

### Литература

1. Ермилова Д.Ю. История домов моды: учеб. пособие для высш. учеб. заведений / под ред. Д.Ю. Ермиловой. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 288 с.
2. Шинкарук М., Евсеева Т., Леспяк О. Мода и модельеры. – М.: Мир энциклопедий Аванта+, Астрель, 2011. – 183 с.
3. Немирова Л.Ф. Теория моды и модного поведения: учеб. пособие. – Омск: Омский государственный институт сервиса, 2009. – 70 с.
4. Приказчикова А. Гардероб наизнанку: как индустрия моды уничтожает планету и для чего нужно вывернуть свой шкаф. – М.: Эксмо, 2020. – 240 с.
5. Горина К.В. География индустрии моды и красоты: учеб. пособие. – Чита: ЗабГУ, 2016. – 136 с.
6. H&M Group Sustainability Performance Report 2020 // H&M Group, URL: <https://hmgroupp.com/wp-content/uploads/2021/03/HM-Group-Sustainability-Performance-Report-2020.pdf> (датаобращения: 16.02.2022).
7. Rates of Minimum Wages // Bangladesh National Portal, URL: [http://mwb.portal.gov.bd/sites/default/files/files/mwb.portal.gov.bd/page/c04961b7\\_6714\\_4a37\\_b4f7\\_e3ae2659f4c0/2021-09-02-08-33-ca028a6433a73b80092363624b8a0ad8.pdf](http://mwb.portal.gov.bd/sites/default/files/files/mwb.portal.gov.bd/page/c04961b7_6714_4a37_b4f7_e3ae2659f4c0/2021-09-02-08-33-ca028a6433a73b80092363624b8a0ad8.pdf) (датаобращения: 09.03.2022).
8. Анализ рынка одежды в России в 2016–2020 гг., оценка влияния коронавируса и прогноз на 2021–2025 гг. // BusinesStat – готовые обзоры рынков, URL: [https://businesstat.ru/images/demo/clothes\\_russia\\_demo\\_businesstat.pdf](https://businesstat.ru/images/demo/clothes_russia_demo_businesstat.pdf) (дата обращения: 16.02.2022).
9. Доходы, расходы и потребление домашних хозяйств // Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт, URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13271?print=1> (дата обращения: 16.02.2022).

**А.Ю. Попов**  
ведущий научный сотрудник  
(ФГАУ НИИ ЦЭПП, г. Мытищи)  
e-mail: a.popov@eipc.center

### ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ СОКРАЩЕНИЕ ВЫБРОСОВ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы применения распространённых и перспективных технологий улавливания, транспортирования и хранения диоксида углерода, а также направления его использования.

**Ключевые слова:** декарбонизация, улавливание диоксида углерода, CCUS.

Одной из задач, зафиксированных в Стратегии национальной безопасности Российской Федерации, является обеспечение институциональной и структурной перестройки национальной экономики на современной технологической основе, её диверсификации и развития на основе использования низкоуглеродных технологий [1]. В России и мире всё больше внимания уделяется проблемам устойчивого развития, экологической безопасности, смягчению негативных последствий изменения климата [2, 3]. Несмотря на убедительную аргументацию

и наличие альтернативных взглядов, преобладающая точка зрения, отражённая в материалах МГЭИК [4], связывает высокие темпы роста средней температуры земной поверхности с вызванным антропогенными факторами повышением концентрации парниковых газов [5].

Парижским соглашением по климату приняты регулирующие меры, направленные на сокращение выбросов парниковых газов, прежде всего диоксида углерода. Технологические варианты сокращения выбросов диоксида углерода в атмосферу сосредоточены на повышении эффективности использования или преобразования энергии; переходе на менее углеродоёмкие виды топлива; увеличении доли возобновляемых источников энергии или атомной энергии; а также секвестрации  $\text{CO}_2$  за счёт биологической поглотительной способности лесов и почв. Однако, даже суммарные усилия в перечисленных областях не позволяют достичь желаемого низкого уровня выбросов  $\text{CO}_2$  для достижения углеродной нейтральности. Учитывая, что ископаемое топливо будет удовлетворять большую часть спроса на энергию в XXI веке, улавливание, использование, транспортирование и хранение  $\text{CO}_2$  (CCUS – carbon capture, utilisation and storage) рассматривается как дополнительный вариант, необходимый для достижения вышеуказанных целей. Технологии CCUS относятся к различным областям техники и представляют собой группу способов улавливания, транспортирования, хранения  $\text{CO}_2$

#### *Улавливание $\text{CO}_2$ и предотвращение его образования*

Улавливание диоксида углерода представляет собой получение потоков с высокой концентрацией  $\text{CO}_2$  из разбавленных потоков после сжигания топлива (дымовых газов с концентрацией  $\text{CO}_2$  5-15 об.%) или реакторных потоков, для которых характерны концентрации  $\text{CO}_2$  выше 20 об.% (например, конвертированный газ после отделения конверсии монооксида углерода на установках синтеза аммиака). Наиболее распространённые способы выделения  $\text{CO}_2$  – абсорбция растворами этаноламинов или карбонатов с последующей регенерацией, короткоцикловая адсорбция цеолитами.

Технологии, направленные на исключение образования разбавленных потоков  $\text{CO}_2$ , в настоящее время находятся на стадии пилотных и демонстрационных проектов. К таким технологиям относят, например, сжигание топлива с использованием кислорода и последующей конденсацией водяного пара; процессы «Chemical looping» с отдельной подачей потоков сырья (топлива) и воздуха в два отдельных аппарата и циркулирующим между ними оксиднометаллическим переносчиком кислорода [6].

#### *Направления использования $\text{CO}_2$*

Потенциальные пути применения диоксида углерода включают прямое потребление или его конверсию в другие продукты. В мире ежегодно используется около 130 млн т  $\text{CO}_2$  для производства карбамида и около 80 млн т при закачивании в пласт для увеличения нефтеотдачи месторождений [7]. К областям коммерческого использования диоксида углерода также относятся пищевая промышленность, пожаротушение, медицина.

Перспективные пути использования диоксида углерода включают минерализацию  $\text{CO}_2$  в составе бетона [8], производство строительных материалов, повышение урожайности в сельском хозяйстве, вовлечение в сырьё нефтехимического синтеза [9], электрохимическое восстановление  $\text{CO}_2$  с получением этилена, этанола и других продуктов нефтехимии [10].

### *Транспортирование CO<sub>2</sub>*

Для внедрения технологий CCUS особую значимость имеет наличие инфраструктуры для надёжного и безопасного транспортирования диоксида углерода. Наиболее распространённые в мире способы крупнотоннажной транспортировки на большие расстояния – трубопроводный и на морских судах. В меньших объёмах возможны перевозки железнодорожным или автомобильным транспортом.

### *Захоронение CO<sub>2</sub> в геологических образованиях*

При геологическом длительном захоронении диоксид углерода закачивают в глубокие минерализованные водоносные пласты, истощенные нефтяные и газовые месторождения, непригодные для разработки угольные пласты, базальтовые породы [11].

По данным Всемирного института по вопросам улавливания и хранения углерода на сегодняшний день мощности технологий CCUS позволяют улавливать и захоранивать около 40 млн т CO<sub>2</sub> в год, при этом для достижения климатической нейтральности к 2050 году потребуется увеличение мощностей захвата CO<sub>2</sub> до 5,6 млрд т в год [12].

### *Литература*

1. Указ Президента РФ от 02.07.2021 № 400 «О стратегии национальной безопасности Российской Федерации».
2. Hjort M., Skobelev D., Almgren R. et al. Best available techniques and sustainable development goals // Proc. 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. 9 – 11 December. 2019. P.185 – 189.
3. Башмаков И.А., Скобелев Д.О., Борисов К.Б., Гусева Т.В. Системы бенчмаркинга по удельным выбросам парниковых газов в черной металлургии // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. –2021. Т. 77. – № 9. –С. 1071-1086.
4. ClimateChange 2021: ThePhysicalScienceBasis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Cambridge University Press. In Press. – 2021. – № 7(161). – С. 56–69.
6. Adanez J. et al. Progress in Chemical-Looping Combustion and Reforming technologies // Progr in Ener and Combustion Sci. V. 38. I. 2. 2012. P. 215–282.
7. Putting CO<sub>2</sub> to Use: Creating Value from Emissions / IEA. 2019. 86 P.
8. Ravikumar, D., Zhang, D., Keoleian, G. et al. Carbon dioxide utilization in concrete curing or mixing might not produce a net climate benefit // Nat Commun. 2021.N 12. 855.
9. Горбунов Д.Н., Ненашева М.В., Теренина М.В. и др. Превращения диоксида углерода в условиях гомогенного катализа (обзор) // Нефтехимия. – 2022. Т.62. №1. С. 3–48.
10. Abdelkader-Fernández V.K., Fernandes D.M., Freire C. Carbon-based electrocatalysts for CO<sub>2</sub> electroreduction produced via MOF, biomass, and other precursors carbonization: A review // J of CO<sub>2</sub> Utilization. V.42. 2020. 101350.
11. Геологическое хранение CO<sub>2</sub> в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии: первичный анализ потенциала и политики / ЕЭК ООН. – 2021. Женева. – 45 с.
12. The Global Status of CCS: 2020 / Global CCS Institute. 2020. Australia.