

# РАЗРАБОТКА АДСОРБЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ДИМЕТИЛФОРМАМИДА ИЗ СТОЧНЫХ ВОД

**Проведено комплексное исследование адсорбции диметилформамида из модельных растворов промышленным активным углем. Определены основные адсорбционные параметры, необходимые для инженерного расчета адсорбционной колонны.**

## Введение

Современное состояние окружающей среды стало одним из решающих факторов, определяющих разработку и внедрение в практику малоотходных и безотходных технологических процессов с локальной очисткой жидких отходов, обеспечивающих извлечение ценных компонентов.

Одним из многотоннажных производств с большим объемом малоконцентрированных органно-минеральных сточных вод является производство диметилформамида. Следует отметить, что диметилформамид – это канцерогенный, высокотоксичный и наиболее трудноудаляемый компонент токсичных выбросов химических производств [1].

Так как в настоящее время очистка сточных вод от диметилформамида представляет серьезную проблему, была поставлена задача изучить возможность и эффективность использования активных углей для очистки сточных вод. Разработка адсорбционной технологии возможна на базе данных по равновесию, кинетики и динамики.

## Материалы и методы исследования

Адсорбционный процесс изучали равновесным методом в течение 24 ч, при этом 6 ч растворы равномерно встряхивали. Адсорбат представлял собой водные растворы диметилформамида, где концентрация составляла 0,001–0,1 моль/дм<sup>3</sup> [2].

**Т.А. Краснова,**  
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО Кемеровский технологический институт пищевой промышленности

**Н.В. Соловьев\*,**  
аспирант, ФГБОУ ВПО Кемеровский технологический институт пищевой промышленности

Для проведения кинетических измерений образцы сорбента массой 1 г помещали в колбы, в которые добавляли по 100 см<sup>3</sup> исследуемого раствора адсорбата. Кинетические исследования проводили во временном интервале от 2 до 150 мин.

Адсорбцию в динамических условиях проводили на лабораторной колонке с параметрами  $H=7$  см,  $d=1,5$  см. Раствор адсорбата пропускали через неподвижный слой адсорбента с постоянной скоростью в течение 120 мин, концентрацию диметилформамида определяли через каждые 5 мин. Скорость пропускания раствора через неподвижный слой адсорбента составляла 1,4 м/ч. Исходная концентрация диметилформамида составляла 0,1 моль/дм<sup>3</sup>.

Концентрацию диметилформамида в растворах определяли по стандартной методике на спектрофотометре СФ-46.

## Результаты и их обсуждение

По результатам измерений были построены изотерма адсорбции (рис. 1), кинетическая (рис. 2) и динамическая (рис. 3) кривые.

Анализ изотерм адсорбции позволяет сделать заключение о том, что АГ-ОВ-1 более эффективен для извлечения диметилформамида. Рассчитанное значение характеристической энергии свидетельствует о том, что процесс адсорбции идет в основном в мезопорах независимо от природы активного угля. Путем измерения параметров пористой структуры активных углей установлено, что образец АГ-ОВ-1 характеризуется более раз-

\* Адрес для корреспонденции: sol.j@mail.ru

витой мезопористостью по сравнению с АГ-5 (табл. 1). Данные индикаторного метода исследования кислотности поверхности сорбентов (табл. 2) показывают, что АГ-ОВ-1 содержит большее количество кислородсодержащих (гидроксильных и кетоновых) поверхностных функциональных групп [2]. Оба этих фактора обеспечивают более высокую адсорбционную активность образца АГ-ОВ-1 по отношению к диметилформамиду.

Для оптимизации процесса адсорбции необходимо знать лимитирующую стадию массопереноса, которая позволит рассчитать коэффициент массопереноса. Определение лимитирующей стадии массопереноса проводилось по данным результата кинетических измерений (рис. 2), при этом были рассчитаны основные параметры и построены кривые степени достижения равновесия  $\gamma$  от времени адсорбции  $t$ . Расчет проводили только для АГ-ОВ-1, так как по данным статических измерений он наиболее перспективен для извлечения диметилформамида из водных растворов.

Степень достижения равновесия находили по формуле:

$$\gamma = a_t/a_p, \quad (1)$$

где  $a_t$  – адсорбция за время  $t$ ;  $a_p$  – значение равновесной адсорбции.

Зависимость степени достижения равновесия от времени адсорбции носит прямолинейный характер до  $\gamma=0,3$ , следовательно, можно предположить, что гранулы образцов активных углей соответствуют квазигомогенной модели, что позволяет вести расчет по этой модели.

По формуле (2) был рассчитан безразмерный кинетический параметр  $T$ :

$$y = 1 - e^{-T} \quad (2).$$

Зависимость  $T$  от  $y$  является теоретической кинетической кривой. Определение лимитирующей стадии сводится к сопоставлению теоретической и экспериментальной кривых при одинаковых значениях  $y$ . График зависимости  $T$  от  $t$  в случае, когда лимитирующая стадия, которой является внешний массообмен, описывается прямой, проходящей через начало координат.

Данные расчета свидетельствуют, что процесс адсорбции активного угля АГ-ОВ-1 контролируется внешним массопереносом в течение первых 20 мин.

Коэффициент внешнего массопереноса при адсорбции из растворов можно найти из общего коэффициента общего массопереноса

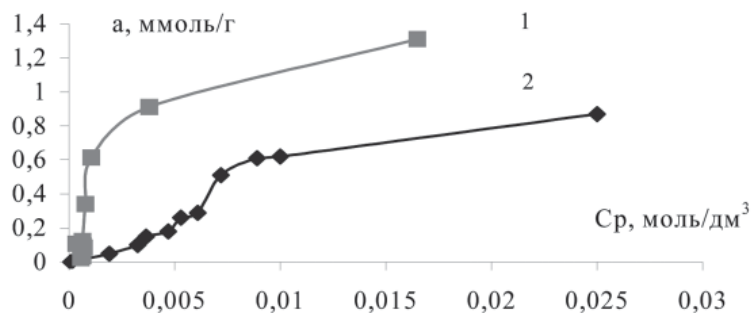


Рис. 1. Изотермы адсорбции диметилформамида образцами активных углей АГ-ОВ-1 (1) и АГ-5 (2).

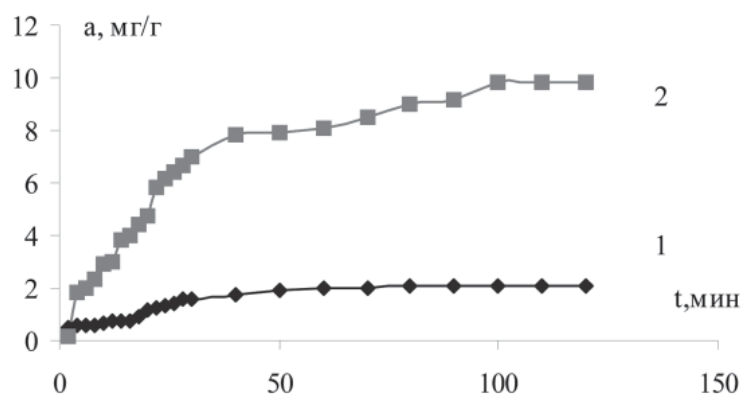


Рис. 2. Экспериментальные кинетические кривые адсорбции диметилформамида образцами активных углей АГ-5 (1) и АГ-ОВ-1 (2).

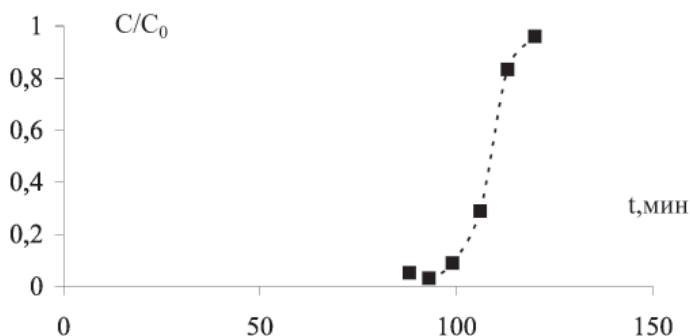


Рис. 3. Экспериментальная и расчетная динамические выходные кривые для образца активного угля АГ-ОВ-1 (на теоретические кривые точками нанесены экспериментальные данные).

Таблица 1

Параметры пористой структуры образцов

Образец	$S_{\text{БЭТ}}$ м <sup>2</sup> /г	$S_{\text{микро}}$ м <sup>2</sup> /г	$V_S$ см <sup>3</sup> /г	$V_{\text{микро}}$ см <sup>3</sup> /г	$V_{\text{мезо}}$ см <sup>3</sup> /г
АГ-ОВ-1	682	369	0,46	0,22	0,24
АГ-5	925	554	0,60	0,47	0,13

Таблица 2

Содержание поверхностных функциональных групп

Образец	-ОН	-COOH	-COO-	=C=O
АГ-ОВ-1	0,213	0,032	0,078	2,08
АГ-5	0,172	0,030	0,156	2,07

са, если лимитирующей стадией является внешний массообмен.

Коэффициент внешнего массообмена рассчитывается по формуле:

$$\beta = \operatorname{tg} \alpha / (V_3 / V_p + k_r), \quad (3)$$

где  $\operatorname{tg} \alpha$  – тангенс угла наклона начального участка зависимости  $T$  от  $t$ ;

$V_3$  – суммарный объем массы адсорбента,  $\text{см}^3$ ;

$V_p$  – объем раствора адсорбата, контактирующего с адсорбентом,  $\text{см}^3$ ;

$k_r$  – константа Генри ( $k_r = a_p / C_p$ ).

Рассчитанное значение  $\beta$  составило 0,011.

Полученные результаты позволяют предположить, что при проведении процесса адсорбции в динамических условиях можно ожидать высокую степень извлечения диметилформамида из стока при средней скорости фильтрации 1,4 м/ч.

Сравнение стоимости, адсорбционной активности и технологических свойств исследуемых углей позволило рекомендовать для практической реализации активный уголь марки АГ-ОВ-1 [3].

Известно, что в практике адсорбционная очистка осуществляется в непрерывном режиме. Поэтому проведено экспериментальное исследование процесса адсорбции в динамических условиях на образце АГ-ОВ-1. Выходная динамическая кривая приведена на *рис. 3*

**Ключевые слова:**

активный уголь,  
диметилформамид

**Заключение**

**Д**ля оптимизации процесса очистки сточных вод от диметилформамида возможно использование математического моделирования на основе фундаментальных уравнений адсорбции, данных кинетики и динамики. Совпадение расчетных и экспериментальных данных (*рис. 3*) подтверждает возможность использования этого способа оптимизации.

Представленные результаты показали возможность использования промышленного активного угля для извлечения диметилформамида из водных растворов.

### **Литература**

1. Когановский А.М. Адсорбция органических веществ из воды / А.М. Когановский, Н.А. Клименко, Т.М. Левченко, И.Г. Рода. Л.: Химия, 1990. 256 с.
2. Глузман Л.Д. Лабораторный контроль коксохимического производства / Л.Д. Глузман, И.И. Эдельман. Харьков: Гос. ун.-т., изд-во литер. по черной и цветной металлургии, 1957. 636 с.
3. Мухин. В.М. Активные угли России / В.М. Мухин., А.В. Тарасов, В.Н. Клушин. М.: Металлургия, 2000. 352 с.

T.A. Krasnova, N.V. Solov'ev

## DEVELOPMENT OF ADSORPTION METHOD FOR DIMETHYLFORMAMIDE RECOVERY FROM WASTE WATER

Integrated study of dimethylformamide adsorption from standardized test solution by commercial activated carbon was carried out. Basic adsorption parameters essential for engineering design of adsorption column were estimated.

**Key words:** activated carbon, dimethylformamide.