

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ АДсорБЕРОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Эпоян С.М., Карагяур А.С., Бабенко С.П.
Харьковский национальный университет
строительства и архитектуры

С помощью математического моделирования проведено сравнение эффективности раздельной, параллельной и последовательной схем применения центробежных адсорберов.

Ключевые слова: центробежный адсорбер, адсорбент, критерий эффективности.

За допомогою математичного моделювання проведено порівняння ефективності роздільної, паралельної та послідовної схем застосування відцентрових адсорберів.

Ключові слова: відцентровий адсорбер, адсорбент, критерій ефективності.

A comparison of efficiency of separate, parallel and consistent schemes of centrifugal adsorbers applying by mathematical modeling is conducted.

Keywords: centrifugal adsorber, adsorbent, efficiency criterion.

Большинство водоемов Украины, которые являются источниками хозяйственно-питьевого водоснабжения многих населенных пунктов, подвержено антропогенному воздействию [1]. Во многих случаях основными проблемными примесями являются растворенные органические вещества техногенного и природного происхождения. Традиционные схемы водоподготовки не всегда могут обеспечить в этих условиях требуемое качество очистки [2, 3]. Для малых населенных пунктов проблема снабжения населения качественной питьевой водой является наиболее острой по причине отсутствия очистных сооружений или недостаточного финансирования для их реконструкции [4].

Для удаления растворенных органических примесей все более широкое внедрение в США, странах ЕС и Российской Федерации получает адсорбционная очистка [2, 3]. Высокие эксплуатационные

затраты, связанные со значительной стоимостью адсорбентов, ограничивают внедрение этих методов на Украине.

Определенные перспективы для применения в водоподготовке имеет заимствованная из химической отрасли очистка в движущемся слое адсорбента [5]. Однако, необходимы исследования, направленные на уменьшение размеров и упрощение соответствующих сооружений.

Повысить экономическую эффективность применения адсорбции для очистки воды возможно с помощью центробежного адсорбера (рис. 1) [6]. Центробежные силы позволяют в компактном устройстве организовать перекрестную схему движения очищаемой воды и адсорбента с использованием дешевого порошкообразного и пылевидного адсорбента. Это позволяет применять центробежный адсорбер в составе компактных установок для подготовки питьевой воды, а также удешевить процесс удаления широкого спектра растворенных органических примесей.

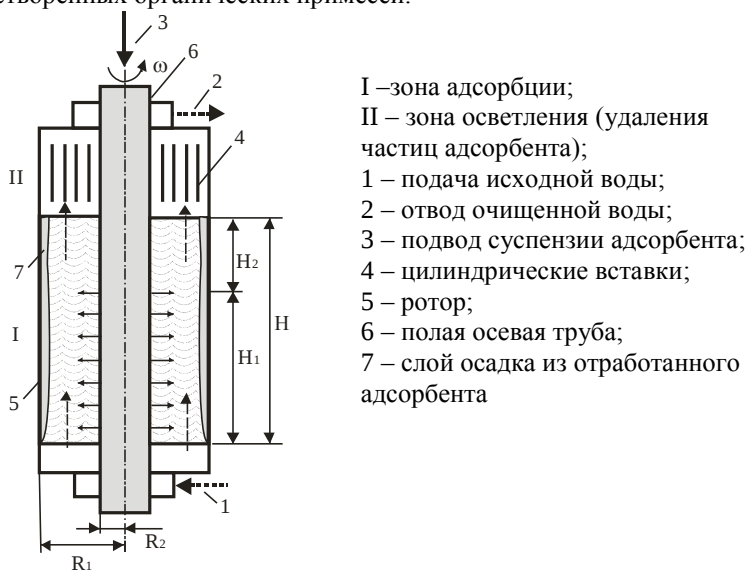


Рис. 1 Схема центробежного адсорбера

При высокой стоимости адсорбента актуальным является рассмотрение вопроса о целесообразности его повторного использования.

Такое применение адсорбента возможно по двум технологическим схемам:

- 1) Параллельная схема. Очищаемая вода одновременно проходит через два центробежных адсорбера. В первый адсорбер подается незагрязненный адсорбент. Во второй адсорбер подается адсорбент после его удаления из первого устройства. После очистки в двух устройствах вода смешивается в отводящем трубопроводе.
- 2) Последовательная схема. Очищаемая вода последовательно проходит через два центробежных адсорбера. Во второй адсорбер подается чистый адсорбент. После прохождения через слой очищаемой воды он частично загрязняется и после удаления из второго устройства подается в первый адсорбер.

С помощью разработанной математической модели [6] были проведены исследования эффективности применения параллельной и последовательной схем. Основу математической модели составляет система уравнений, записанных в цилиндрической системе координат:

- уравнения переноса количества движения:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial r} + v \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + v \left(\frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} \right);$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial r} + v \frac{\partial u}{\partial z} = \omega^2 r - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + v \left(\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r^2} \right);$$

- уравнение неразрывности потока:

$$\frac{u}{r} + \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial z} = 0;$$

- уравнение переноса концентрации адсорбтива:

$$\left(1 - \frac{b}{\rho_b} \right) \frac{\partial C}{\partial t} + b\beta(a_p - a) + u \frac{\partial C}{\partial r} + v \frac{\partial C}{\partial z} = D_c \left(\frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{\partial C}{r \partial r} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right);$$

- уравнение переноса концентрации адсорбента в воде:

$$\frac{\partial b}{\partial t} + u \frac{\partial b}{\partial r} + u_w \frac{\omega^2 r}{g} \frac{\partial (rb)}{\partial r} + v \frac{\partial b}{\partial z} = D_b \left(\frac{\partial^2 b}{\partial r^2} + \frac{\partial b}{r \partial r} + \frac{\partial^2 b}{\partial z^2} \right);$$

- уравнение переноса концентрации адсорбата:

$$\frac{\partial a}{\partial t} + u \frac{\partial a}{\partial r} + u_w \frac{\omega^2 r}{g} \frac{\partial a}{\partial r} + v \frac{\partial a}{\partial z} = \beta(a_p - a);$$

- изотерма адсорбции:

$$a_p = K \cdot C,$$

где r, z – координаты; t – время; v, u – составляющие скорости;
 p – давление; ρ – плотность суспензии; ω – угловая скорость;
 u_w – гидравлическая крупность зерна адсорбента; a – концентрация адсорбата; C – концентрация адсорбтива; b – концентрация адсорбента; ρ_b – насыпная плотность адсорбента; ν – коэффициент кинематической вязкости; β – коэффициент массопередачи; D_c, D_b – коэффициенты диффузии; a_p – равновесная концентрация адсорбата; K – коэффициент адсорбции.

Граничные и начальные условия:

$$t = 0 \quad C = 0; a = 0; b = 0; v = \frac{Q}{\pi(R^2 - r_0^2)}; u = 0;$$

$$r = r_0 \quad a = 0, b = b_0; C = 0; v = 0; u = \frac{Q_b}{2\pi r_0 H};$$

$$r = R \quad \frac{\partial a}{\partial r} = 0; \frac{\partial b}{\partial r} = 0; \frac{\partial C}{\partial r} = 0; v = 0; u = 0;$$

$$z = 0 \quad C = C_0; a = 0; b = 0; v = \frac{Q}{\pi(R^2 - r_0^2)}; u = 0;$$

$$z = H \quad \frac{\partial a}{\partial r} = 0; \frac{\partial b}{\partial r} = 0; \frac{\partial C}{\partial r} = 0; v = \frac{Q + Q_b}{\pi(R^2 - r_0^2)}; u = 0,$$

где H – высота рабочей зоны; Q – расход очищаемой воды;
 Q_b – расход суспензии с адсорбентом; R, r_0 – соответственно, внешний и внутренний радиусы рабочей зоны; C_0, b_0 – концентрации, соответственно, адсорбтива и адсорбента на входе в устройство.

В качестве критериев эффективности были приняты следующие параметры:

$$1) \quad \text{эффект очистки} - \Theta_C = 1 - \frac{\bar{C}_1}{C_0}, \quad \text{где } \bar{C}_1 - \text{среднее значение}$$

концентрации адсорбтива на выходе из зоны адсорбции (рис. 1);

$$2) \quad \text{отношение массы адсорбента } m_b, \text{ затраченного на извлечение}$$

данного количества загрязняющих веществ, к массе примесей m_C

$$- \Theta_m = \frac{m_b}{m_C};$$

3) степень использования адсорбционной емкости адсорбента –

$$\Theta_a = \frac{\bar{a}|_{r=R_1}}{a_\infty} = \frac{\bar{b}a|_{r=R_1}}{bKC_0}, \quad \text{где} \quad \frac{\bar{b}a|_{r=R_1}}{bKC_0} - \text{средняя концентрация}$$

адсорбата в зернах адсорбента, осевших на поверхности осаждения, рассчитанная с учетом концентрации адсорбента возле стенки;

4) удельная (на единицу производительности) мощность – $N_{уд} = \frac{N}{Q}$,

где N – мощность, необходимая на раскручивание жидкости, поступающей на очистку, и преодоление сил трения.

Из условия одинакового количества аппаратов был изучен вариант, при котором производительность центробежных адсорберов при последовательной очистке в два раза выше. Результаты сравнения различных схем применения центробежных адсорберов показаны на рис. 2-6.

При одинаковом количестве центробежных адсорберов наибольший эффект очистки обеспечивает последовательная схема применения устройств с двойной нагрузкой (рис. 2). Требуемое количество адсорбента для обеспечения необходимого эффекта очистки приобретает наименьшее значение при последовательной и параллельной схемах (рис. 3). Степень использования адсорбционной емкости адсорбента наибольшая при параллельной схеме (рис. 4). С ростом числа Фруда данный параметр для параллельной и последовательной схем становится равным.

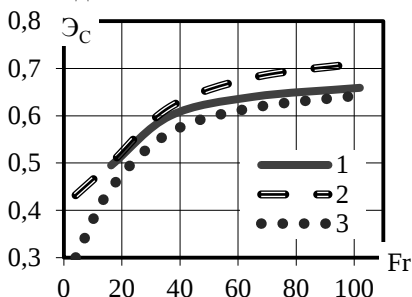


Рис. 2 Влияние числа Фруда на

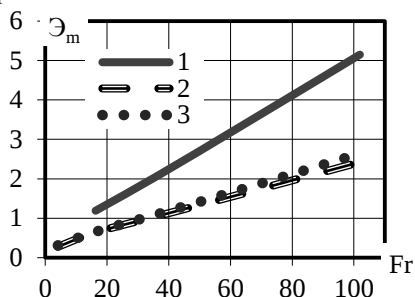


Рис. 3 Влияние числа Фруда на требуемое количество

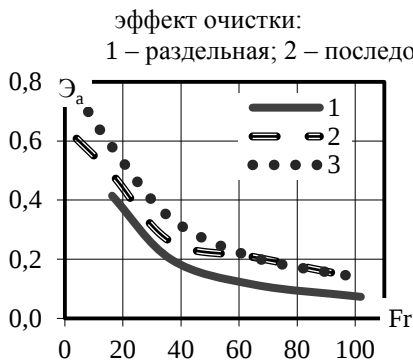


Рис. 4 Влияние числа Фруда на степень использования адсорбционной емкости адсорбента (1, 2, 3 – см. рис. 2)

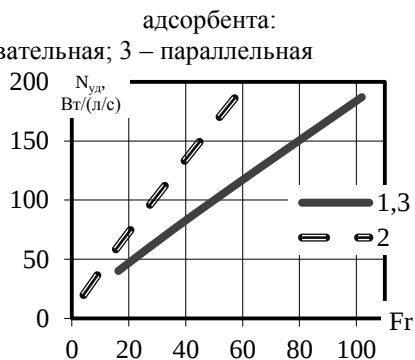


Рис. 5 Влияние числа Фруда на удельную мощность при различных схемах работы адсорберов (1, 2, 3 – см. рис. 2)

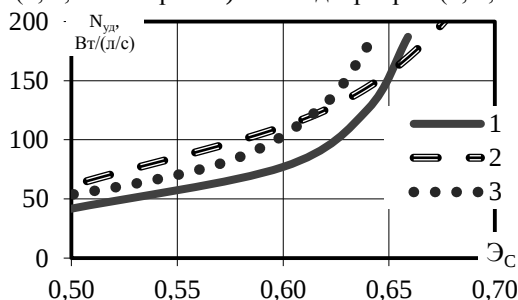


Рис. 6 Влияние необходимого эффекта очистки на удельную мощность при различных схемах работы адсорберов (1, 2, 3 – см. рис. 2)

С энергетической точки зрения при невысокой степени очистки целесообразно применять параллельную схему работы адсорберов, а при необходимости тонкой очистки выгодной становится последовательная схема (рис. 6).

Таким образом, повторное использование адсорбента при очистке в центробежных адсорберах является целесообразным и позволяет уменьшить стоимость водоподготовки.

1. Хоружий П.Д., Хомутецька Т.П., Хоружий В.П. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. – К.: Аграрна наука, 2008. – 534 с.

2. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: в 3 т. Т.2. Очистка и

кондиционирование природных вод. – изд. 3-е, перераб. и доп.: Учеб. пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. – 552 с.

3. Епоян С.М., Колотило В.Д., Друшляк О.Г., Сухоруков Г.І., Айрапетян Т.С. Водопостачання та очистка природних вод: Навчальний посібник. – Х.: Фактор, 2010. – 192 с.

4. Інформація про якість питної води в Україні [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Міністерства охорони здоров'я України. – Режим доступу: http://www.moz.gov.ua/ua/portal/pre_20110602_5.html

5. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.

6. Карагяур А.С. Математическая модель очистки воды адсорбцией в центробежном поле // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. – № 2(80). – С. 197-201.