

УДК 541.183

<sup>1</sup>Цыганов А.Р., <sup>2</sup>Панасюгин А.С., <sup>3</sup>Павловский Н.Д., <sup>4</sup>Машерова Н.П.  
(<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет  
<sup>2</sup>Государственный технологический университет  
<sup>3</sup>Гродненский государственный медицинский университет  
<sup>4</sup>Военная академия Республики Беларусь)

## **ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ПАРОВ ОДНОАТОМНЫХ СПИРТОВ C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub> И ИХ ИЗОМЕРОВ АДсорбЦИОННО-КАТАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

Самовысыхающие противопожарные составы и краски, разнообразные растворители, представляющие широкий спектр органических соединений, нашли повсеместное применение в литейном и кузнечном производствах. Однако, их масштабное использование ведет к попаданию в атмосферу различных органических загрязнителей, таких как одноатомные спирты, фенолы, формальдегид, циклоалканы и арены.

Большинство традиционных методов каталитической очистки газовых выбросов работают по методу их прямого дожигания, они эффективны при высоких концентрациях загрязнителей.

В случае больших выбросов воздуха с низким содержанием загрязнителей предпочтительно использование адсорбционно-каталитического метода, суть которого состоит в концентрации загрязняющих веществ на сорбенте-катализаторе с последующим периодическим беспламенным каталитическим окислением накопленных веществ до углекислого газа и воды. Низкотемпературное осуществление процесса окисления, отсутствие трудоемких стадий регенерации, а также особенности технологического процесса, позволяющие минимизировать образование продуктов частичного окисления, определяют эффективность данного метода.

Целью исследования было определение динамических сорбционных характеристик цеолита NaX по отношению к одноатомным спиртам C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub>, и определение оптимальных технологических параметров реализации данного процесса.

Для решения поставленной задачи в качестве сорбента нами выбран синтетический цеолит марки NaX представляющий собой сферические гранулы диаметром 2,5-3,5 мм. В качестве катализатора глубокого окисления использовали пористые материалы с высокоразвитой модифицированной поверхностью на основе пенокерамики состава Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> с нанесенной активной каталитической фазой, имеющие на поверхности пенокерамики сформированный буферный слой содержащий 11,1 мас.%  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и обладающие удельной поверхностью 15,6 м<sup>2</sup>/г [1].

Схема модельной установки нейтрализации паров органических соединений адсорбционно-каталитическим методом и принцип ее работы детально описаны в работе [2]. Алгоритм работы установки основан на полициклическом принципе:

- цикл адсорбции паров органических соединений на поверхности сорбента;
- цикл термической десорбции паров органических соединений в адсорбционном реакторе;
- цикл глубокого каталитического окисления паров органических веществ.

Для измерения скорости движения газового потока использовали дифференциальный манометр Testo 512 и датчик скорости движения воздуха Testo 425 производства Германии.

Определение концентрации органических веществ осуществлялось с помощью газового хроматографа «Цвет-106», оснащенного пламенно-ионизационным детектором (ПИД).

Полноту каталитического окисления органических соединений оценивали по показателям газоанализатора Dräger MSI 150 EURO, оснащенным датчиками, позволяющими оценить количественное и качественное содержание в составе газовых выбросов CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub>.

Степень конверсии ( $S_c$ ) после десорбции газов из сорбционной колонки прохождения через каталитический реактор определяли по формуле:

$$S_c = \frac{C_n - C_k}{C_n} \times 100\%$$

где  $C_n$  – концентрация паров загрязняющих веществ на входе в каталитический реактор и  $C_k$  – концентрация паров загрязняющих веществ на выходе из каталитического реактора.

Установлено, что с увеличением размеров молекул одноатомных спиртов нормального строения с 1 до 5 динамическая сорбционная емкость цеолита снижается соответственно с 149 до 25,6 мг/г, или (4,03 до 0,29 ммоль/г). Вероятно, в данном случае решающую роль играет как размер посадочной площадки (таблица 1), так и затруднения, возникающие при пространственной ориентации более длинно-цепочечных молекул относительно сорбционных центров NaX. Так, в ряду метанол-этанол-пропанол-1 с увеличением размеров посадочной площадки на 18,9%- 19,8% наблюдалось уменьшение сорбционной емкости на 20% и 25% соответственно. Однако, в ряду пропанол-1 – бутанол-1 – пентанол-1 увеличение размеров посадочной площадки составляет всего 12,65% и 12,2% соответственно, но сорбционная ем-

кость снижается на 40% и 80%, что свидетельствует о росте стерических препятствий при адсорбции этих веществ на цеолите NaX.

В ряду вторичных спиртов сдвиг OH - группы вдоль углеводородного скелета приводит к еще более заметному снижению сорбционной емкости C<sub>3</sub>-C<sub>5</sub> (пропанол-2, бутанол-2 и пентанол-2).

Динамическая сорбционная емкость цеолита также существенно снижается и находится в пределах 102-9,7 мг/г (1,71–0,11 ммоль/г) при незначительном увеличении размеров посадочной площадки молекул вторичных спиртов и указывает на необходимость определенной ориентации молекул на поверхности адсорбента.

**Таблица 1 – Сорбционные характеристики цеолита NaX по отношению к одноатомным спиртам C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub> и их изомерам**

№, п.п.	Адсорбат	Молярная масса, г/моль	Температура кипения, °С	Посадочная площадка ω, нм <sup>2</sup>	Сорбционный объем, V <sub>s</sub> , ммоль/г, (мг/г)
1	Метанол	32	64,7	0,2014	4,03 (129,1)
2	Этанол	46	78,3	0,2395	3,24 (149)
3	пропанол-1	60	97,2	0,2869	2,42 (145,4)
4	пропанол-2	60	82,2	0,2963	1,71 (102,7)
5	бутанол-1	74	117,7	0,3232	1,43 (106)
6	бутанол-2	74	108,0	0,3298	1,01 (74,9)
7	пентанол-1	88	137,8	0,3627	0,29 (25,6)
8	пентанол-2	88	132,0	0,3645	0,11 (9,7)

Для изомеров амилового спирта и одноатомных спиртов нормального строения при увеличении числа атомов углерода в соединении с 1 до 5 динамическая сорбционная емкость уменьшается соответственно с 6,2 до 25,6 мг/г, или (0,07 до 0,29 ммоль/г) (таблица 2).

**Таблица 2 – Сорбционные характеристики цеолита NaX по отношению к изомерам C<sub>5</sub>H<sub>11</sub>OH**

№, п.п.	Адсорбат	Молярная масса, г/моль	Температура кипения, °С	Посадочная площадка ω, нм <sup>2</sup>	Сорбционный объем, V <sub>s</sub> , ммоль/г, (мг/г)
1	Пентанол-1	88	137,5	0,3627	0,29 (25,6)
2	3-Метилбутанол-1		131,6	0,3633	0,22 (19,4)
3	2-метилбутанол-1		102	0,3663	0,19 (16,7)
4	2,2-диметилпропанол-1		113	0,3635	0,17 (15,0)
5	Пентанол-2		119,4	0,3645	0,11 (9,7)
6	2-Метилбутанол-2		101,8	0,3644	0,075 (6,6)
7	3-метилбутанол-2		112	0,3589	0,07 (6,2)
8	Пентанол-3		116,1	0,3592	0,08 (7,0)

В данном случае заметную роль играет как размер посадочной площадки, так и затруднения, возникающие при пространственной ориентации с более молекул разветвленным строением углеродного скелета относительно сорбционных центров NaX.

Изучение сорбционной емкости одноатомных спиртов C<sub>1</sub>–C<sub>5</sub> в зависимости от размеров их посадочных площадок также указывает на то, что размер посадочной площадки не является определяющим фактором, влияющим на величину сорбционной емкости.

В результате исследований установлено, что при проведении сорбции на цеолите NaX оптимальная скорость пропускания воздушно-органической смеси составляет 0,75 м/с, максимальная степень поглощения при этой скорости потока достигается при высоте слоя цеолита 20-30 см.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Lomonosov V.A., Panasyugin A.S., Smorygo O.L., Mikutskii V.A. et al. Pd/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts on cellular supports for VOC vapor neutralization // *Catalysis in Industry*, 2010, Vol. 2, No 4, pp. 387–392

2. Панасюгин А.С., Ломоносов В.А., Смoryго О.Л. Использование адсорбционно-каталитического метода для очистки ветвыбросов формовочных участков литейных цехов от паров фенола и формальдегида// *Литье и металлургия*”2014, № 2, с. 19–25.