

сырьевой топливной базы / А. Н. Пехота // Вестник Брестского государственного университета. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2011. – № 2. – С. 53–55.

6. Исследование многокомпонентного брикетированного топлива на основе осадков сточных вод городских очистных сооружений г. Гомеля и исследование теплотехнических свойств брикетов: отчет по НИР / Белорус. гос. ун-т трансп.; научный рук. А. Н. Пехота. – Гомель, 2020. – 99 с.

УДК 628.5+504.5

Уменьшение выбросов углекислого газа в атмосферу Земли

Бракович И. С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

На основании анализа литературных источников приведены основные схемы антропогенного круговорота углекислого газа в атмосфере Земли и рассмотрены основные методы его улавливания.

Концентрация углекислого газа (CO_2) в атмосфере в последние годы имеет тенденцию к постоянному увеличению и пока нет никаких реальных фактов, что эта тенденция изменится. Несмотря на ускорение темпов вовлечения возобновляемых источников энергии в энергетический потенциал стран мира, в будущем индустриальным и развивающимся странам придется, по всей вероятности, продолжить сжигать нефть, уголь и природный газ.

Учитывая тот факт, что мировое человечество еще в середине прошлого века озаботилось существенным увеличением выбросов CO_2 в атмосферу и это вылилось в подписание целого ряда международных договоров и соглашений. В 2001 г. была создана межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) в рамках Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. Результатом работы группы явилась разработка доклада, утвержденного в 2005 году в Монреале, Канада. В докладе четко изложена схема антропогенного круговорота углекислого газа, которая включает четыре основных этапа: **улавливание, транспортировка, хранение** и его **использование**.

Прежде чем улавливать углекислый газ, нужно определиться с основными источниками промышленных выбросов CO_2 в атмосферу. В табл. приведены основные, наиболее крупные источники выбросов (более 1 млн. т. CO_2 в год)

Всего в атмосферу Земного шара выбрасывается ежегодно порядка 23,5 Гт CO₂ в год. Эти выбросы сосредоточены в 4 основных регионах: Северная Америка (среднезападная и восточная части США), Европа (северный и западный регионы), Восточная Азия (восточное побережье Китая) и Южная Азия (Индийский регион).

Вопросы **транспортировки** углекислого газа мало чем отличаются от транспортировки таких соединений, как природный газ, они широко известны, и мы на них останавливаться не будем.

Потенциальными техническими видами **хранения** являются: геологическое хранение (в геологических формациях, таких как нефтяные и газовые месторождения, не имеющие промышленного значения угольные пласты и глубоко залегающие соленосные формации); хранение в океане (прямой выброс в столб океанской воды или в морскую впадину) и промышленная фиксация CO₂ в неорганических карбонатах (табл. 1).

Таблица 1

Источники промышленных выбросов CO₂

№ п/п	Процесс	Количество источников	Выбросы CO ₂ , млн.т в год
1.	Ископаемое топливо		
1.1.	Энергетика	4942	10539
1.2.	Производство цемента	1175	932
1.3.	Нефтеочистительные заводы	638	798
1.4.	Сталелитейная промышленность	269	646
1.5.	Нефтехимическая промышленность	470	379
1.6.	Другие источники	90	83
2.	Биомасса		
2.1.	Биоэтанол и биоэнергетика	303	91
	ИТОГО:	7887	13468

Использование углекислого газа (примерно 120 млн.т в год) основано на известных технологиях: производство мочевины, метанола, в холодильном оборудовании, при упаковке пищевых продуктов, в напитках и огнетушителях.

К настоящему времени разработан целый ряд приемов, методов и технологий по **извлечению** CO₂ из газовых выбросов предприятий; улавливание CO₂ из воздуха, которым дышат экипажи в подводных лодках и космических кораблях. К основным методам по улавливанию CO₂ из газового потока можно отнести применение жидкого растворителя – моноэтаноламина, обработка первичного топлива в реакторе потоком, насыщенным воздухом или кислородом для создания смеси, состоящей главным обра-

зом из оксида углерода и водорода, так называемый «синтетический газ». Кроме того, применяются химические растворители, мембраны, твердые сорбенты и криогенное разделение. Такими способами можно улавливать до 80–90 % выбрасываемого CO_2 . Но большая часть образующегося углекислого газа на планете не может быть уловлена человеком (извержение вулканов, разложение органических веществ, дыхание растений и животных) и тогда встает вопрос об уменьшении его содержания в атмосфере Земли. Можно, конечно, увеличить площадь лесных насаждений, абсорбирующих углекислый газ, но леса вырубают так интенсивно, что на Земле просто не хватит площадей для этой цели.

Ученые многих стран предлагают свои **методы улавливания** углекислого газа из атмосферы. Среди таких предложений есть интересные, но мало реальные:

– Окружить всю планету по экватору космическими спутниками, отбрасывающими тень и отражающими солнечные лучи, предлагает ученый Роджер Энджел [1]. Он уверен, что достаточно загородить от солнечных лучей участок диаметром в две тысячи километров, создав тень площадью около 300 млн га. Крылья спутников будут зеркальными, чтобы отбрасывать солнечные лучи обратно в космос.

– Построить аэрозольный щит от солнца хотят ученые российского НПО «Тайфун» [2]. Они проводят эксперименты с различными видами аэрозолей в особой климатической камере, чтобы понять, какой из них лучше защитит планету от излишнего нагревания. Мелкие капли аэрозоля будут отражать солнечные лучи и, как туман, не давать солнцу «жарить» слишком сильно. Известно, что эффективно охлаждают Землю выбросы вулканов, насыщенные диоксидом серы. Однако это вещество вредное, может разрушить озоновый слой. Как защитить озоновый слой от серной кислоты, в которую превратится диоксид серы в смеси с облаками? Ученые из Гарварда предлагают решение простое, как все гениальное – карбонат кальция. «Фактически, это антациды для стратосферы», – прокомментировал один из соавторов исследования Франк Койч. Создатели планируют добавлять аэрозоль в топливо самолетов.

– Превращение диоксида углерода в ценные химические вещества, такие как метан, привлекает большое внимание специалистов для использования в поддержке программ CCS (захвата и утилизации углерода) [3]. Например, некоторые заводы в Германии уже работают на основе концепции Power to Gas (энергия в газ), которая позволяет аккумулировать и транспортировать энергию от электричества в виде сжатого газа.

– Большинство методов удаления углекислого газа из потока газа требуют более высоких концентраций, таких как те, которые присутствуют в дымовых выбросах электростанций на основе ископаемого топлива. Было

разработано несколько вариантов, которые могут работать с низкими концентрациями, существующими в воздухе, но новый метод, разработанный в MIT, значительно менее энергоемкий и дорогостоящий [4]. Метод, основан на пропуске воздуха через пакет заряженных электрохимических пластин. Само устройство представляет собой большую батарею, которая поглощает углекислый газ из воздуха, проходящего через ее электроды, когда она заряжается (заполняется CO_2), а затем выпускает CO_2 в процессе разрядки.

При зарядке аккумулятора CO_2 на поверхности каждого электрода происходит электрохимическая реакция. Электроды покрыты соединением, называемым полиантрахиноном, находящимся в виде нанотрубок. Такие электроды имеют естественное сродство к углекислому газу и легко реагируют с его молекулами в газовом потоке, даже когда он присутствует в очень низких концентрациях. Обратная реакция происходит, когда аккумулятор CO_2 разряжается и в процессе выходит поток чистого углекислого газа. Вся система работает при комнатной температуре и атмосферном давлении. Это бинарное сродство позволяет захватывать углекислый газ при любой его концентрации в смеси газов, в том числе при концентрации 400 частей на миллион, как в атмосферном воздухе, и позволяет выпускать его в любой поток, в том числе в поток 100 % CO_2 .

Исследователи создали компанию под названием Verdox для коммерциализации разработанного ими процесса и надеются создать опытно-промышленную установку в течение ближайших нескольких лет.

– Японские ученые нашли новый способ, который поможет бороться со все увеличивающейся концентрацией углекислого газа в земной атмосфере. Ключом этого способа является специальный пористый полимерный материал (porous coordination polymer, PCP), наполненный ионами цинка, который эффективно поглощает CO_2 из атмосферы и, не расходуя большого количества энергии, трансформирует его в полезные органические соединения. Наличие ионов цинка в полимере PCP позволяет этому материалу поглощать атмосферный углекислый газ в 10 раз более эффективно, нежели это могут делать другие подобные материалы. Более того, PCP-полимер поддается процедуре регенерации, опытные его образцы выдерживали без потери эффективности около 10 восстановительных циклов.

– Новый материал способен улавливать молекулы диоксида углерода (CO_2) и преобразовывать их в полезные органические материалы. Его разработали исследователи Киотского университета совместно с коллегами из Токийского университета и Цзянсуйского университета в Китае [2]. Исследователи разработали новый пористый материал – пористый координирующий полимер, состоящий из ионов цинка. Ученые протестировали свой материал с помощью рентгеновского структурного анализа и обна-

ружили, что он может селективно улавливать только молекулы CO_2 . После улавливания углерода преобразованный материал может быть использован для производства полиуретана, материала с широким спектром применений – из него можно сделать одежду, бытовую технику и упаковку.

По сообщению информационного агентства NHK, министерством охраны окружающей среды Японии принято решение начать со следующего года работы по выделению и сбору диоксида углерода непосредственно из атмосферы. При этом полученные вещества затем будут использовать как сырье в различных целях.

В настоящее время уже предложен наиболее дешевый способ улавливания углекислого газа [5]. Аризонский университет (ASU) и компания Silicon Kingdom Holdings (SKH) заключили соглашение о внедрении технологии очистки воздуха от углекислого газа с помощью «механических деревьев».

Устройства, разработанные профессором ASU Клаусом Лакнером, работают как «механические деревья», которые, фильтруя потоки ветра, улавливают молекулы углерода и позволяют его сохранить для повторного использования. В отличие от существующих способов борьбы с вредными выбросами, технология улавливает углерод из атмосферы без механического всасывания воздуха, не используя энергоемкие устройства. Вместо этого происходит фильтрация естественных потоков воздуха, на которые реагируют заполненные сорбентом диски. По словам разработчиков, технология предлагает наиболее дешевый способ улавливания CO_2 – менее 100 долларов за тонну.

Технологию планируют внедрять кластерами, каждый из которых состоит из 12 «деревьев», способных удалять CO_2 в объеме до одной тонны в сутки. Систему протестируют на экспериментальной ферме, мощность которой составит до 100 тонн CO_2 в сутки. Затем планируется несколько ферм, мощность каждой из которых составит до 3,8 млн тонн углерода в год. Улавливание и хранение углерода позволяет бороться с глобальным потеплением и загрязнением окружающей среды.

Литература

1. Кривоченко, М. Сокращение выбросов не замедлило изменение климата [Электронный ресурс] / М. Кривоченко // Naked Science – 2020 – № 51. – Режим доступа: <https://naked-science.ru/article/sci/sokrashhenie-vybrosov-ne-zamedlilo-izmenenie-klimata>. – Дата доступа: 10.04.2021.

2. Wu, P. Carbon dioxide capture and efficient fixation in a dynamic porous coordination polymer [Electronic resource] / Pengyan Wu, Yang Li, Jia-Jia Zheng [etc.] // Nature Communications – volume 10, Article number: 4362

(2019) – Mode of access: <https://gisprofi.com/gd/documents/novyy-material-ulavlivaet-uglekislyj-gaz.html>. – Date of access: 10.04.2021.

3. Kensei, Y. Low-temperature Conversion of Carbon Dioxide to Methane in an Electric Field [Electronic resource] / Kensei Yamada, Shuhei Ogo ,Ryota Yamano [etc.] // Chemistry Letters – 2020/ – Vol.49, No.3. – Mode of access: <https://www.journal.csj.jp/doi/10.1246/cl.190930>. – Date of access: 10.04.2021.

4. Chandler, D. MIT engineers develop a new way to remove carbon dioxide from air / David Chandler / MIT News Office. – October 24, 2019. – Mode of access: <http://news.mit.edu/2019/mit-engineers-develop-new-way-remove-carbon-dioxide-air-1025>. – Date of access: 10.04.2021.

5. Lackner, K. Powerful 'mechanical trees' can remove CO2 from air to combat global warming at scale / Klaus Lackner // ASU News – April 29, 2019 – Mode of access: <https://asunow.asu.edu/20190429-solutions-lackner-carbon-capture-technology-moves-commercialization>. – Date of access: 10.04.2021.

УДК 697.9

Оценка эффективности организованной приточно-вытяжной вентиляции многоэтажного здания в условиях загрязненного атмосферного воздуха крупных городов

Зафатаев В. А., Ланкович С. В.
Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Республика Беларусь

Определены условия работы и энергоэкономичность системы организованной приточно-вытяжной вентиляции многоэтажного здания, в которой для подогрева приточного воздуха используется теплота солнечного излучения и теплота удаляемого из помещений воздуха. При расчете количества лучистой теплоты, воспринимаемой зданием, учтено состояние загрязнения атмосферного воздуха, характерное для крупных городов.

Введение. Современное состояние мирового энергетического сектора характеризуется высокими темпами роста энергопотребления и соответствующим увеличением дефицита энергоресурсов. В Беларуси, где энергоемкость валового внутреннего продукта существенно выше, чем у других развитых стран, это имеет особое значение, и поднимает статус энергосбережения на уровень государственной политики.

Главным направлением в решении проблем энергосбережения является разработка энергосберегающих процессов, схем, установок, технологий. Наиболее остро проблема энергосбережения проявляется в конечном по-