

содержащий соли жесткости с концентрацией 6 мг-экв/л. Результаты эксперимента представлены на рисунке 4.

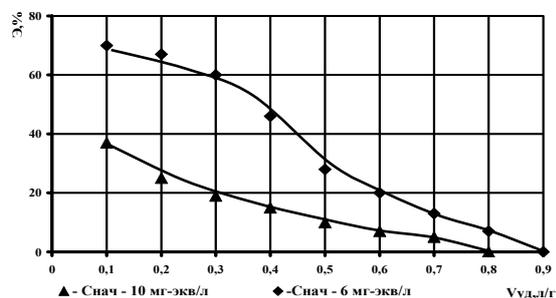


Рисунок 3. Зависимость эффективности извлечения (Э) ионов жесткости от удельного объема раствора ( $V_{уд}$ ).

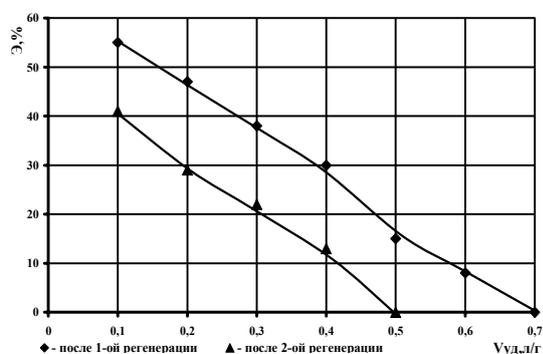


Рисунок 4. Зависимость эффективности извлечения ионов жесткости от удельного объема раствора после регенерации.

В целом можно отметить, что при регенерация материала раствором соды начальная эффективность очистки незначительно меньше, а впоследствии снижается. Таким образом, проведение регенерации возможно, но для увеличения продолжительности очистки требуется подбор оптимальных параметров.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод о том, что материал на основе выщелоченного базальтового волокна и бентонитовой глины может быть использован для умягчения воды.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СанПиН 2.1.4-1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.
2. Журба М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений./ М.Г. Журба, Л.И. Соколов, Ж.М. Говорова. – М.:Издательство АСВ, 2004. – 256 с.
3. СНиП 2.04.02-84\* Водоподготовка. Наружные сети и сооружения
4. Пат. 2345834 Российская Федерация, МПК51 В01J20/16, В01D39/06/. Способ получения фильтровально-сорбционного материала/ Кондратюк Е.В., Комарова Л.Ф., Лебедев И.А., Сомин В.А.; заявл. 23.07.2007; опубл. 10.02.2009.

## ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ АНИЛИНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УГЛЕРОДНЫХ АДСОРБЕНТОВ

Т.А. Краснова, А.В. Аникина, О.В. Беляева

*Изучена адсорбция в динамических условиях смеси анилина и даутерма из сточных вод углеродным адсорбентом марки АБГ. Проведено моделирование процесса адсорбции с использованием фундаментальных уравнений динамики адсорбции.*

*Ключевые слова: динамика адсорбции, анилин, углеродные адсорбенты.*

### ВВЕДЕНИЕ

Сточные воды предприятий органического синтеза зачастую представляют собой сложные смеси органических веществ. Более половины стоков производства Диафена ФП представляют собой водные растворы анилина или его смеси с теплоносителем даутермом (эвтектическая смесь дифенила и дифенилового эфира). Анилин относится ко II

классу опасности по санитарно – токсикологическому показателю, плохо поддается биодеградации.

При создании экологически безопасных производств перспективным направлением является локальная очистка стоков с возвратом как очищенной воды, так и извлеченных ценных компонентов.

Для очистки малоконцентрированных сточных вод эффективным может быть при-

## ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ АНИЛИНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УГЛЕРОДНЫХ АДСОРБЕНТОВ

менение адсорбционных технологий. Использование активных углей (АУ) для очистки стоков от органических соединений остается до сих пор актуальным.

В последние годы на рынке появляются новые углеродные адсорбенты, полученные по технологии [1], отличающейся от традиционно используемой при производстве АУ [2], что удешевляет их стоимость.

Предварительные исследования адсорбции анилина в присутствии даутерма новыми дешевыми адсорбентами показали перспективность использования АУ марки АБГ [3].

Целью работы было изучение динамики адсорбции анилина из водных растворов в присутствии даутерма углеродным адсорбентом марки АБГ (ЗАО "Карбоника Ф", г. Красноярск).

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Динамика адсорбции изучалась на модельных растворах с концентрациями анилина и даутерма 800 и 50 мг/дм<sup>3</sup>, соответственно.

Концентрация анилина определялась фотоколориметрическим методом при 540 нм по реакции диазотирования и азосочетания с образованием красителя пунцового красного Т. Концентрацию даутерма определяли методом газожидкостной хроматографии.

Даутерм определению анилина не мешает.

Экспериментальная выходная кривая динамики адсорбции анилина для высоты слоя 0.10 м и скорости фильтрования 4·10<sup>-3</sup> м/ч приведена на рис. 1. При существующем в реальных сточных водах соотношении компонентов во время проскока анилина даутерм выходит с концентрацией значительно меньше ПДК, что может позволить моделировать процесс сорбции в динамических условиях для доминирующего компонента – анилина.

Расчеты динамики адсорбции проводились на основе уравнений для случая внешней диффузии с использованием рассчитанных констант уравнения Дубинина – Радужкевича, данных кинетики и уравнения материального баланса, выбор которого определяется природой сорбтива и формой изотермы адсорбции [4]:

*в случае линейной изотермы*

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\frac{L}{v}} \cdot \sqrt{C_0} - \sqrt{\frac{L}{\beta v}} = \sqrt{\frac{L}{v}} \cdot \sqrt{C_0} - \sqrt{\frac{L}{\beta v}}; \quad (1)$$

*в случае выпуклой изотермы*

$$\tau = \frac{L}{v} \cdot \left\{ -\frac{1}{\beta} \cdot \left[ - \left( \frac{C_0}{a_\infty} \right) + \frac{C_0}{a_\infty} \right] \right\}; \quad (2)$$

*в случае вогнутой изотермы*

$$\tau = \frac{L}{v} \cdot \left[ -\frac{1}{\beta} \left( \frac{C_0}{a_\infty} \right) \right]; \quad (3)$$

где  $\tau$  – время работы слоя до появления проскоковой концентрации, с;  $L$  – высота слоя активного угля, м;  $C_0$  – начальная концентрация вещества в потоке, кг/м<sup>3</sup>;  $a_0$  – количество адсорбированного вещества, равновесное с  $C_0$ , кг/м<sup>3</sup> (берётся по изотерме адсорбции в кг/кг и умножается на насыпную плотность угля в кг/м<sup>3</sup>);  $p = C/C_{0.5}$ ;  $C_{0.5}$  – содержание поглощаемого вещества в потоке, равновесное с количеством вещества, равным половине от  $a_\infty$ , кг/м<sup>3</sup>;  $b = \Phi^{-1} \cdot (1 - C/0.54 \cdot C_0)$ ;  $\Phi^{-1}$  – функция, обратная функции Крампа;  $\beta_\eta$  – коэффициент внешнего массопереноса, с<sup>-1</sup>;  $v$  – средняя скорость потока, отнесённая к полному сечению аппарата, м/с.

Сопоставление теоретических рассчитанных по уравнениям (1) – (3) выходных кривых с экспериментальными данными показывает (рисунок 1), что динамика адсорбции анилина (в присутствии даутерма) практически полностью описывается уравнением для случая вогнутой изотермы (2). Следовательно, именно его целесообразно использовать при моделировании процесса адсорбции.

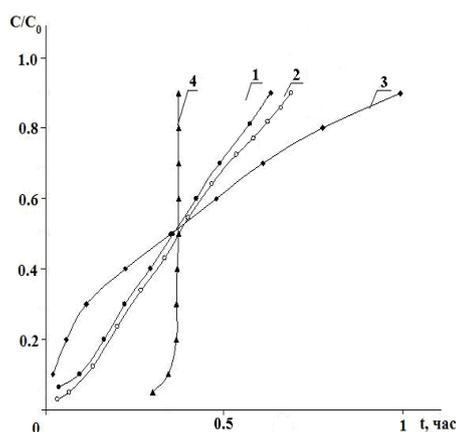


Рисунок 1. Выходные кривые динамики адсорбции анилина в присутствии даутерма для АУ марки АБГ: 1- экспериментальная и теоретически рассчитанные по уравнениям для случая изотерм: 2- вогнутой; 3- выпуклой; 4- линейной.

Моделирование динамики адсорбции проводилось для высоты слоя загрузки 2.0 и 2.5 м и скорости потока 0.5, 1.0 и 1.5 м/ч (объем стоков, содержащих смесь анилина и даутерма,

не превышает 10.0 м<sup>3</sup>/сут, что позволяет выбрать низкую скорость фильтрования).

Совпадение экспериментальных и теоретических выходных кривых (рисунок 2, на

теоретические кривые точками нанесены экспериментальные данные) подтверждает правомерность использованного к моделированию адсорбции подхода.

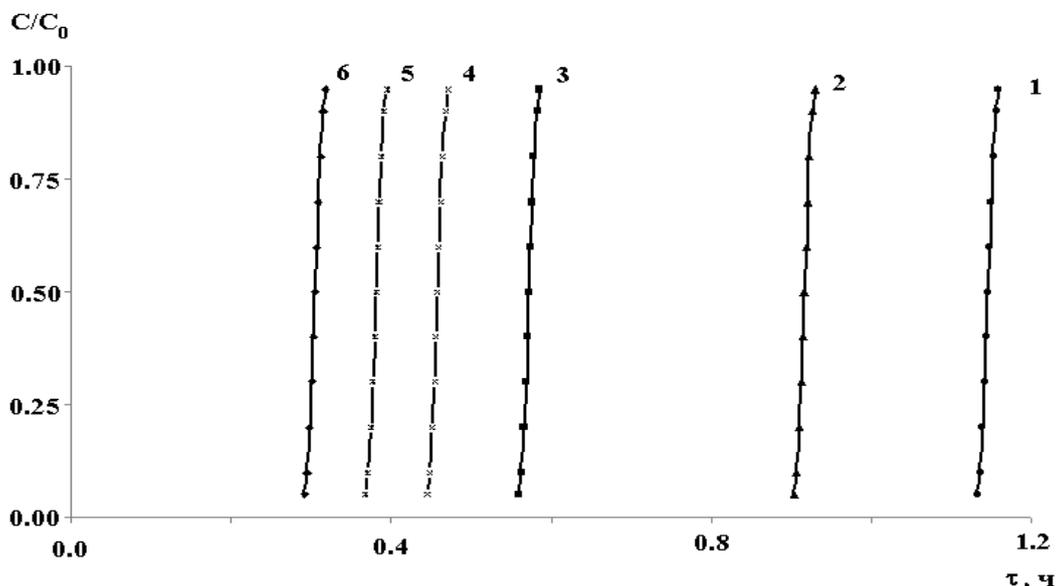


Рисунок 2. Выходные кривые динамики адсорбции анилина в присутствии даутерма для плотного слоя АУ марки АБГ при различных соотношениях скорости фильтрования и высоты колонны ( $v$ , м/ч :  $L$ , м): 1- 0.5 : 2.5; 2- 0.5 : 2.0; 3- 1.0 : 2.5; 4- 1.0 : 2.0; 5- 1.5 : 2.5; 6- 1.5 : 2.0.

Оценка рабочей высоты слоя загрузки и длины неиспользованного рабочего слоя проводилась по уравнениям (4) и (5) соответственно [4]:

$$= \frac{\tau - \tau_p}{\tau - (-\varphi) \cdot (\tau - \tau_p)}, \quad (4)$$

$$= \varphi, \quad (5)$$

где  $L$  и  $L_0$  - исходная и рабочая высота слоя загрузки АУ соответственно, м;  $\tau_{пр}$  - время появления проскоковой концентрации анилина (соответствует значению ПДК), ч;  $\tau_p$  - время появления в фильтрате анилина с концентрацией  $0.95 C_0$ , ч;  $\varphi$  - фактор симметричности выходной кривой;  $h$  - длина неиспользованного рабочего слоя, м.

Расчеты показали, что при фильтровании через неподвижный слой загрузки эффективно используется 96 – 99 % высоты слоя адсорбента.

## ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали возможность использования АУ марки АБГ

для адсорбционной очистки сточных вод, содержащих анилин и даутерм.

Увеличения времени работы колонны можно достигнуть путем объединения всех анилинсодержащих стоков производства диафена ФП, при этом произойдет разбавление концентраций как анилина, так и даутерма приблизительно в десять раз.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щипко М.Л., Еремина А.О., Головина В.В. // Journal of Siberian Federal University. Chemistry 2. 2008. № 1. P. 166 – 180.
2. Мухин В.М., Тарасов А.В., Клушин В.Н. Активные угли России. – М.: Металлургия. 2000. – 352 с.
3. Краснова Т.А., Беляева О.В., Аникина А.В. // "Инженерные системы - 2009": Междун. научно-практ. конфер.: Тезисы докладов. – М: РУДН. 2009. – С. 165.
4. Когановский А.М. Адсорбционная технология очистки сточных вод. – Киев: Наукова думка, 1981. – 320 с.