переработке продуктов сгорания природного газа» [5].

Перспективным является использование технологии, эффективно сочетающей процессы получения жидкого углекислого газа и его взаимодействие с аммиаком на агрегатах синтеза карбамида.

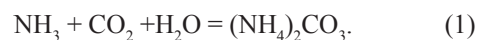
Карбамид (мочевина) является продуктом крупнотоннажного производства, содержит 46% азота, что

обуславливает ее использование в качестве азотного удобрения. Другим важным применением мочевины является промышленный синтез мочевино-альдегидных смол, широко используемых в производстве древесно-волоконистых плит и мебельном производстве, а производные мочевины являются эффективными гербицидами.

Лавренченко Г. К. и Копытин А. В. отмечают, что «... большое влияние на производительность агрегатов карбамида оказывают условия подачи углекислого газа. Если аммиак поступает в реактор синтеза в жидком виде, то углекислый газ — в газообразном. В этом случае выработка таких установок зависит от повышения давления подачи углекислого газа до 15 Мпа» [7].

По мнению С. В. Афанасьева, «... такие способы увеличения транспорта углекислого газа не всегда оправданы. Поэтому актуальной технической задачей является создание установки, в которой возможно сочетание процессов получения жидкого углекислого газа и подачи его с оптимальным давлением с помощью низкотемпературного насоса на агрегат синтеза карбамида. Ее решение предложено и подтверждено соответствующими расчетами» [5]. Ими показано, что «... энергозатраты на сжатие газообразного диоксида углерода до 15 МПа составляют 0,133 кВт*ч/кг вне зависимости от типа компрессора, поршневого или центробежного. При сжатии углекислого газа до указанных давлений и осуществлении последующих процессов его охлаждения и компримирования в насосе удельные энергозатраты будут ниже...» [7].

Целесообразно также рассмотреть возможность использования способа переработки углекислого газа в азотные удобрения с помощью водного раствора аммиака [9]. Процесс протекает по следующей реакции:

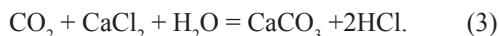


В этом случае образуется соль аминокислоты, которая при нагревании отщепляет воду и переходит в мочевину, являющуюся прекрасным азотным удобрением.



На сегодняшний день «... синтез метанола из оксидов углерода и водорода является одним из важнейших процессов химической промышленности. В литературе описаны различные способы получения этого продукта. Одним из них является реакция углекислого газа с водородом под давлением 1,0–15,0 МПа, температуре 160–300 °С, объемной скорости 7000–25 000 ч⁻¹ в присутствии катализатора, содержащего оксиды меди и цинка, выделение метанола из реакционной смеси и рециркуляцию непрореагировавших в синтезе метанола веществ. В качестве сырья применяют смесь водорода с оксидом и диоксидом углерода, в которой содержание углекислого газа варьирует в интервале 3–12 об.%. В реакционном газе, контактирующем с катализатором, объемное отношение водорода к сумме оксидов углерода в 1,3–3,0 раза больше стехиометрического» [5].

Для поглощения углекислого газа может быть использована технология кальциевого карбонатного цикла [11], которая заключается в использовании в качестве хемо-сорбента оксида кальция, который, взаимодействуя с углекислым газом, образует плохо растворимый в воде карбонат кальция:



Ученые из Калифорнийского университета на основе этой технологии создали экологичный бетон из углекислого газа, выбрасываемого тепловыми электростанциями. Новый строительный материал является особопрочным и может быть использован в технологии 3D-печати строительных конструкций.

Следует отметить, что «...у производства стройматериалов из углекислого газа самый низкий углеродный след; остальные направления утилизации подразумевают довольно высокие выбросы как при производстве, так и при использовании получившейся продукции» [10]. Так топливо, полученное из углекислого газа, будет сжигаться, генерируя выбросы. Поэтому промышленную переработку углекислого газа нельзя назвать абсолютно экологичным способом снижения углеродных выбросов [12].

Интересный вариант использования углекислого газа предложили ученые из Массачусетского технологического института. Они предлагают создавать батареи из литий-углекислого газа, заменив металлические катализаторы на углеродный электрод. Такая батарея, по их мнению, способна обеспечить питание на уровне, сопоставимом с существующими литиево-газовыми батареями; при этом, по мере того как она разряжается, углекислый газ превращается в электролит твердой минеральной карбонатной формы.

Углекислый газ может быть также использован для получения соды, поташа и мочевины. Эти продукты широко используются в экономике Российской Федерации, включая химическую промышленность, фармацевтическое, стекольное, мыловаренное, бумажное и красильное производство [13]. Из одной тонны углекислого газа можно получить: 1,4 тонны мочевины, 2,4 тонны соды и 3,1 тонны поташа.

На рисунке приведена оценочная ежегодная потребность в углекислом газе по некоторым отраслям экономики.

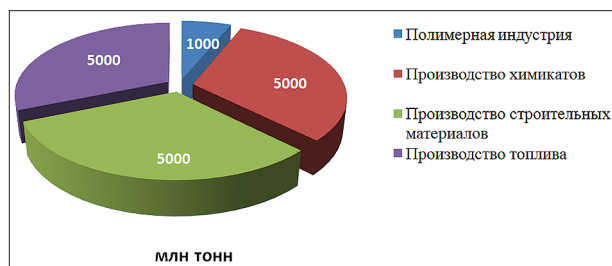


Рис. Ежегодная потребность в углекислом газе (млн тонн) по отраслям экономики

В ряде нефтегазовых месторождений используются различные способы захоронения углекислого газа [14, 15, 16]. Одним из них является закачивание

углекислого газа под землю, на глубину более 800 м, в пористые породы истощенных газовых или нефтяных месторождений.

Еще одним способом захоронения углекислого газа является его закачивание не просто под землю, а в действующие нефтяные месторождения, что позволяет повысить добычу; причем использование уловленного углекислого газа значительно эффективнее традиционного вытеснения нефти водой [17].

По оценке аналитиков, отечественная нефтяная индустрия с целью повышения нефтеотдачи уже сейчас могла бы захоронить более 23 млрд тонн углекислого газа; это столько, сколько Россия выбросит за 10 лет. О намерении запустить к 2028 году пилотные проекты по улавливанию, переработке, транспортировке и захоронению в подземных хранилищах в феврале 2021 года заявляла «Роснефть».

Вместе с тем, на сегодняшний день плотные проекты по утилизации и промышленной переработке углекислого газа не могут окупиться. В связи с этим, в условиях трансграничного углеродного регулирования России необходимо создать собственную отрасль улавливания и утилизации углекислого газа, что на сегодняшний день практически невозможно без государственной поддержки. Такая поддержка может быть оказана в виде прямых субсидий или в форме льгот или преференций.

Варианты объединения промышленных объектов для комплексной утилизации и последующей переработки углекислого газа

По данным Международного энергетического агентства, на промышленные источники выбросов (нефтеперерабатывающие заводы, тепловые электростанции, предприятия металлургии) в настоящее время приходится около 25% всех выбросов углекислого газа, обусловленных деятельностью человека, и около 40% энергопотребления [18].

Многие из проблем, связанных с улавливанием промышленных углеродных выбросов, схожи с проблемами, стоящими перед запуском новых технологий, обеспечивающих энергетический сектор. Опыт создания различных кластеров имеется; так «...за последние сто лет в мире было создано множество региональных кластеров прямо и косвенно связанных между собой промышленных предприятий. Они извлекают выгоду из производства качественной продукции по более низкой цене» [13].

Комплексный обезуглероженный промышленный кластер может объединить предприятия — источники углекислого газа (нефтеперерабатывающие заводы, тепловые электростанции и т.д.), и промышленные предприятия, являющиеся потребителями углекислого газа (предприятия по производству удобрений, метанола, строительных изделий и т.д.), общей инфраструктурой улавливания, транспортировки и последующей переработки или утилизации двуокиси

Таблица

Типы объектов, способных участвовать в комплексной утилизации и переработке углекислого газа

Наименование объектов	Степень участия	
	Поставка углекислого газа	Потребление углекислого газа
Нефтеперерабатывающие заводы	+	+
Тепловые электростанции	+	-
Крупные химические комбинаты по производству удобрений	+	+
Заводы по производству пластмасс, синтетических смол, лаков, красок	-	+
Металлургические заводы	+	+
Цементные заводы	+	+
Заводы по производству водорода или метанола	+	+
Заводы по производству соды	-	+

углерода. Целью создания комплексных промышленных объединений является снижение стоимости переработки или утилизации двуокиси углерода. Безусловно, что на начальном этапе невозможно объединить в единую сеть все предприятия (и источники, и потребители углекислого газа). Но со временем спрос на углекислый газ будет возрастать, а развитие технологической основы приведет к снижению производственных рисков, количество предприятий в такой технологической цепи будет увеличиваться. Типы объектов, способных участвовать в комплексной утилизации и переработке углекислого газа, приведены в таблице.

С учетом приведенных в таблице объектов пилотные проекты по формированию комплексных обезуглерожженных промышленных кластеров целесообразно разместить в Самарской области, Республике Башкортостан и Ставропольском крае.

Так, на территории Самарской области расположено одно из ведущих предприятий-потребителей углекислого газа ПАО «Тольяттиазот», производящее аммиак, карбамид, аммиачную селитру. При этом на территории области ежегодно добывается около 10 млн тонн нефти и более 300 млн м³ природного газа. Крупнейшими источниками выбросов углекислого газа являются: АО «Куйбышевский НПЗ»; Безымянская ТЭЦ (г. Самара); АО «Новокуйбышевский НПЗ» (г. Новокуйбышевск); АО «Сызранский НПЗ»; АО «Первомайнефть»; АО «Тольяттиазот»; АО «Синтезкаучук» (г. Тольятти).

По территории Республики Башкортостан проходит более 53 тыс. км магистральных, промысловых трубопроводов и межпоселковых газопроводов, в том

числе: 19 нефте-, 8 продукто- и 11 газопроводов. На территории республики размещено свыше 90 взрыво- и пожароопасных объектов. Основными источниками выбросов углекислого газа являются: Новоуфимский НПЗ; АО «Уфанефтехим»; АО «Сода» (г. Стерлитамак); «Салаватнефтеоргсинтез» (г. Салават).

На территории Ставропольского края расположено 3 ТЭЦ, 4 ТЭС, а также ОАО «Роснефть-Ставрополь», являющиеся источниками выброса углекислого газа, а также около 1800 предприятий промышленности, в том числе предприятия химической промышленности, осуществляющие производство пластмасс, синтетических смол, лаков, красок, азотных удобрений, являющиеся потребителями углекислого газа.

Выводы

Снижение выбросов парниковых газов становится необходимым условием повышения качества жизни людей, обеспечения безопасности их жизнедеятельности. В связи с этим внедрение технологий переработки и использования углекислого газа является приоритетным направлением деятельности в рамках борьбы с парниковыми газами, которая помимо влияния на климат может принести существенную пользу для экономики страны.

Формирование комплексных промышленных объединений по утилизации и переработке углекислого газа обеспечит широкое применение продуктов переработки углекислого газа и снижение углеродного следа в промышленности, сельском хозяйстве и других отраслях экономики.

Литература

1. Федоров Б. Г. Российский углеродный баланс. М.: Научный консультант, 2017. 82 с.
2. Зимов С. А. Дремлющая угроза. О плейстоценовых парках и не вечной мерзлоте // Российская газета. 2021. № 245(8596).
3. Малышев В. П., Виноградов О. В., Родионов И. А. Альтернативное направление снижения выбросов углекислого газа // Технологии гражданской безопасности. 2021. Т. 18. № 4 (70). С. 42–45.
4. Афанасьев С. В., Сергеев С. П., Волков В. А. Современные направления производства и переработки диоксида углерода // Химическая техника. Межотраслевой журнал для главных специалистов предприятий. 2016. № 11. С. 30–33.
5. Афанасьев С. В. Углекислый газ как сырье для крупнотоннажной химии // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2019. № 9 (93). С. 94–106.
6. Лавренченко Г. К., Копытин А. В. Новые технологии извлечения CO₂ из дымовых газов тепловых станций // Технические газы. 2011. № 2. С. 32–42.
7. Лавренченко Г. К., Копытин А. В., Пятничко А. И., Иванов Ю. В. Оптимизация состава абсорбента амины-вода узла извлечения CO₂ из дымовых газов. // Технические газы. 2011. № 1. С. 31–40.
8. Лейтес И. Л., Аветисов А. К., Язвикова Н. В. и др. Исследование физико-химических свойств модифицированного МДЭА-абсорбента для тонкой очистки синтез-газа от диоксида углерода в производстве аммиака // Химическая промышленность сегодня. 2003. № 1. С. 34–36.

9. Environmental and value creation. CO₂ for EOR on the Norwegian Shelf — A case Study, Bellona report, 2015.
10. Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 года и дальнейшую перспективу / Под ред. В.М. Катцова и Б.Н. Порфирьева / Росгидромет. М.: Д'АРТ: Главная геофизическая обсерватория, 2011. 252 с.
11. Гладышева Т. В., Гладышев Н. Ф., Дворецкий С. И., Суворова Ю. А. Известковые хемосорбенты. Получение. Свойства. Применение. М.: Изд. дом «Спектр», 2015. 184 с.
12. Аксель-Рубинштейн В. З. Санитарная химия атмосферы гермо-объектов. СПб.: ООО «Пресс-Сервис», 2010. 354 с.
13. Стратегический глобальный прогноз / Под общей ред. А.А. Дынкина. М.: ИМЗМО РАН, 2012.
14. Иванова А. Ю., Дурманова Н. Д. Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России. М.: ВШЭ, 2021.
15. Михеев Н. П. Риски перехода к низкоуглеродной экономике: угрозы и возможности нефтегазовой отрасли // Проблемы анализа риска. 2021. Т. 18. № 2. С. 34–43.
16. Улавливание и хранение двуокси углерода: доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата, 2020.
17. Улавливание и геологическое хранение углекислого газа: вклад в решение проблемы изменения климата: Международная ассоциация представителей нефтяной промышленности по охране окружающей среды, 2018.
18. Доронина О. Д., Кузнецов О. А., Рахманин Ю. А. Стратегия ООН для устойчивого развития в условиях глобализации. М.: Изд-во РАН, 2005. 248 с.

Сведения об авторах

Малышев Владлен Платонович: д. х. н., проф., засл. деятель науки РФ, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), г. н. с. науч.-исслед. центра.
Москва, Россия.
e-mail: 14_otdel@mail.ru
SPIN-код: 2163-3798.

Виноградов Олег Владимирович: к. т. н., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), в. н. с. науч.-исслед. центра.
Москва, Россия.
e-mail: v1970ov@mail.ru
SPIN-код: 3056-0611.

Родионов Игорь Александрович: доц., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), с. н. с. науч.-исслед. отдела.
Москва, Россия.
e-mail: goha-5@yandex.ru
SPIN-код: 3506-4636.

Information about authors

Malyshev Vladlen P.: ScD (Chemistry Sc.), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, All-Russian Research Institute for Civil Defense And Emergencies, Chief Researcher, Research Center.
Moscow, Russia.
e-mail: 14_otdel@mail.ru
SPIN-scientific: 2163-3798.

Vinogradov Oleg V.: PhD (Technical Sc.), All-Russian Research Institute for Civil Defense And Emergencies, Leading Researcher, Research Center.
Moscow, Russia.
e-mail: v1970ov@mail.ru
SPIN-scientific: 3056-0611.

Rodionov Igor A.: Associate Professor, All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Senior Researcher, Research Department.
Moscow, Russia.
e-mail: goha-5@yandex.ru
SPIN-scientific: 3506-4636.

Издания ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)

Авторы, название	URL
Пучков В.А. и др. Мы первыми приходим на помощь: литературно-художественный публицистический сборник	https://elibrary.ru/item.asp?id=29281817
Акимов В.А. и др. Стандартизация в области гражданской обороны и защиты от чрезвычайных ситуаций: Монография. В 2-х т., т. I.	https://elibrary.ru/item.asp?id=29741180
Акимов В.А. и др. Стандартизация в области гражданской обороны и защиты от чрезвычайных ситуаций: Монография. В 2-х т., т. II.	https://elibrary.ru/item.asp?id=29919459
Пучков В.А. и др. Огнеборцы: литературно-художественный публицистический сборник	https://elibrary.ru/item.asp?id=29281821
Афлятунов Т.И. и др. Сборник примерных программ курсового обучения населения в области гражданской обороны и защиты от чрезвычайных ситуаций	http://elibrary.ru/item.asp?id=29013219
Настольная книга руководителя гражданской обороны. Изд. 4-е, актуализ. и дополн.	https://elibrary.ru/item.asp?id=29352006
Батырев В.В. и др. Оценка эффективности и качества фильтрующих средств индивидуальной защиты органов дыхания населения в чрезвычайных ситуациях	https://elibrary.ru/item.asp?id=29741192
Талмач М.С. и др. Учебное пособие по дисциплине «Экстремальная психология» для курсантов МЧС России	https://elibrary.ru/item.asp?id=29853968
Фалеев М.И. и др. Экономические механизмы ресурсного обеспечения мероприятий по защите населения и территорий от угроз военного, природного и техногенного характера	https://elibrary.ru/item.asp?id=29860580
Акимов В.А. Междисциплинарные исследования проблем безопасности	https://elibrary.ru/item.asp?id=32369931