

Відмінністю цієї технологічної схеми обробки та утилізації осадів є те, що сирий осад та надлишковий активний мул на перших стадіях обробляються окремо, і лише їх термічна утилізація відбувається разом.

При цьому на стадії механічного обезводнювання можуть використовуватися як камерні фільтр-преси, так і центрифуги.

Реалізація запропонованої схеми дозволить вирішити поставлене завдання - забезпечити гарантоване безпечне знешкодження свіже утворюваних осадів з отриманням корисних продуктів та поступову рекультивацію мулових майданчиків.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Сорокіна К.Б., Козловська С.Б. Технологія переробки та утилізації осадів
2. Навч. посібник. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 226с.
3. Концептуальная модель информационной системы мониторинга, созданной для повышения эксплуатационной надежности объектов канализационных сетей / Е.С. Лебедева, И.А. Михеев, Ю.С. Левашова // Тези за матеріалами VII Всеукраїнської наукової конференції «Методи

підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур». – Харків: ХНУБА, 2015. – С. 136–138.

4. Обработка осадков станций водоподготовки. / С.В.Храменков, А.Н.Пахомов, Д.А.Данилович и др. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2008. - № 10. – С. 67 – 76.
5. Герасимов Г.Н. Обработка осадков сточных вод / Г.Н.Герасимов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2008. - № 12. – С. 67 – 71.
6. Гольдфарб Л.Л. Опыт утилизации осадков городских сточных вод в качестве удобрения / Л.Л.Гольдфарб, И.С.Туровский, С.А.Беляева. – М.: Стройиздат, 1983. - 59 с.
7. Эпоян С.М. Современное оборудование для обезвоживания осадков городских сточных вод / С.М.Эпоян, Г.С.Пантелят, О.В.Степанов, Ю.И.Штонда // Научный вестник строительства. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2005. – Вып 35. - с. 213 – 216.
8. Левашова Ю.С. Напрямки утилізації осадів каналізаційних очисних споруд / Левашова Ю.С., Коваленко А.В., Косенко Н.О., Юрченко В.О. //Научный вестник строительства. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2017. – Т. 87. - №1. - С. 216 – 219.

Рецензент: д-р техн. наук В.О. Юрченко

УДК 628.16

Карагяур А.С., Сорокін О.М.

Харківський національний університет будівництва та архітектури

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИДАЛЕННЯ РОЗЧИНЕНИХ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН ПРИ ПІДГОТОВЦІ ПИТНОЇ ВОДИ

Вступ. Стан водойм України в даний час характеризується підвищеним вмістом розчинених органічних речовин, внаслідок зарегульованості поверхневого стоку водосховищами та скиду недостатньо очищених стічних вод. З цієї причини традиційні схеми підготовки питної води, склад споруд та технологічний режим їх роботи, які були розроблені для менш важких умов якості вихідної води, не в змозі забезпечити необхідний ступінь очищення. Тому виникає потреба у підвищенні бар'єр-

них функції очисних споруд водопідготовки у відношенні розчинених органічних речовин природного і техногенного характеру.

Адсорбційний метод вилучення з води розчинених органічних речовин є найбільш перспективним і потребує подальшого вивчення, так як він заснований не на хімічному перетворенні органічних речовин, а на їх фізичному вилученні з води (відбувається концентрування забруднень на поверхні адсорбенту), що не призводить до появи у воді проміжних продуктів

реакцій, які можуть погіршити якість вихідної води. Із відомих адсорбентів найбільш ефективний – активоване вугілля, яке добре адсорбує широкий спектр органічних забруднень при їх високій вихідній концентрації у воді.

Серед адсорбційних методів очищення виділяють наступні методи:

- очищення в нерухомому щільному шарі адсорбенту (очищення води на адсорбційних фільтрах з завантаженням із гранульованого активованого вугілля);
- очищення в рухомому шарі адсорбенту з використанням порошкоподібного активованого вугілля (метод вуглевання).

Метод очищення в нерухомому щільному шарі адсорбенту отримав найбільше розповсюдження у практиці водопідготовки, однак адсорбційним фільтрам притаманні недоліки, що характерні для всіх фільтрів з зернистим завантаженням, а саме: швидке вичерпання захисної дії перших по напрямку фільтрації шарів завантаження, колювання пор нерозчинними домішками та стирання зерен завантаження при промивці фільтру [1, 2].

Недоліком методу вуглевання є збільшення грязьового навантаження на швидкі фільтри, які затримують адсорбент, що міститься у воді, що, в свою чергу, спричиняє скорочення їх фільтроциклу і збільшення необхідної кількості промивних вод.

Однак адсорбційна обробка води за допомогою вуглевання забезпечує можливість ефективного очищення в умовах різкої зміни якості вихідної води або вимог до очищеної води, шляхом регулювання дози адсорбенту.

В залежності від напрямків руху потоку води, що очищається, та зерен адсорбенту, виділяють: прямоточну, протиточну, перехресну адсорбцію.

Перехресна адсорбція є найефективнішою, так як при такій схемі досягається явище багаторазової послідовної (дробової) адсорбції. Вся необхідна доза адсорбенту при такій схемі вводиться послідовно (дрібно), в декількох точках, по напрямку руху води, через що вже частково очищена вода контактує з «новим» адсорбентом і таким чином спостерігається більша, ніж

при одноразовому введенні, різниця концентрацій домішок у воді та сорбенті і, відповідно, більш інтенсивний масообмін [3]. До того ж в напрямку руху зерен адсорбенту вода на кожному наступному кроці є більш «забрудненою», ніж на попередньому, що також забезпечує більшу різницю концентрацій домішок та інтенсивний масообмін.

Також для підвищення ефективності перехресної адсорбції застосовують відцентрові адсорбери [4], але ці пристрої більш складні в експлуатації у порівнянні з іншими спорудами.

Мета і завдання. Метою досліджень є обґрунтування параметрів споруди, де реалізується перехресна та протиточна схеми адсорбції, що дозволить підвищити надійність постачання населення якісною питною водою при менших ресурсо- та енергозатратах. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі: розробити математичну модель, що описує гідродинамічні умови, а також процеси масопереносу та масопередачі в більш ефективній конструкції адсорбера, провести теоретичні дослідження впливу параметрів споруди на ефективність очищення.

Результати дослідження. Для удосконалення процесу вуглевання пропонується така конструкція споруди, в якій реалізується схема перехресної та протиточної адсорбції та відсутній винос сорбенту з потоком очищеної води (рис. 1).

Вода подається у споруду перфорованим трубопроводом 1 і, проходячи крізь водорозподільну перегородку 3, потрапляє в зону адсорбції. По перфорованому трубопроводу 2 відбувається подача у споруду суспензії адсорбенту, який, проходячи крізь водорозподільну перегородку 3, потрапляє в зону адсорбції 5, де відбувається процес вилучення з води органічних забруднень. Із зони адсорбції 5 вода, проходячи крізь пористі перегородки 4, потрапляє у перфоровані трубопроводи 6 та 7, якими відводиться із споруди, після чого за межами споруди потоки змішуються.

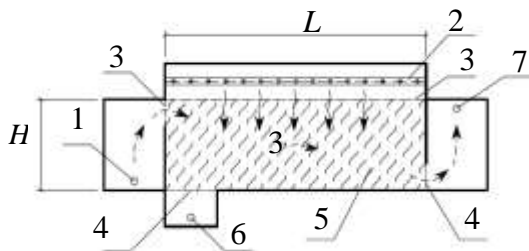


Рис. 1. Споруда для реалізації перехресної та протиточної схем вуглевання:

1 – подача води; 2 – подача адсорбенту; 3 – розподільна перегородка; 4 – пориста перегородка; 5 – зона адсорбції; 6, 7 – відведення води

Відсутність виносу адсорбенту досягається завдяки використанню у споруді пористих перегородок 4, які затримують зерна сорбенту.

Дослідження виконані за допомогою математичної моделі, основу якої складають дві системи рівнянь (1)-(3) та (4)-(6), записані в прямокутній системі координат.

При моделюванні поля швидкостей застосовуються:

- рівняння переносу кількості руху:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu' \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right); \quad (1)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + v \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu' \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right); \quad (2)$$

- рівняння нерозривності потоку:

$$\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (3)$$

де v, w – відповідно, повздовжня та поперечна складова швидкості, м/с; x, z – відповідно, повздовжня та поперечна координата, м; t – час, с; p – тиск, Па; ρ – густина води, кг/м³; ν' – коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/с.

Система рівнянь (1)-(3) вирішується при наступних крайових умовах:

- початкова умова:

$$t = 0: v = 0, w = 0;$$

- граничні умови:

$$x=0: v = \frac{Q}{H_1 \cdot B}, w=0; x=L: v = \frac{Q_{v2}}{H_2 \cdot B}, w=0;$$

$$z=0: v=0, w = \frac{Q_b}{L_1 \cdot B}; z=H: v=0, w = \frac{Q_{w2}}{L_2 \cdot B};$$

де Q – витрата води, що очищається, м³/с; Q_b – витрата суспензії адсорбенту, м³/с;

Q_{v2} – витрата води, що відводиться з зони адсорбції справа, м³/с; $Q_{w2} = Q_b + Q - Q_{v2}$ – витрата води, що відводиться з зони адсорбції знизу, м³/с; H, L – відповідно, висота і довжина зони адсорбції, м; H_1, H_2 – відповідно, висота зони підведення та відведення води, м; L_1, L_2 – відповідно, довжина зони підведення адсорбенту та відведення води, м.

Систему рівнянь (1)-(3) вирішуємо числовим методом за допомогою методу, запропонованого в [5]. Так, відповідно до [5], рівняння (3) перетворюється в рівняння типу Пуассона.

При моделюванні переносу речовини застосовуються [1, 6]:

- рівняння переносу концентрації адсорбату:

$$\frac{\partial a}{\partial t} + v \frac{\partial a}{\partial x} + (w + u_w) \frac{\partial a}{\partial z} = \beta \cdot \left(C - \frac{a}{K} \right); \quad (4)$$

- рівняння переносу концентрації адсорбтиву:

$$\left(1 - \frac{b}{\rho} \right) \frac{\partial C}{\partial t} + v \frac{\partial C}{\partial x} + w \frac{\partial C}{\partial z} + b \cdot \beta \cdot \left(C - \frac{a}{K} \right) = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right); \quad (5)$$

- рівняння переносу концентрації адсорбенту:

$$\frac{\partial b}{\partial t} + v \frac{\partial b}{\partial x} + (w + u_w) \frac{\partial b}{\partial z} = D \left(\frac{\partial^2 b}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 b}{\partial z^2} \right), \quad (6)$$

де a – концентрація домішки в сорбенті, кг/кг; C – концентрація домішки у воді, кг/м³; b – концентрація адсорбенту у воді, кг/м³; ρ – густина адсорбенту, кг/м³; C_p – рівноважна концентрація домішки у воді, кг/м³; D – коефіцієнт дифузії, м²/с; β – коефіцієнт масопередачі, м³/кг·с.

Система рівнянь (4)-(6) вирішується при наступних крайових умовах:

- початкова умова:

$$t = 0: C = C_0, a = 0, b = b_0;$$

- граничні умови:

$$x = 0: C = C_0, a = 0, b = 0; x = L: \frac{\partial C}{\partial x} = 0,$$

$$\frac{\partial a}{\partial x} = 0, \frac{\partial b}{\partial x} = 0;$$

$$z = 0: C = 0, a = 0, b = b_0; z = H: \frac{\partial C}{\partial z} = 0,$$

$$\frac{\partial a}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial b}{\partial z} = 0;$$

де C_0 – концентрація адсорбтиву на вході в зону адсорбції, $\text{кг}/\text{м}^3$; b_0 – концентрація адсорбенту на вході в зону адсорбції, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Системи рівнянь (1)-(3) та (4)-(6) вирішуються методом прогонки [7].

За допомогою розробленої математичної моделі процесу вилучення розчинених органічних забруднень адсорбцією були проведені розрахунки та вивчено вплив технологічних та конструктивних параметрів на ефективність роботи споруди. Приклади розрахунків представлені на рис. 2-6.

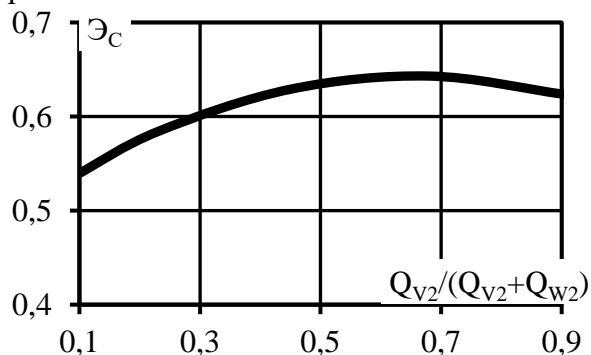


Рис. 2. Вплив витрати води, що відводиться зі споруди справа, на ефективність очищення

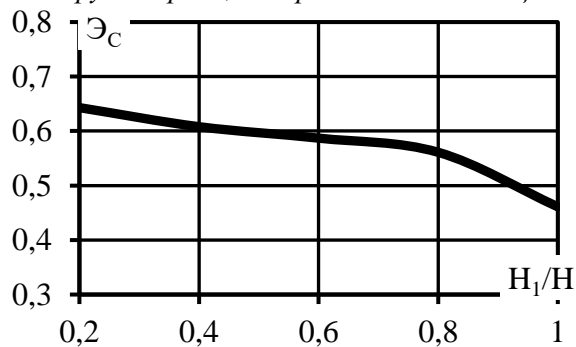


Рис. 3. Вплив висоти зони підведення води на ефективність очищення

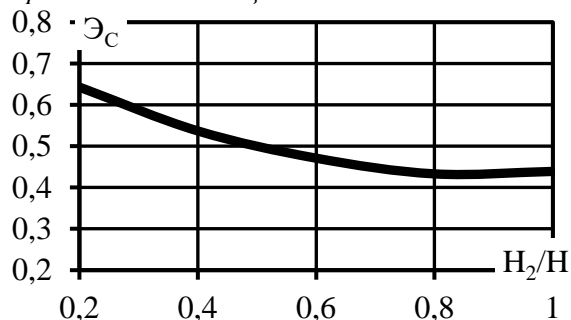


Рис. 4. Вплив висоти зони відведення води на ефективність очищення

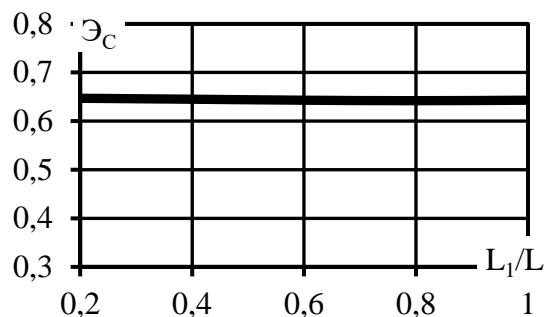


Рис. 5. Вплив довжини зони підведення адсорбенту на ефективність очищення

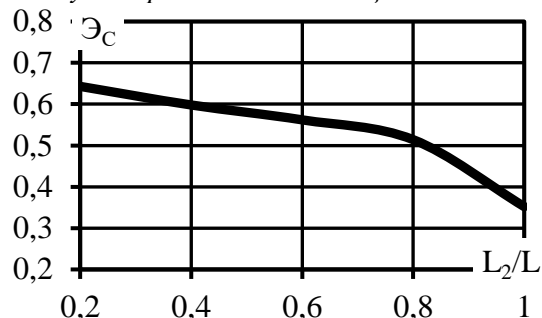


Рис. 6. Вплив довжини зони відведення води знизу на ефективність очищення

На рис. 2 наведений приклад розрахунку залежності параметру \mathcal{E}_c від витрати води, що відводиться зі споруди справа. Як можна побачити з рис. 2, найбільший ефект очищення досягається, коли частина води, що відводиться справа, становить 65÷70% загальної витрати, що відводиться із зони адсорбції. Погіршення ефекту очищення при зменшенні раціонального значення параметра Q_{v2} можна пояснити тим, що при зменшенні Q_{v2} зростає значення витрати, що відводиться знизу зліва. Тобто вода, потрапляючи в зону адсорбції, починає швидше відводитися з неї знизу, зменшується час контакту води з зернами сорбенту, що призводить до неефективності процесу очищення.

Збільшення висоти зони підведення води (рис. 3) призводить до того, що вода, яка потрапляє у зону адсорбції, починає по короткій траєкторії відводитися знизу зліва, що скорочує час контакту води з сорбентом. Це, в свою чергу, призводить до зменшення ефекту очищення (рис. 3).

Збільшення висоти зони відведення води (рис. 4) призводить до того, що скорочується траєкторія руху елементарного об'єму води, який містить в собі забруднення. Це призводить до зменшення часу контакту води з зернами адсорбенту і, як наслідок, погіршення ефекту очищення

(рис. 4). Деяке покращення ефекту очищення, коли висота зони відведення сягає більше 85% загальної висоти споруди, можна пояснити тим, що чиста вода, яка є складовою суспензії адсорбенту, потрапляючи у зону адсорбції зверху справа, починає одразу відводитися з неї справа зверху, відбувається розбавлення забрудненої води.

Вплив довжини зони підведення адсорбенту на параметр ΔC незначний (рис. 5).

Покращення ефекту очищення при зменшенні довжини зони відведення води знизу (рис. 6) можна пояснити тим, що, при цьому, у дна споруди, горизонтальна складова швидкості направлена вліво і частки адсорбенту, які зносяться потоком вправо у верхній частині споруди, в нижній частині повертають ліворуч і, таким чином, збільшується траєкторія їх руху і час контакту води з адсорбентом (рис. 6).

Отже, за допомогою розробленої математичної моделі процесу вилучення розчинених органічних забруднень адсорбцією в запропонованій споруді, були обґрунтовані її раціональні параметри:

- витрата води $Q_{V2} = 65 \div 70\%$ загальної витрати, що відводиться із споруди;
- висота зони підведення води $H_1 \approx 20\%$ загальної висоти споруди;
- висота зони відведення води $H_2 \approx 20\%$ загальної висоти споруди;
- підведення адсорбенту L_1 відбувається по всій довжині споруди;
- довжина зони відведення води знизу $L_2 \approx 20\%$ загальної довжини споруди.

Висновки. Розроблена математична модель процесу адсорбції в споруді для ре-

алізації перехресної та протиточної адсорбції, яка дозволяє досліджувати вплив різних факторів на ефективність її роботи. Показана можливість обґрунтування раціональних конструктивних і технологічних параметрів запропонованої споруди.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.
2. Карагяур А. Теоретическое обоснование усовершенствования сорбционной очистки воды / А. Карагяур // MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin, 2013. – Vol. 15, № 6. – Р. 35-42.
3. Теоретические основы очистки воды / [Н.И. Куликов, А.Я. Найманов, Н.П. Омельченко, В.Н. Чернышев]. – Донецк: Изд-во «Ноулидж» (Донецкое отделение), 2009. – 298 с.
4. Эпоян С.М., Карагяур А.С., Бабенко С.П. Применение центробежных устройств при подготовке питьевой воды из поверхностных источников: Монография. – Харьков: ХНУСА, ООО «ТО Эксклюзив», 2016. – 168 с.
5. Метод численного решения уравнений Навье-Стокса в переменных скорости-давление / [Е.В. Бруязкий, А.Г. Костин, Е.И. Никифорович, Н.В. Розумнюк // Прикладна гідромеханіка. – 2008. – Т. 10, № 2. – С. 13-23.
6. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. – М., Химия, 1984. – 592 с.
7. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980. – 616 с.

Рецензент: д-р техн. наук С.С. Епоян