

УДК 621.315.618.4+661.721

МИСЮЛЯ Д.И.

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

Научный руководитель – Ступень Н.С., канд. техн. наук, доцент

КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В МЕТАНОЛ

Углекислый газ – это один из газов, создающих парниковый эффект (второй после водяного пара) и главный газ, на концентрацию которого в атмосфере оказывает влияние человек. В результате этого появляются разнообразные технологии, позволяющие преобразовывать CO_2 в вещества, полезные для различных промышленных производств. Как правило, это каталитические преобразования.

Цель работы – выявить особенности каталитического преобразования диоксида углерода в метанол (CH_3OH) на основе особенностей строения катализатора; провести теоретические расчеты выхода продукта реакции на примере некоторых предприятий.

В качестве методов исследования использовали анализ научных статей, литературных и статистических данных.

Благодаря своей химической природе, молекула CO_2 является довольно устойчивой. В связи с этим химические процессы для данной молекулой идут каталитически.

Ранее было показано, что в присутствии катализатора LMSe , разработанного австралийскими учеными, возможно протекание процесса преобразования CO_2 в твердые частицы углерода. Данный процесс может протекать при комнатной температуре [1]. Для этого процесса отсутствуют количественные данные, необходимые для теоретических расчетов.

Также группой китайских и американских ученых предложен каталитический метод получения метанола из диоксида углерода и воды. Он основан на использовании катализатора, состоящего из палладия и меди (Pd-Cu), а также имеет ступенчатую поверхность, что увеличивает селективность реакции в сторону образования CH_3OH . Она также увеличивается в присутствии 0,03 мол % H_2O при протекании реакции (рисунок) [2].

Показано, что существенное влияние на ход реакции, а также на селективность продуктов имеет структура катализатора. На плоских поверхностях реакция идет медленнее. Напротив, ступенчатая поверхность рассматриваемого катализатора позволяет протекать реакции быстрее и эффективнее [2].

Энергетически предпочтительный путь данной реакции: $\text{CO}_2^* \rightarrow \text{НСOO}^* \rightarrow \text{НСOОН}^* \rightarrow \text{H}_2\text{COОН}^* \rightarrow \text{CH}_2\text{O}^* \rightarrow \text{CH}_3\text{O}^* \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$ [1].

Кроме того, в отношении других подобных катализаторов (медь и платина порознь) скорость реакции на катализаторе Pd-Cu возрастает в 3–4 раза. Температурный оптимум реакции: 180–250 °С. Наибольшие значения преобразования диоксида углерода в метанол – 24 % от его общей массы.

Учитывая газообразное состояние реагентов, они могут без особых затруднений вновь войти в каталитический цикл [3].

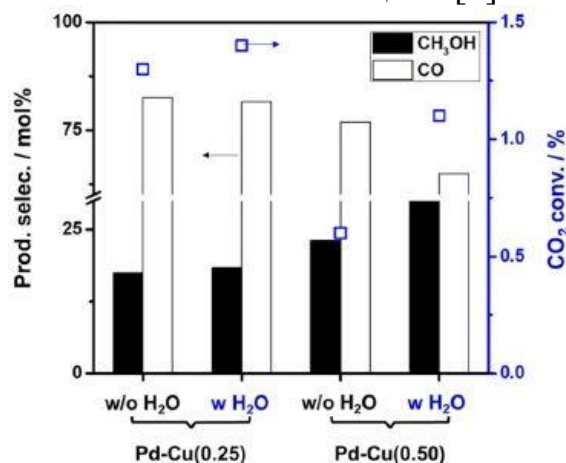


Рисунок – Селективность продуктов каталитической реакции в присутствии 0,03 мол% H₂O

Содержание диоксида углерода в атмосферном воздухе невелико: в пределах 0,02–0,045 об. %. Безусловно, таких концентраций мало для проведения реакции. Концентрация газа в трубах тепловых электростанций будет выше по сравнению с таковой в окружающей среде.

Учитывая данные по выходу продукта реакции, можно теоретически установить количество метанола, которое можно получить, применяя технологию, основанную на использовании вышеописанной каталитической реакции. Например, масса выброшенного в атмосферный воздух г. Бреста CO₂ от сжигания котельно-печного топлива на Брестской ТЭЦ в 2018 г. составила в общей сумме 327 т.

Для теоретического расчета массы метанола, получаемой в ходе данной реакции, воспользуемся формулой:

$$m(\text{CH}_3\text{OH}) = \frac{m(\text{CO}_2) \times \eta(\text{CH}_3\text{OH})}{100},$$

где m – массы соответствующих веществ, η – выход продукта реакции (в конкретном случае – метанола).

Таким образом, согласно расчетам, теоретически возможно получить 78,48 т. метанола из 327 т. CO₂ при выходе продукта в 24 %.

В качестве более крупных энергетических предприятий можно рассмотреть Березовскую и Лукомльскую ГРЭС. Эти предприятия работают на гораздо более высоких мощностях, нежели Брестская ТЭЦ. Отмечено, что в Брестской области эмиссия CO₂ в 2018 г. превышена в Березовском районе

во много раз по сравнению с эмиссией в других районах и составила 2,085 млн тонн [4]. Аналогичное сходство наблюдается и в случае с Лукомльской ГРЭС: в 2018 г. было выброшено в атмосферу 4,843 млн т. CO₂. Источник выбросов – сжигание котельно-печного топлива в обоих случаях. Данные о мощностях, массах выброшенного диоксида углерода, а также теоретических количества метанола отображены в таблице.

Таблица – Теоретически возможное количество метанола, которое можно получить из углекислого газа Березовской и Лукомльской ГРЭС

Электростанция	Масса выброшенного CO ₂ в атмосферный воздух, млн. тонн	Теоретически возможное количество метанола, млн. тонн
Березовская	2,085	0,500
Лукомльская	4,843	1,162
<i>Суммарно:</i>	<i>6,928</i>	<i>1,662</i>

Выводы.

1. Ступенчатая структура катализатора обеспечивает более быстрое и эффективное протекание химической реакции в сравнении с плоской поверхностью.

2. Выбросы CO₂ предприятий сферы энергетики могут быть использованы для получения метанола каталитическим способом.

3. Из выбросов CO₂ крупных электростанций (Березовская и Лукомльская ГРЭС) может быть получено более 1,6 млн т метанола.

4. Для дальнейших исследований необходимо оценить эффективность данного метода утилизации углекислого газа с учетом экономических затрат.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Room temperature CO₂ reduction to solid carbon species on liquid metals featuring atomically thin ceria interfaces [Электронный ресурс] / Nature Communications. – Режим доступа: <https://www.nature.com>. – Дата доступа: 16.03.2020.

2. Mechanistic understanding of alloy effect and water promotion for Pd-Cu bimetallic catalysts in CO₂ hydrogenation to methanol / X. Nie [et al.] // ACS Catalysis. – 2018. – № 8. – P. 4873–4892.

3. Carbon dioxide-to-methanol process improved by catalyst [Электронный ресурс] / ScienceDaily. – Режим доступа: <https://www.sciencedaily.com>. – Дата доступа: 16.03.2020.

4. Мисюля, Д. И. Теоретические аспекты снижения эмиссии CO₂ в атмосферу в регионах Брестской области / Д. И. Мисюля // Первый шаг в науку – 2019 : сб. мат. Междунар. научн.-практ. инновац. форума «INMAX'19», Минск, 11–12 декабря 2019 г. : в 8 ч. Ч. 8. – ОО «Центр молодежных инноваций». – Минск : Лаборатория интеллекта, 2019. – С. 89–90.