

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Шосткинський інститут Сумського державного університету  
Фармацевтична компанія «Фармак»  
Управління освіти Шосткинської міської ради  
Виконавчий комітет Шосткинської міської ради

# **ОСВІТА, НАУКА ТА ВИРОБНИЦТВО: РОЗВИТОК І ПЕРСПЕКТИВИ**

## **МАТЕРІАЛИ**

### **II Всеукраїнської науково-методичної конференції,**

**(Шостка, 20 квітня 2017 року)**



Суми  
Сумський державний університет  
2017

УДК 544.723.214

## АНАЛИЗ СТАТИКИ И ДИНАМИКИ АДСОРБЦИИ АНИОННОГО ПАВ МАГНИТНЫМ НАНОКОМПОЗИТОМ

О. В. Макачук, Т. А. Донцова, А. Л. Концевой

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»

пр-т Победы, 37, корпус № 4, г. Киев, 03056

xtfhn9207@ukr.net

Особое место среди загрязнителей водных объектов занимают поверхностно-активные вещества (ПАВ), входящие в состав синтетических моющих средств, которые находят широкое применение в быту, промышленности и сельском хозяйстве [1]. Как сильные канцерогенные агенты ПАВ и продукты их распада являются токсичными и способны накапливаться в организме, вызывая необратимые патологические изменения. Кроме того, ПАВ замедляют распад других канцерогенных веществ и подавляют процессы биохимического потребления кислорода, аммонификации и нитрификации [2].

Среди целого ряда методов, доступных для удаления загрязнителей из сточных вод, адсорбционные технологии являются наиболее перспективными для крупномасштабного практического применения, что обусловлено их эффективностью, простотой и экономической целесообразностью [3]. В последнее время все большее внимание к себе привлекают сорбционные материалы природного происхождения, такие как глины, особенностью которых является значительная сорбционная емкость относительно различных загрязнителей. Модифицирование дешевых глинистых сорбентов, например, сапонита, наночастицами магнитных оксидов, в частности  $Fe_3O_4$ , значительно повышает значение удельной площади поверхности сорбционной материала, стабилизирует склонные к агрегации магнитные наночастицы модификатора и снижает себестоимость очистки в целом [3].

Целью данной работы было описать адсорбцию анионного ПАВ додецилбензолсульфоната натрия на новом магнитоуправляемом композиционном сорбенте на глинистой основе с помощью математических моделей статики и динамики.

Наноконпозиционный магнитоуправляемый сорбент на основе сапонита и наномангнетита синтезировали методом пропитки нативной сапонитовой глины мангнетитом ( $Fe_3O_4$ ) в виде магнитной жидкости, полученной по способу Элмора [3]. Для исследования динамики процесса сорбции из воды использовали модельный раствор анионного ПАВ – додецилбензолсульфоната натрия концентрацией  $10 \text{ г/м}^3$ .

Математическая модель работы адсорбера содержит уравнение статики (изотермы адсорбции) и динамики (материального баланса). Статика процесса сорбции может быть описана уравнением:

$$\theta = \frac{k \cdot C}{1 + (k - 1) \cdot C}, \quad (1)$$

где  $C$  – относительная концентрация ПАВ в растворе,  $C = c/c_{\max}$ ;  $c$  – равновесная концентрация,  $\text{г/м}^3$ ;  $c_{\max}$  – максимальная равновесная концентрация,  $\text{г/м}^3$ ;  $k$  – константа адсорбции додецилбензолсульфоната натрия  $k=k_1/k_2$ ;  $\theta$  – доля поверхности, которая содержит адсорбированные молекулы ПАВ,  $\theta = q/q_{\max}$ ;  $q$  – величина адсорбции,  $\text{мг/г}$ ;  $q_{\max}$  – максимальная адсорбция или статическая адсорбционная емкость,  $\text{мг/г}$ .

Уравнение материального баланса в безразмерной форме имеет вид [4]:

$$\frac{\partial C(Z, t)}{\partial t} + V_{\text{wave}}(C) \frac{\partial C(Z, t)}{\partial Z} = 0, \quad (2)$$

где  $Z$  – независимая переменная – координата в безразмерной и относительной форме  $Z = z / L$ ;  $t$  – независимая переменная – время в безразмерной форме  $t = \tau w / L$ ;  $z$  – направление оси адсорбера;  $L$  – высота загрузки адсорбента, м;  $w$  – скорость движения раствора ПАВ в свободном пересечении адсорбера, м/ч;  $\tau$  – время работы адсорбера в междурегенерационный период, ч;  $V_{wave}$  – волновая скорость, расчёт которой осуществляется в соответствии с уравнением:

$$V_{wave}(Z, k) = \frac{Rat}{\frac{k}{[1 + C(Z) \cdot (k - 1)]^2} + p \cdot Rat}, \quad (3)$$

где  $p$  – объемная доля воды (порозность сорбента);  $Rat$  – безразмерное распределительное соотношение,  $Rat = c_0 / q_0$ ;  $c_0$  – концентрация ПАВ в растворе до контакта со слоем сорбента, мг/м<sup>3</sup>.

При моделировании процесса в статическом режиме методом «Подбор параметров» в Excel была рассчитана константа адсорбции додецилбензолсульфоната натрия  $k=3,968$ . Математическая модель статики сорбции в безразмерной форме представлена в виде равенства:

$$\theta_A = \frac{3,968 \cdot C}{1 + (3,968 - 1) \cdot C}. \quad (4)$$

Решение уравнения (2) выполнялось в среде Mathcad с учетом исходных данных, приведенных в таблице 1.

Таблица 1 Параметры адсорбционной очистки сточных вод

| Параметр  | Значение |
|---|----------|
| Порозность сорбента                                     | 0,566    |
| Концентрация $C_0$ , г/м <sup>3</sup>                   | 10       |
| Сорбционная емкость сорбента $q_0$ , г/г                | 0,036    |
| Линейная скорость воды $w$ , м/год                      | 3,5      |
| Высота слоя сорбента $L$ , м                            | 6        |
| Время работы адсорбера между регенерациями $\tau$ , год | 720      |
| Распределительное соотношение, $Rat$                    | 0,000238 |

Уравнение (2), к которому сведена математическая модель динамики адсорбера, представляет собой квазилинейное однородное уравнение в частных производных гиперболического типа. Решение его с помощью метода характеристик в среде MathCad приведено в работе [4]. С физической точки зрения моделью динамики является уравнение движения концентрационных точек фронта. Оно позволяет рассчитать распределение поглощаемого поллютанта вдоль слоя сорбента для различных моментов времени.

В пакете Mathcad построено двух- и трехмерные (пространственно-временные) зависимости концентрации додецилбензолсульфоната натрия (рисунки 1 а,б) вдоль оси адсорбера, которые являются графическим представлением математической модели динамики сорбции. Цифры 0,50,100 соответствуют моментам безразмерного времени  $t$ .

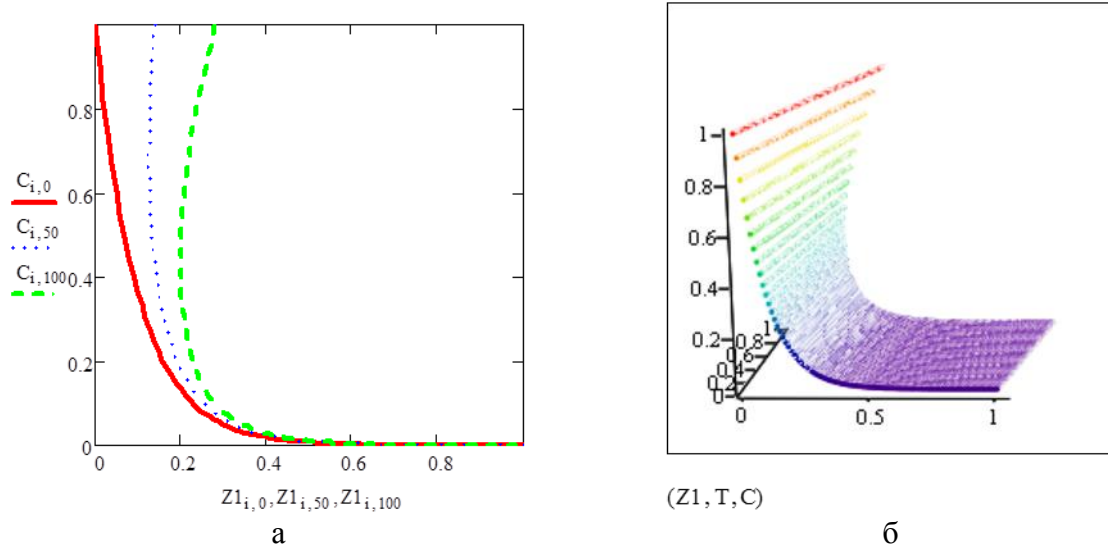


Рисунок 1 – Двумерная (а) и трехмерная (б) зависимости концентрации анионного ПАВ додецилбензолсульфоната натрия вдоль оси фильтра  $C_{i,0}$ ,  $C_{i,50}$ ,  $C_{i,100}$  от  $Z_{i,0}$ ,  $Z_{i,50}$ ,  $Z_{i,100}$  для константы  $k = 3,968$  – уравнения (1).

При адсорбции додецилбензолсульфоната натрия композиционным сорбентом на глинистой основе наблюдается «обрывной» фронт (ущемление фронта адсорбции) – фронт такой гипотетической формы, при которой концентрация веществ в растворе скачкообразно меняется от  $c = c_0$  ( $C = 1$ ) до  $c \approx 0$  ( $C \approx 0$ ) (рисунок 1). С увеличением константы  $k$  наблюдается ущемление фронта адсорбции в большей степени. Таким образом, по окончании формирования обрывного фронта концентраций, точка, отвечающая максимальной концентрации раствора, будет двигаться на протяжении всего остального времени работы адсорбера с постоянной скоростью. Эта скорость и будет скоростью движения всего концентрационного фронта [4].

Математическая модель процесса адсорбции додецилбензолсульфоната натрия свидетельствует о высокой эффективности извлечения загрязнителя из модельного раствора сточных вод, так как при  $k = 3,968$  кривая при  $t=100$  не пересекает  $Z=1$ . По заданным исходным данным с увеличением  $k$  вероятность качественной очистки воды возрастает: концентрация на выходе близка к 0, при  $t = 100$  достигается в рамках  $Z \leq 1$ .

Качественную очистку более концентрированных сточных вод можно обеспечить, варьируя технологическими и конструкционными параметрами адсорбера, в частности, при уменьшении междурегенерационного периода в эксплуатационных условиях или увеличении высоты слоя адсорбента.

#### Список литературных источников

1. Ebrahimi A., Ehrampoosh M., Samaei M. Survey on removal efficiency of linear alkylbenzene sulfonate in Yazd stabilization pond // *Int J Env Health Eng.* – 2015. – Vol. 4. – P. 1-5.
2. Harutyunyan L., Pirumyan G. Purification of waters from anionic and cationic surfactants by natural zeolites // *Chemistry and Biology* – 2015. – Vol. 1. – P. 21-28.
3. Makarchuk O. V., Dontsova T. A., Astrelin I. M. Magnetic nanocomposites as efficient sorption materials for removing dyes from aqueous solutions // *Nanoscale Research Letters.* – 2016. – V. 11(161). – P. 1-7.
4. Концевой А. Л., Концевой С. А., Таргонская О. О. Анализ статистики и динамики обмена ионов разного заряда // *Вода и водоочистные технологии.* – 2012. – №. 2(8). – P. 25-34.