

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2022, №5, Том 14 / 2022, No 5, Vol 14 <https://esj.today/issue-5-2022.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/16NZVN522.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Зиганшин, Р. Ш. Перспективы применения углекислого газа в современной промышленной энергетике / Р. Ш. Зиганшин, Д. А. Маргачев, М. А. Давыдов, А. М. Зиновьев // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 5. — URL: <https://esj.today/PDF/16NZVN522.pdf>

For citation:

Ziganshin R.Sh., Margachev D.A., Davydov M.A., Zinovev A.M. Prospects for the use of carbon dioxide in modern industrial energy. *The Eurasian Scientific Journal*, 14(5): 16NZVN522. Available at: <https://esj.today/PDF/16NZVN522.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

Зиганшин Раис Шамильевич

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Аспирант
E-mail: pauc97@gmail.com
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1134747

Маргачев Данила Андреевич

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Магистрант
E-mail: danilama1999@mail.ru

Давыдов Михаил Анатольевич

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Бакалавр
E-mail: mishad.davidov@yandex.ru

Зиновьев Алексей Михайлович

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: lekso1988@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=327270

Перспективы применения углекислого газа в современной промышленной энергетике

Аннотация. Новые возможности использования углекислого газа при разработке продуктов и услуг привлекают внимание правительств, корпораций, промышленных предприятий и инвестиционного сообщества, заинтересованных в рациональном использовании актуальных технологий для смягчения последствий изменения климата и достижения технологического лидерства.

Ожидается, что использование CO₂ в краткосрочной перспективе останется относительно небольшим. Государственная поддержка может помочь создать ранний рынок для продуктов, полученных из CO₂. В долгосрочной перспективе CO₂, полученный из воздуха, может сыграть ключевую роль в экономике с нулевым чистым выбросом CO₂, в том числе в качестве источника углерода для авиационного топлива и химикатов.

При выполнении работы авторы опирались на научные труды отечественных и зарубежных ученых, внесших вклад в понимание процессов выделения и применения

углекислого газа, таких как Ян Баптист ван Гельмонт, Джозеф Блэк, Майкл Фарадей, Гемфри Дэви и многих других.

В статье рассмотрены существующие тенденции применения углекислого газа в мировой промышленной энергетике, проанализировано постепенное развитие идеи применения CO₂ в индустрии, проведён анализ влияния CO₂ на промышленность с выделением ключевых моментов и различных точек зрения для формирования наиболее полной картины.

Авторами рассматривается краткосрочный рыночный потенциал для ключевых категорий продуктов и услуг, получаемых из CO₂: топливо, химикаты, строительные материалы из полезных ископаемых, строительные материалы из отходов, а также использование CO₂ для повышения эффективности биологических процессов.

Ключевые слова: углекислый газ; промышленность; нефть; природный газ; ископаемое топливо; экология; выбросы углекислого газа; углеродный менеджмент

Введение

Актуальным трендом развития нефтегазовой отрасли является направление снижения выбросов парниковых газов при добыче, сборе и подготовке, транспортировке, переработке нефти и газа, коммерческой реализации продукции.

Использование CO₂ может способствовать достижению ряда целей курса сохранения и восстановления климата на территории Российской Федерации¹. Необходимо более глубокое понимание технологий для качественной оценки климатических преимуществ методов применения CO₂.

Основная часть

Данные, полученные при проведении исследований ледяных кернов, показывают, что усредненное значение концентрации углекислого газа в атмосфере с 1750 по 1800 годы составляла 278 ppm (0,278 %). Данное значение принято использовать в качестве доиндустриального базового уровня для углекислого газа.

Исследованиями доказано, что в марте 2021 года уровень содержания углекислого газа в атмосфере превышал 417 ppm — значение в полтора раза больше, чем до начала промышленной революции [1].

Со времен промышленной революции антропогенные выбросы парниковых газов поспособствовали быстрому увеличению их концентрации в атмосфере (во многом благодаря вырубке леса и использованию угля), спровоцировав начало глобального потепления.

Фактически, последние данные (рис. 1) показывают, что глобальные выбросы CO₂ уже в 2018 году были в 180 раз выше, чем в 1850 году².

¹ Российская Федерация. Законы. Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2021 № 3052-р «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года». // URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_399657/.

² Historical GHG Emissions. // URL: <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions>.

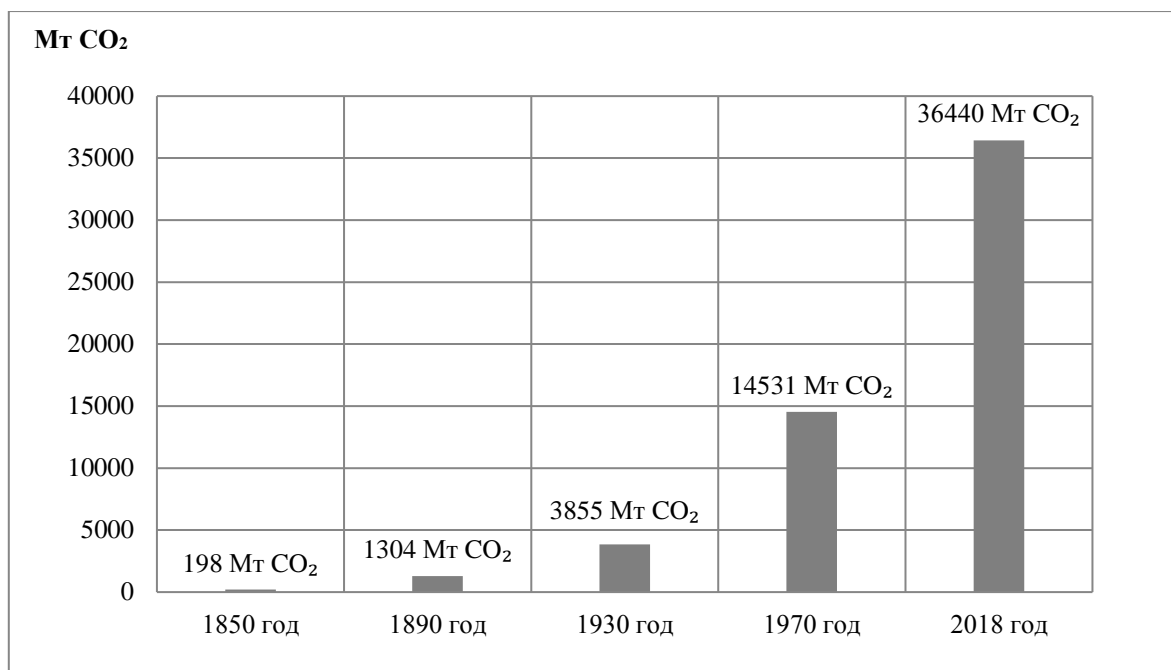


Рисунок 1. Данные по выбросам CO₂ по годам (в мегатоннах)²

Так же можно проследить связь между общественными мировыми тенденциями и объёмами выбросов углекислого газа, такими как рост населения, экономическое развитие наиболее интенсивно развивающихся стран и рост энергетического комплекса. В начале 1850 года Великобритания была крупнейшим источником выбросов CO₂, причем выбросы почти в шесть раз превышали выбросы второй по величине страны — Соединенных Штатов. Франция, Германия и Бельгия завершили список пяти крупнейших источников выбросов. В 2005 году Китай стал крупнейшим в мире источником выбросов, за ним следуют США, Индия, Россия и Япония.

Между 1850 и 1960 годами в мире в целом наблюдался постоянный рост выбросов, в основном из-за индустриализации и роста населения, особенно в Соединенных Штатах. Это развитие прерывалось на время лишь некоторыми историческими событиями, такими как Великая депрессия в 1930-х годах и окончание Второй мировой войны в 1945 году. Однако к 1950-м годам выбросы в Китае и России начали расти по мере роста их экономики.

Великобритания, которая когда-то была крупнейшим источником выбросов в мире, стабилизировала свои общие выбросы CO₂. В России произошло значительное сокращение выбросов с распадом Советского Союза.

В 1994 году валовой внутренний продукт Азии стал самым большим в мире. Интересно, однако, что Азия стала крупнейшим источником выбросов CO₂ за год до этого — в 1993 году — во многом благодаря быстрому экономическому росту в Китае.

На текущий момент, подавляющее большинство выбросов (более 60 % — рисунок 2) сконцентрировано в относительно небольшой группе стран³.

³ China's Greenhouse Gas Emissions Exceeded the Developed World for the First Time in 2019. Kate Larsen, Hannah Pitt, Mikhail Grant, and Trevor Houser May 6, 2021. // URL: https://rhg.com/research/chinas-emissions-surpass-developed-countries/#_ftn1.

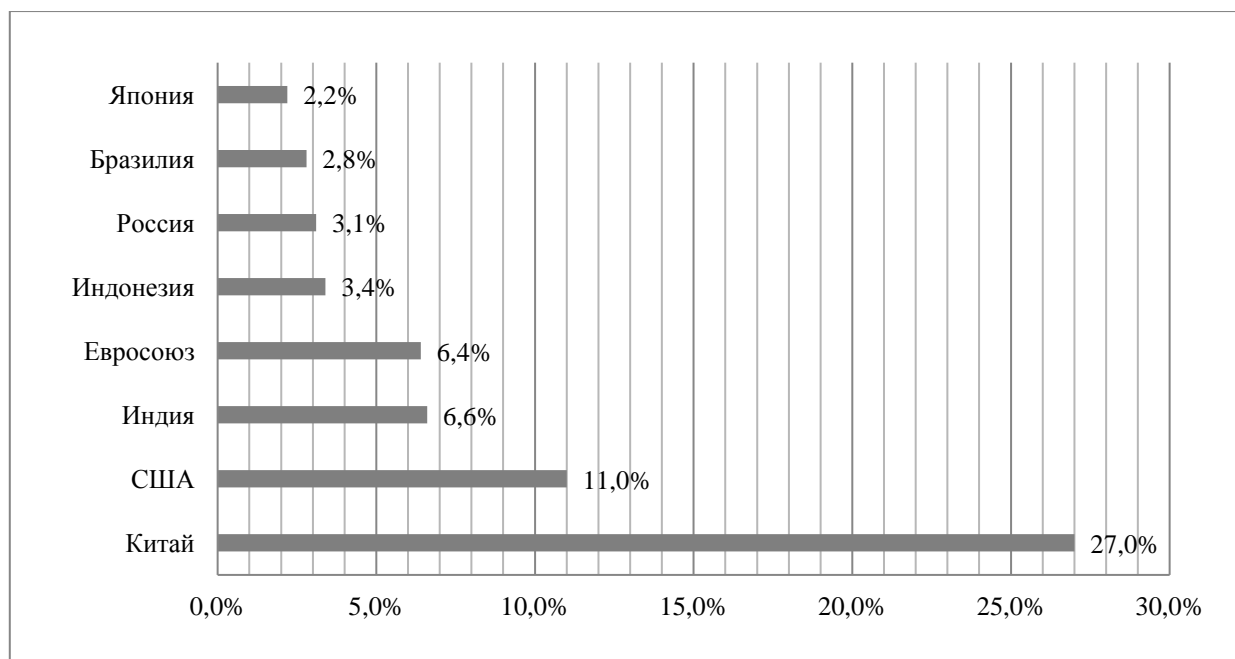


Рисунок 2. Оценка выбросов парниковых газов за 2019 год [4]

На приведенном ниже графике (рис. 3) показаны уровни CO_2 в атмосфере с 1760 по 2021 год (предполагается, что более ранний период сохранялось постоянное значение доли CO_2 в атмосфере, поскольку уровни солнечной и вулканической активности были неизменны). Они основаны на данных ледяных кернов до 1958 года, затем на инструментальных записях в Мауна-Лоа из программы CO_2 Скриппса и, наконец, на прогнозе CO_2 на 2021 год от Метеорологического бюро [2]. Подобное изменение в 1958 году связано с тем, что записи ледяных кернов не отражают сезонный цикл, наблюдаемый в инструментальных записях.

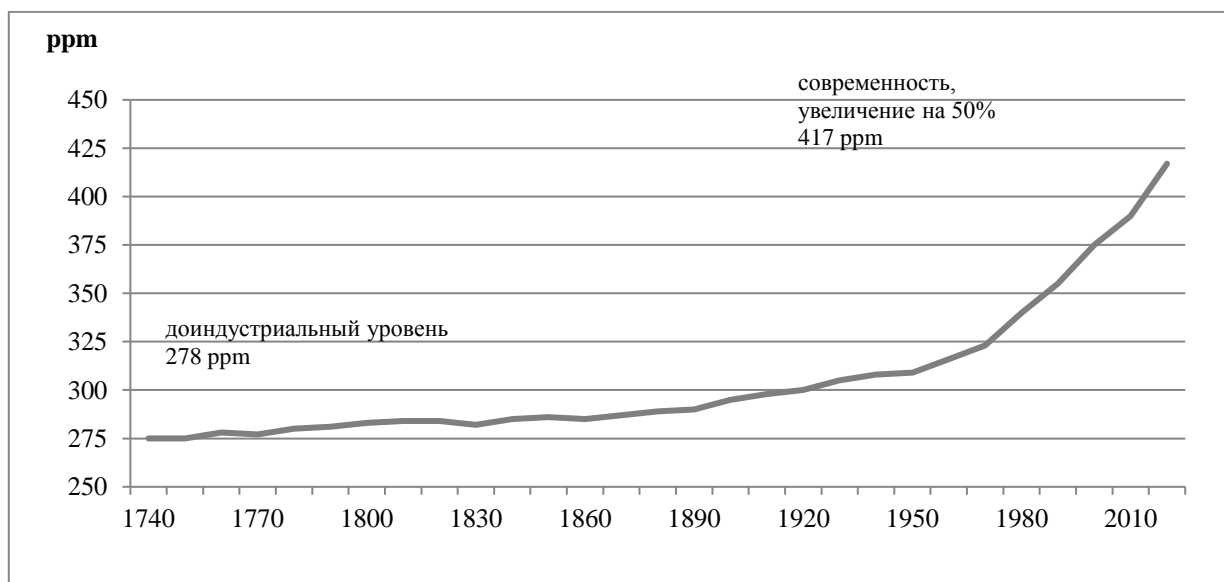


Рисунок 3. Глобальные концентрации CO_2 в атмосфере с 1730 по 2020 год [2]

Важный рубеж в истории углеродного менеджмента — Конференция ООН по климату в Париже в декабре 2015 года⁴, на которой 195 стран единогласно согласились с целью ограничить рост температуры на 2 градуса Цельсия выше доиндустриального «базового

⁴ Об участии России в Парижском соглашении по климату. // URL: http://government.ru/dep_news/37917/.

уровня». Для достижения этого потребуется полное прекращение глобальных выбросов ко второй половине этого века.

Сегодня углекислый газ принято рассматривать не только как потенциально опасный парниковый газ, побочный продукт производства. Ученые считают CO₂ ценным источником углерода уже более 25 лет, хотя интерес к его возможностям менялся синусоидально. В 1980-х годах произошел ажиотаж в разработке технологий сверхкритических флюидов после успеха использования сверхкритического CO₂ для извлечения кофеина из кофе. Однако «слабая» способность сверхкритического CO₂ растворять полярные и высокомолекулярные соединения делает его пригодным только для нишевых применений. С начала 1990-х годов использование поверхностно-активных веществ и сорастворителей расширило возможности применения CO₂.

В последние десятилетия активно проводят семинары, по результатам которых публикуются отчеты и обзорные статьи по улавливанию и использованию углекислого газа⁵. На последнем национальном собрании Американского химического общества в Чикаго всеобъемлющая тема устойчивого развития побудила к новому раунду презентаций, охватывающих широкий спектр химических процессов, связанных с улавливанием, секвестрацией и использованием CO₂.

Сегодня большинство видов коммерческого применения связано с непосредственным использованием CO₂. Более двух третей текущего мирового спроса на CO₂ приходится на Северную Америку (33 %), Китай (21 %) и Европу (16 %), при этом спрос на существующие виды использования, как ожидается, будет увеличиваться стабильно с каждым годом.

130 миллионов тонн CO₂ используется при производстве карбамида⁶, углекислый газ способствует повышению эффективности биологических процессов, таких как выращивание водорослей и более традиционных сельскохозяйственных культур в теплицах. При очень больших концентрациях углекислый газ может становится ядовитым, поэтому повышение концентрации до 10 000 частей на миллион (ppm) или выше за несколько часов поможет устранить вредителей. Применение CO₂ при низко-температурном нагреве в промышленных теплицах — наиболее доработанная методика на сегодняшний день, позволяющая увеличить урожайность на 25–30 % [3].

Углекислый газ применяется для сварки. При тушении пламени используют CO₂ с целью вытеснения кислорода из очага горения (сам углекислый газ не подавляет пламя), для этого заливают газом окружающую среду вокруг пламени. Углекислый газ в сжатом виде зачастую используется в пневматических системах. Алюминиевые капсулы с CO₂ пользуются потребительским спросом как источники сжатого газа для спортивного оружия, для накачивания камер велосипедных колёс, для сверхкритической сушки продуктов, при декофеинизации кофейных зерен⁷. Ёмкостями с углекислым газом для надувания снабжаются спасательные жилеты.

Сухой лед нашел применение как дешёвый и компактный источник холода для охлаждения пищевых продуктов при их транспортировке и хранении без использования холодильных установок. Является сырьем для синтеза химикатов, используется в качестве хладагента и абразива при струйной очистке [4].

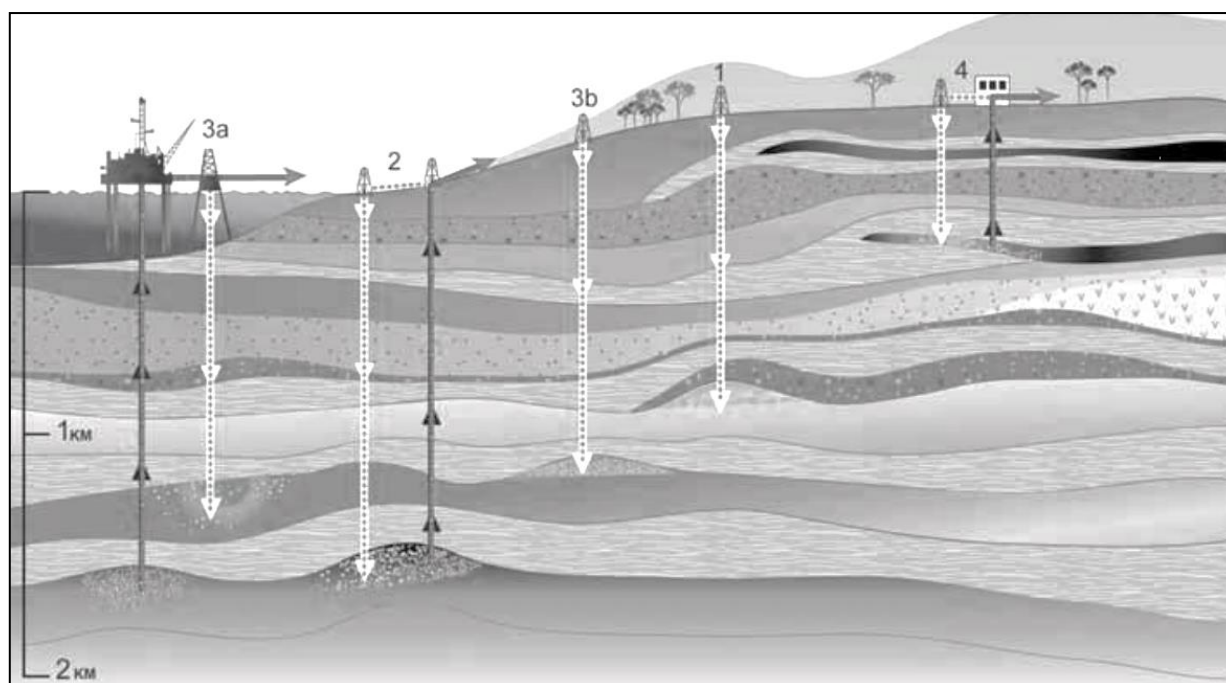
⁵ What Can We Do With Carbon Dioxide? 2007 // URL: <https://cen.acs.org/articles/85/i18/Carbon-Dioxide.html>.

⁶ Putting CO₂ to Use. 2019 // URL: <https://www.iea.org/reports/putting-co2-to-use>.

⁷ Carbon dioxide. // URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide.

И все же, 230 миллионов тонн углекислого газа, ежегодно используемых мировой промышленностью, не идут ни в какое сравнение с примерно 24 миллиардами тонн ежегодных антропогенных выбросов CO_2 . Выполнение математических расчетов показало, что улавливание и секвестрация CO_2 (процесс захвата углекислого газа из источника выбросов, транспортировка и долгосрочное захоронение в геологических формациях) будут необходимы, независимо от того, сколько CO_2 в конечном итоге будет использоваться промышленностью в качестве сырья. Однако большое число экологов-исследователей выделяют потенциально более эффективные способы борьбы с углекислым газом. Леса, водоросли и другие формы растительности поглощают углекислый газ из воздуха по мере своего роста и связывают его в биомассу. Однако эти биологические хранилища считаются ненадежными поглотителями углерода, поскольку невозможно гарантировать долгосрочное связывание. Например, стихийные бедствия, такие как лесные пожары или болезни, могут поспособствовать выбросу CO_2 обратно в атмосферу.

Углекислый газ, удаленный из атмосферы, также может храниться в земной коре в результате мероприятий по его закачке в недра или в виде нерастворимых карбонатных солей (депонирование минералов). На рисунке 4 представлены варианты [5] утилизации.



Выработанные нефтяные и газовые пласты (1), разрабатываемые объекты (2), геохимическая ловушка (поглощающие водяные горизонты и соляные формации) — морская зона (3a), береговая зона (3b), использование в извлечении угольного метана (4)

Рисунок 4. Упрощенное представление [6] о методах закачки CO_2 в пласты

Механизм, названный геохимической ловушкой, начинает действовать в результате вступления CO_2 в реакцию с пластовыми флюидами в точке закачки и вмещающей породой. Насыщенная CO_2 вода становится более плотной и проникает к подошве формации (вместо того чтобы подниматься на поверхность). Затем в результате химических реакций между растворенным CO_2 и минералами породы образуются разновидности ионов, вследствие чего доля закачанного углекислого газа превратится в твердые карбонатные минералы. Таким образом возможно достичь удаления углерода из атмосферы и изоляции его на значительный период времени (от тысяч до миллионов лет).

Технологии улавливания и хранения углекислого газа раньше всего внедрили в нефтедобычу в рамках технологии закачки CO_2 в скважины, чтобы увеличить добычу нефти, причем к 1970-м для этого стали использовать CO_2 , образующийся при сгорании попутного нефтяного газа⁸. Ежегодное применение CO_2 в нефтегазовой промышленности достигает 70–80 миллионов тонн.

Закачка как метод увеличения нефтеотдачи (МУН) отличается от утилизации дополнительным эффектом нефтеотдачи от закачки CO_2 в нефтеносные пласты, при этом накладывая дополнительные сложности в систему транспортировки, сбора и подготовки нефти. Мировой опыт насчитывает множество проектов, основанных на использовании углекислого газа в роли нагнетаемого в пласт агента, как в США, Канаде, Венесуэле, так и в России.

Достоинства от применения CO_2 в процессах увеличения нефтеотдачи описаны в учебной литературе [6–7]:

- высокая степень растворимости в углеводородах;
- снижение вязкости у нефти, увеличение — у воды;
- снижение межфазного натяжения на границе нефть — вода;
- способность частичного растворения породы;
- улучшение смачиваемости породы.

Данный подход позволит увеличить третичную нефтеотдачу за счет снижения остаточной нефтенасыщенности на 7–23 % в дополнение к первичной добыче. Итоговый эффект аналогичен эффекту от закачки в пласт углеводородных растворителей или водяного пара [8–11].

Особняком выделяется технология закачки CO_2 в выработанные газовые и нефтяные месторождения. Метод является промежуточным между окончательной секвестрацией в поглощающие горизонты и закачкой в разрабатываемые месторождения. В долгосрочной перспективе метод позволит ускорить перераспределение остаточных запасов, восстановить пластовое давление и получить экономический эффект от расконсервации скважин, добыча из которых сейчас нерентабельна.

Развитие проектов секвестрации CO_2 в нефтяных коллекторах является перспективным способом решения проблем энергообеспечения страны в старых нефтедобывающих регионах. Значительная часть затрат на осуществление проектов может быть погашена за счет стоимости квот на эмиссию парниковых газов или стимулироваться налоговым законодательством (по примеру Норвегии).

Кроме того, существует еще один тип утилизации, когда CO_2 избирательно адсорбируется на уголь или сланцы с большим содержанием органического вещества, вытесняя такие газы, как метан. В подобных случаях CO_2 остается в ловушке до тех пор, пока сохраняется постоянство давления и температуры. Эти процессы будут, как правило, происходить на меньших глубинах по сравнению с хранением CO_2 в резервуарах углеводорода и соленосных формациях.

Новые способы использования CO_2 в производстве топлива, химикатов и строительных материалов вызывают глобальный интерес. Он отражается в растущей поддержке со стороны

⁸ Как можно улавливать и использовать углекислый газ в энергетике. 2021 // URL: <https://panor.ru/articles/kak-mozhno-ulavlivat-i-ispolzovat-uglekislyy-gaz-v-energetike/60503.html>.

инвесторов, при этом глобальное частное финансирование стартапов по использованию CO₂ за последнее десятилетие достигло почти 1 миллиарда долларов США^{9,10,11}.

Производство топлива и химикатов на основе CO₂ является энергоемким и требует большого количества водорода. Углерод в CO₂ позволяет преобразовывать водород в топливо, которое проще в обращении и использовании, например, в качестве авиационного топлива. CO₂ также может заменить ископаемое топливо в качестве сырья для химических веществ и полимеров. Менее энергоемкие пути включают реакцию CO₂ с минералами или потоками отходов, такими как железный шлак, с образованием карбонатов для строительных материалов.

Биоуголь создается путем пиролиза биомассы и исследуется как метод связывания углерода [12]. Он используется в сельскохозяйственных целях, а также способствует удержанию углерода. Биоуголь — это материал, похожий на древесный уголь, но изготовленный с помощью устойчивого процесса высокотемпературного нагрева биомассы в среде с низким уровнем кислорода. Биомасса представляет собой органическое вещество, производимое живыми или разлагающимися организмами, чаще всего растительным материалом. Исследование, проведенное Британским исследовательским центром показало, что биоуголь может хранить 1 гигатонну углерода в год (и до 9 гигатонн при соответствующем финансировании).

Будущий рыночный потенциал подобных технологий весьма трудно оценить. Теоретически некоторые виды использования CO₂ (топливо, химикаты) могут вырасти до масштабов использования нескольких миллиардов тонн CO₂ в год, но на практике они будут конкурировать с прямым использованием низкоуглеродистого водорода или электричества, которые наиболее экономически эффективны в большинстве случаев.

Производственные затраты на топливо и химикаты на основе CO₂ в настоящее время в несколько раз выше, чем на их традиционные аналоги. В основном это связано с затратами, связанными с производством водорода. Коммерческое производство возможно на рынках, где доступны как дешевая возобновляемая энергия, так и CO₂, например, в Северной Африке или Исландии. Полимеры, полученные из CO₂, могут производиться с меньшими затратами, чем их ископаемые аналоги, но рынок относительно невелик.

Ученые указывают [13], что использование углекислого газа непосредственно в качестве химического сырья — не единственный вариант. Газ можно преобразовать в монооксид углерода (угарный газ), который считается более универсальным исходным материалом, чем CO₂.

Другие направления использования CO₂ включают увеличение сельскохозяйственного производства и создание прудов с генетически модифицированными водорослями, которые могут преобразовывать CO₂ электростанций в биодизель¹². Существует проект, предполагающий каталитические процессы восстановления CO₂ до муравьиной кислоты

⁹ Stripe, Alphabet and Others to Spend Nearly \$1 Billion on Carbon Removal. Akshat Rathi. (12.04.2022). // URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-04-12/stripe-alphabet-meta-join-to-fund-carbon-removal>.

¹⁰ Wall Street's Favorite Climate Solution Is Mired in Disagreements. Jess Shankleman and Akshat Rathi. (03.06.2021). // URL: <https://www.bloomberg.com/news/features/2021-06-02/carbon-offsets-new-100-billion-market-faces-disputes-over-trading-rules>.

¹¹ Current and emerging industrial-scale CO₂ capture. A brief overview. 1st Report of the Thematic Working Group on: CO₂ capture and utilization. European Union, 29.11.2019. // URL: https://www.ccusnetwork.eu/sites/default/files/TG2_Briefing-Industrial-CO2-capture.pdf.

¹² "Algae — like a breath mint for smokestacks". Clayton, Mark (11 January 2006). The Christian Science Monitor. 2006. // URL: <https://www.csmonitor.com/2006/0111/p01s03-sten.html>.

(НСООН)¹³. Муравьиная кислота может использоваться для питания топливных элементов для производства электроэнергии и автомобилей, а также в качестве прекурсора для других видов топлива и товарных химикатов.

Разработкой инновационных аккумуляторов занялась компания General Electric. Сначала, благодаря солнечной энергии, углекислый газ будут охлаждать до состояния «сухого льда». Сухой лед при нагревании будет переходить в сверхкритическую фазу, запуская специальную турбину¹⁴. Согласно утверждениям компании, КПД турбины на 7 % больше, чем у электростанции на природном газе. Применение аккумуляторов планируется в качестве запасных источников питания.

Важно помнить, что использование CO₂ — это не то же самое, что снижение выбросов CO₂. Продукты, производные от CO₂, которые предполагают постоянное удержание углерода, такие как строительные материалы, могут обеспечить большее сокращение выбросов, чем продукты вроде топлива, которые в конечном итоге выбрасывают CO₂ в атмосферу.

Время удержания углерода может варьироваться в зависимости от продукта: от менее одного года для топлива, до десяти лет для большинства химических промежуточных продуктов и до сотен лет для полимеров, в то время как хранение в строительных материалах может длиться миллионы лет.

Переработка полимеров с помощью CO₂ может быть конкурентоспособной на рынке благодаря относительно низким затратам энергии на их производство и их высокой рыночной стоимости. Специалисты утверждают⁵, что некоторые полимеры могут производиться на 15–30 % дешевле, чем их аналоги из ископаемого топлива, при условии, что используемый CO₂ дешевле, чем сырье, которое он заменяет. Хотя потенциальный рынок полимеров относительно невелик, ранние возможности для переработки полимеров с использованием CO₂ могут быть доступны в местах, где существующие заводы по производству полимеров могут быть модифицированы и где цены на ископаемое топливо высоки.

Строительные заполнители (мелкие частицы, используемые в строительных материалах) могут быть получены путем реакции CO₂ с отходами электростанций или промышленных процессов. Среди них железный шлак и угольная летучая зола, которые в противном случае складировались бы или хранились на свалке. Производство строительных материалов из отходов и CO₂ может быть конкурентоспособным, поскольку оно компенсирует затраты, связанные с обычной утилизацией отходов.

Эта технология также требует многолетних испытаний, демонстрирующих безопасную и безвредную для окружающей среды работу. Существующие правила, такие как правила утилизации отходов Европейского Союза, необходимо пересмотреть, чтобы снять запрет на использование определенных отходов.

Будущие перспективы использования CO₂ будут во многом определяться политической поддержкой. Многие технологии использования CO₂ смогут конкурировать с традиционными процессами только в том случае, если их потенциал улучшения экологической обстановки будет значительным, ведь проблема выбросов CO₂ со временем только усиливается, и система углеродного менеджмента для многих ведущих компаний нефтегазовой и других отраслей

¹³ Recent developments in the catalytic hydrogenation of CO₂ to formic acid / formate using heterogeneous catalysts. 2016 // URL: https://www.researchgate.net/publication/297683274_Recent_Developments_in_the_Catalytic_Hydrogenation_of_CO2_to_Formic_Acid/Formate_Using_Heterogeneous_Catalysts

¹⁴ GE has a crazy new plan to harvest CO₂ from the atmosphere and use it to store solar energy. Lulu Chang March 9, 2016. // URL: https://www.digitaltrends.com/cool-tech/ge-co2-solar-power/?utm_content=bufferebcde&utm_medium=socialm&utm_source=facebook.com&utm_campaign=DT-FB.

промышленности сейчас как никогда актуальна, активно разрабатываются проекты по снижению выбросов углекислого газа и промышленному его использованию. Соответственно достижение нулевых выбросов — это одна из главных стратегических задач углеродного менеджмента, которая должна лечь в основу принципов организации производства и формирования проектных планов всех сфер промышленности.

Государственные закупки низкоуглеродной продукции помогут создать ранний рынок для продуктов, полученных из CO₂, с поддающимся проверке сокращением выбросов CO₂, а также поспособствуют инновациям и инвестициям.

Выводы

История показывает, что с развитием прогресса увеличиваются и объемы побочного продукта прогресса — выброса парниковых газов. Решение проблемы лежит в сокращении выбросов за счет более экологичных технологий и вовлечении углекислого газа в производственные процессы.

Пока промышленное потребление не велико, а очистка воздуха и сжижение углекислого газа требуют значительных затрат, приоритетным направлением должен оставаться поиск и испытание новых методов использования этого газа.

Потребуется значительные усилия по разработке и исследованию перспективных технологий применения CO₂, но в обозримом будущем это позволит прийти энергетике к нулевым выбросам. Использование диоксида углерода в качестве "вторсырья" не только уменьшит загрязнение атмосферы, но и сократит потребление ископаемого углеводорода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. — Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013. — 1535 с. // URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf.
2. Hawkins, E., Ortega, P., Suckling, E., Schurer, A., Hegerl, G., Jones, P., Joshi, M., Osborn, T.J., Masson-Delmotte, V., Mignot, J., Thorne, P., & van Oldenborgh, G.J. Estimating Changes in Global Temperature since the Preindustrial Period, Bulletin of the American Meteorological Society // Bulletin of the American Meteorological Society Volume 98: Issue 9. — American Meteorological Society, 2017. — С. 1841–1856. // URL: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/98/9/bams-d-16-0007.1.xml>.
3. Whiting D., Roll M., Vickerman L. Plant Growth Factors: Photosynthesis, Respiration, and Transpiration. // CMG GardenNotes. — 2010.
4. Parsons Brinckerhoff, Global CCS Institute, Edge Environment and KPMG. Accelerating the uptake of CCS: industrial use of captured carbon dioxide. — 2011. — 260 с. // URL: <https://www.globalccsinstitute.com/archive/hub/publications/14026/accelerating-uptake-ccs-industrial-use-captured-carbon-dioxide.pdf>.

5. Утилизация и хранение углекислого газа: мировой опыт. Хан С.А., Дмитриевский А.Н., Аксютин О.Е., Люгай Д.В., Хвостова В.Ю. — М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2012. — 168 с.
6. Физика нефтяного и газового пласта. Гиматудинов Ш.К.— Рипол Классик, М., 1982. — С. 242.
7. Трухина О.С., Синцов И.А. Опыт применения углекислого газа для повышения нефтеотдачи пластов // Успехи современного естествознания. — 2016. — № 3. — С. 205–209.
8. Nordestgaard, B.G.; Rostgaard, J. Critical point drying versus freeze drying for scanning electron microscopy: a quantitative and qualitative study on isolated hepatocytes. // *Journal of Microscopy.*, 1985. — С. 189–207. doi: 10.1111/j.1365-2818.1985.tb02577.x.
9. Хромых Л.Н., Литвин А.Т., Никитин А.В. Применение углекислого газа в процессах повышения нефтеотдачи пластов // Вестник евразийской науки. — 2018. — Т. 10. — №. 5. — С. 82.
10. Terentiyev A.A. et al. Wait or get the oil: how SAGD technology implementation options will vary future production. // SPE Russian Petroleum Technology Conference. — СПб.: OnePetro, 2020.
11. Роцин П.В. Обоснование комплексной технологии обработки призабойной зоны пласта на залежах высоковязких нефтей с трещинно-поровыми коллекторами: дис. — Нац. минерально-сырьевой ун-т "Горный", 2014.
12. Tsotsas, Evangelos; Mujumdar, Arun S. Modern drying technology. // Vol. 3: Product quality and formulation. — John Wiley & Sons, 2011.
13. Ming M. Selective Electrocatalytic CO₂ Conversion on Metal Surfaces: дис. д-р. техн. наук: Shandong, China., 2017. — 143 с. // URL: <https://www.tudelft.nl/en/2017/tu-delft/tu-delft-researcher-makes-alcohol-out-of-thin-air/>.

Ziganshin Rais Shamilevich

Samara State Technical University, Samara, Russia
E-mail: pauc97@gmail.com
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1134747

Margachev Danila Andreevich

Samara State Technical University, Samara, Russia
E-mail: danilama1999@mail.ru

Davydov Mikhail Anatolyevich

Samara State Technical University, Samara, Russia
E-mail: mishad.davidov@yandex.ru

Zinovev Aleksei Mikhailovich

Samara State Technical University, Samara, Russia
E-mail: lekso1988@yandex.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=327270

Prospects for the use of carbon dioxide in modern industrial energy

Abstract. New opportunities for the use of carbon dioxide in the development of products and services are attracting the attention of governments, corporations, industries and the investment community interested in the sustainable use of relevant technologies for climate change mitigation and technology leadership.

CO₂ use is expected to remain relatively small in the short term. Government support can help create an early market for CO₂-derived products. In the long term, air-derived CO₂ could play a key role in a net-CO₂-neutral economy, including as a source of carbon for aviation fuels and chemicals.

When performing the work, the authors relied on the scientific works of domestic and foreign scientists who contributed to the understanding of the processes of emission and use of carbon dioxide, such as Jan Baptist van Helmont, Joseph Black, Michael Faraday, Humphrey Davy and many others.

The article discusses the current trends in the use of carbon dioxide in the global industrial energy industry, analyzes the gradual development of the idea of using CO₂ in industry, analyzes the impact of CO₂ on industry, highlighting key points and different points of view to form the most complete picture.

The authors examine the short-term market potential for key categories of products and services derived from CO₂: fuels, chemicals, building materials from minerals, building materials from waste, and the use of CO₂ to improve the efficiency of biological processes.

Keywords: carbon dioxide gas; industry; oil; natural gas; fossil fuel; ecology; emission of carbon dioxide gas; carbon management