

гает 1800 мг/г, адсорбция МГ – 600 мг/г). Наряду с этим наблюдается высокая магнитная восприимчивость, которая в 2,5 раза превосходит ОМВ магнетита. При этом повышение дозировки Fe₂O₃ приводит к одновременному повышению адсорбции иода и ОМВ, что положительно сказывается на свойствах адсорбента.

ЛИТЕРАТУРА

1 Богданов, А.В. Комплексная переработка отходов производств целлюлозно-бумажной промышленности [Текст] / А.В. Богданов, Г.Д. Русецкая, А.П. Миронов, М.А. Иванова // Иркутск: Изд-во ИрГТУ. – 2000. – 227 с.

2 Белецкая, М. Г. Методы термохимической активации в синтезе активных углей из технических лигнинов [Текст] / М.Г. Белецкая, Н.И. Богданович, Л.Н. Кузнецова, Ю.А. Саврасова // ИВУЗ. "Лесной журнал" – № 6. – 2011. – С. 144–148.

3 Архилин, М.А. Адсорбционные и магнитные свойства магнитовосприимчивых адсорбентов, полученных на основе гидролизного лигнина [Текст] / М.А. Архилин, Н.И. Богданович // ИВУЗ. "Лесной журнал" – № 2. – 2016. – С. 131–140.

УДК 544.723.2 : 544.723.22

А.А. Шутова, магистрант; Е.А. Лагунова, ассист.;
Н.И. Богданович, проф., д-р техн. наук n.bogdanovich@narfu.ru;
С.И. Третьяков, проф., канд. техн. наук;
Н.А. Макаревич, проф., канд. хим. наук
(Северный (Арктический) федеральный университет
им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ АДСОРБЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ АКТИВНЫМ УГЛЕМ

Эйнштейн в свое время говорил о том, что человек – часть целого, называемого нами Вселенной. Взаимосвязь человека и природы всегда волновала великие умы. Особенно в наши дни, когда одно из основных мест занимает проблема сохранения всего живого на нашей планете. Сегодня многим уже становится ясно, что сохранить здоровую окружающую среду не менее важно, чем питаться или реализовывать духовные потребности. Все большее значение имеет разработки в области высококлассных углеродных адсорбентов.

Исследование кинетики адсорбции позволяет определить продолжительность процесса, а, следовательно, размеры адсорберов и их производительность [1].

Активный уголь был получен путем термохимической активации. И имел следующие основные характеристики [2]:

- объем микропор по уравнению *Horvath-Kawazoe* 0,49 см³/г;
- объем микропор по *Dubinín–Radushkevich* 0,43 см³/г;
- суммарный объем пор по BET ($V_{\Sigma\text{пор}}$) равен 81 см³/г;
- удельная поверхность мезо- и макропор по уравнению T-plot 415 м²/г;
- удельная поверхность по Langmuir 1997 м²/г;
- удельная поверхность по BET 1086 м²/г.

Анализ проводили при температуре 20°C и 40°C. В качестве газа использовали – пентан, гексан, гептан и декан. Навеску каждого образца примерно по 0,1 г активного угля взвешивали с точностью до 0,0003. Помещали в корзинку, предварительно взвешенную, и оставляли в колбе, наполненную растворителем. Колба находится в изотермических условиях. Взвешивание корзинки производили через 2, 4, 4 мин, в последующем каждый час в течение 3–4 часов и через 24 часа. В условиях эксперимента парциальное давление паров адсорбтива практически равно давлению насыщенного пара скорость массопереноса определяется массопереносом в порах адсорбента.

На рис. 1 представлена зависимость адсорбции A от продолжительности процесса, при 20°C.

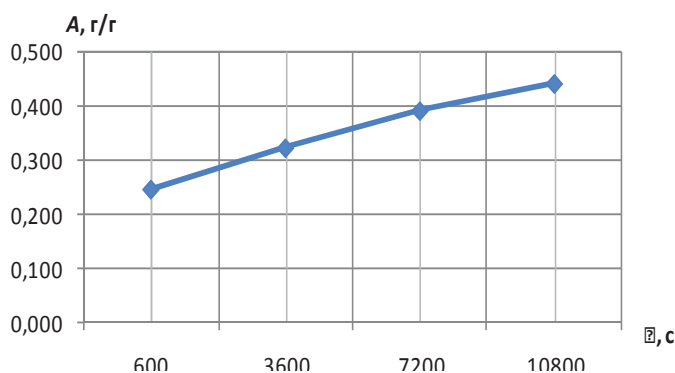


Рисунок 1 – Зависимость адсорбции пентана от продолжительности обработки активным углем

При описании внутридиффузионной кинетики физической адсорбции можно применить модель квазигомогенного пористого тела. Уравнения, описывающие кинетику адсорбции гомогенными пористыми телами, описаны в [4].

Решения этих уравнений для постоянных коэффициентов диффузии хорошо изучены [5] и для гранул адсорбента правильной геометрической формы получены аналитические решения.

Считая процесс адсорбции внутридиффузионным и принимая форму частиц угля, близкой к шарообразной, кинетику процесса можно описать с достаточной точностью известным уравнением:

$$E = B \cdot \exp(-\pi^2 \cdot D \cdot \tau / R^2), \quad (1)$$

где E – степень «недонасыщения», равная $1-A/A^*$, A^* – равновесная адсорбция; B – коэффициент, определяемый экспериментальным путем; D – приведенный коэффициент внутренней диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$; τ – продолжительность адсорбции, с ; R – приведенный радиус частиц угля, м .

Логарифмируя уравнение (1), получим прямолинейную зависимость

$$\ln E = \ln B - \pi^2 \cdot D \cdot \tau / R^2 \quad (2)$$

По опытным и расчетным данным строили график зависимости $\ln E$ от τ , приведенный на рис. 2. Из графика видно, что зависимость близка к прямой, следовательно, процесс адсорбции протекает по регулярному режиму, характерному для внутридиффузионной кинетики. Коэффициент аппроксимации составляет 0,8993.

По тангенсу угла наклона аппроксимирующей линии рассчитан коэффициент внутренней диффузии D , равный $2,22 \cdot 10^{-12} \text{м}^2/\text{с}$. По величине коэффициента диффузии рассчитывается по уравнению (1) степень «недонасыщения» и по ней адсорбция в данный момент времени. На рис. 1 линией показана расчетная зависимость адсорбции от продолжительности процесса, которая соответствует экспериментальным данным, отмеченным маркерами.

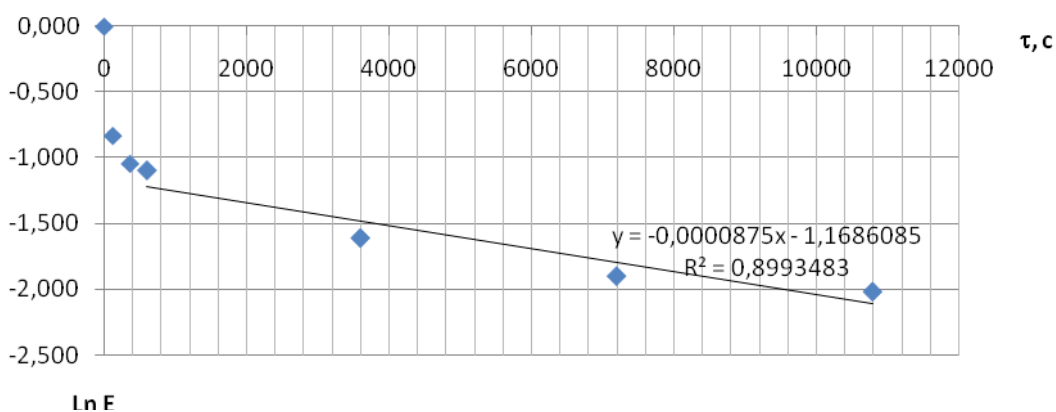


Рисунок 2 – Зависимость $\ln E = f(\tau)$ при адсорбции пентана активным углем (выделение регулярного режима адсорбции)

Аналогично проводим эксперимент с гексаном, гептаном и деканом при 20°C и 40°C.

Расчетные коэффициенты внутренней диффузии D для всех растворителей и при двух температурах, в таблице 1.

Таблица 1 – Расчетные коэффициенты внутренней диффузии D

Углеводород	Коэффициент внутренней диффузии D , $10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$	
	20°C	40°C
Пентан	2,22	–
Гексан	2,56	0,93
Гептан	1,30	1,36
Декан	1,06	1,50

На рисунке 3 представлены экспериментальные (маркеры) и расчетные (линии) графики зависимости кинетики адсорбции для исследованных углеводородов: гептана, гексана, декана, пентана.

Расчетные значения адсорбции практически совпадают с экспериментальными данными при температурах 20°C и 40°C.

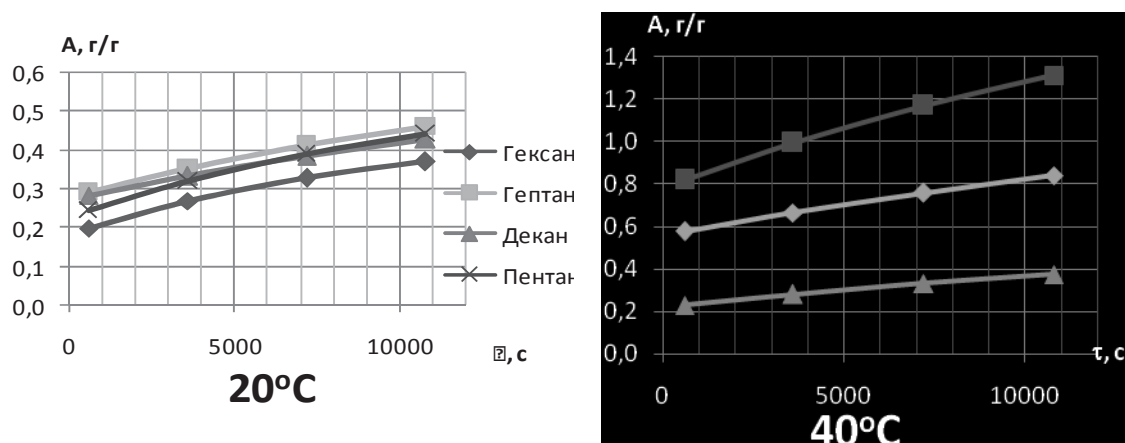


Рисунок 3 – Зависимость адсорбции от продолжительности обработки активным углем

Вывод: Предложена методика исследования и расчета кинетики адсорбции углеводородов активным углем в статических условиях. Показано, что при достижении определенного времени кинетика процесса адсорбции с достаточной точностью характеризуется регулярным режимом, что в значительной степени упрощает расчет процесса адсорбции.

ЛИТЕРАТУРА

1 Богданович Н.И. Пиролиз технических лигнинов / Н.И. Богданович // ИВУЗ «Лесной журнал», 1998, № 2, с. 120-132.

2 Анализ пористой структуры активных углей термохимической активации с КОН еловых опилок / Шутова А.А., Романенко К.А. //Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых – 2016: сборник материалов конференций / сост.Н.В. Баталова; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Электронные текстовые данные. – Архангельск: ИД САФУ, 2016. – С.542–546.

3 Богданович Н.И. Углеродные адсорбенты на основе лигноцеллюлозных материалов / Н.И. Богданович, Ю.А. Саврасова, Н.А. Макаревич, М.Г. Белецкая // ИВУЗ «Лесной журнал», 2012, №1, С. 107–112.

4 Цивадзе А.Ю., Русанов А.И., Фомкин А.А., Волощук А.М., Товбин Ю.К., Толмачев А.М., Авраменко В.А. Физическая химия адсорбционных явлений. – М.: Издательская группа «Граница». 2011. – 304 с.

5 Дубинин М.М. Адсорбция и пористость. М.: ВАХЗ, 1972. 126 с.

УДК 630*866

А. И. Бадогоина, асп.; С. И. Третьяков, проф., канд. техн. наук; Н. А. Кутакова, проф., канд. техн. наук; Кунавин А.А., магистрант n.kutakova@narfu.ru (С(А)ФУ имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск)

ЭКСТРАКЦИЯ ЛУБА БЕРЕЗОВОЙ КОРЫ В СВЧ-ПОЛЕ

Луб березовой коры, составляющий основную часть березовой коры (около 80%) содержит водорастворимые вещества, наиболее ценными из которых являются таниды – полифенольные соединения, обладающие дубящими свойствами [1].

В работе [2] подробно описаны продукты переработки коры. Например, полифенольные продукты из луба являются нетоксичными и биоразлагаемыми веществами, которые могут применяться для различных целей (как антиоксидантные реагенты, в качестве адгезионных и связующих материалов, красок для текстиля, пищевых добавок и медицинских препаратов) [3].

В работе [4] изучен процесс получения дубильного экстракта водно-спиртово-щелочной экстракцией луба березовой коры с использованием NaOH. Установлено, что наибольшее влияние на выход экстрактивных веществ (ЭВ) оказывает концентрация гидроксида натрия. Повышение концентрации NaOH от 0,5 до 1,5 % увеличивает выход ЭВ с 21 до 40 % масс. от а. с. луба.

Нами изучен процесс СВЧ-экстракции луба березовой коры с различной степенью измельчения в среде спиртового раствора КОН. Экстракцию проводили при оптимальных условиях для достижения