

Згідно досліджень, концентрація іонів калію K^+ та іонів хрому Cr^{3+} зменшується з часом, тобто відбувається їх сорбція із стічних вод глауконітом, причому сорбція іонів хрому відбувається дещо краще, оскільки залишкова концентрація іонів хрому менша.

Висновки

Перспективність та ефективність застосування природних мінеральних сорбентів, зокрема глауконіту для очищення стічних вод підтверджується його перевагами перед іншими сорбентами, а саме: вони виграють у доступності, собівартості, в можливості регенерації та багаторазового використання. Проведені дослідження підтвердили доцільність застосування природних глауконітів для очищення стічних вод від іонів хрому(III) і калію та можливість застосування теорії мономолекулярної адсорбції для розрахунку процесу.

Експериментальні дослідження показують, що незалежно від концентрації іонів хрому в стічних водах шкіряного виробництва максимальне поглинання відбувається за 5 – 6 годин. З підвищенням температури від 20°C до 60°C швидкість поглинання іонів хрому(III) зростає в 1,5 рази. Встановлена залежність між кількістю адсорбенту та залишковою концентрацією іонів хрому в стоках, а саме: чим більша кількість адсорбенту, тим швидше поглинаються іони хрому. Визначено числове значення адсорбційної ємності, що складає 927 м²/г.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Запольський А.К., Мішкова-Клименко М.А., Астрелін І.М. та ін. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.
2. Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для студентов ВУЗов. – Изд. 4-е, доп. и перераб. – М., 2006. – 704 с.
3. Когановский А.М. Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод. – К.: Наукова думка, 1983. – 236 с.

УДК 532.63

Радовенчик Я.В., Гомеля М.Д. (Україна, Київ)

НАУКОВІ ЗАСАДИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ МАТЕРІАЛАМИ З КАПІЛЯРНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Одним з перспективних напрямків в процесах водоочистки та водопідготовки є використання фізичних явищ. Найбільш цікавим, з цієї точки зору, є так званий капілярний ефект, використання котрого дозволяє розробляти прості, автономні, енергоощадні та високоефективні системи очищення природних та стічних вод. Проведений огляд наукових публікацій в даній галузі не виявив розробок з використанням в технологіях очистки води матеріалів з капілярними властивостями. З іншого боку, не виявлено і публікацій, котрі б заперечували таке використання.

В попередніх роботах нами була обґрунтована можливість та доцільність використання явища капілярного підйому рідини для процесів очищення води від твердих часток та нафтопродуктів [1].

Метою нашої роботи було теоретичне обґрунтування та практичне підтвердження математичних залежностей основних складових, що описують процес фільтрування з використанням капілярних матеріалів. Отримані результати дозволили отримати ряд основних математичних закономірностей, використовуючи котрі, можна теоретично розрахувати основні параметри та характеристики для капілярних матеріалів. Використання отриманих закономірностей дозволяє визначити ключові параметри при виборі капілярного фільтру.

Капілярний ефект передбачає підняття стовпчика рідини по трубках незначного діаметру (капілярах) під дією сил поверхневого натягу. Причому, чим менший діаметр капіляра, тим більша висота підняття рідини в ньому. Цей фізичний ефект є основним в забезпеченні нормального перебігу біохімічних процесів для більшості живих організмів, в тому числі і для людини. В загальному випадку висота (h), на яку піднімається стовпчик рідини в капілярі, визначається з рівняння [2]:

$$h = 2 \cdot \delta \cdot \cos \theta / \rho \cdot g \cdot r,$$

де δ — коефіцієнт поверхневого натягу рідини, θ — крайовий кут змочування рідиною стінок капіляра, ρ — густина рідини, g — прискорення вільного падіння, r — радіус капіляра.

Як видно з приведеного рівняння, при інших однакових умовах, висота підняття рідини обернено пропорційна радіусу капіляра. Зменшуючи радіус капіляра можна збільшувати висоту підняття рідини. Досить ефективно капілярні явища реалізуються, наприклад, в ґрунтах, де вода через пори може підніматися на значні відстані від дзеркала. Так, при розмірах частинок ґрунту 0,01 ÷ 0,05 мм, висота підняття води перевищує 2000 мм [3]. Разом з тим, цілком очевидно, що зменшення радіусу капіляра буде супроводжуватись зміною швидкості руху рідини в ньому, що є досить суттєвим з точки зору технології очищення води, оскільки обмежує загальну продуктивність процесу. Зважаючи на те, що до сьогодні в наукових працях оцінка таких змін не проводилась, є сенс розглянути це питання більш детально.

При заповненні капіляра рідиною, що змочує його стінки ($\theta < 90^\circ$), в капілярі (в результаті взаємодії рідини з поверхнею стінок) формується ввігнута поверхня. Рух рідини в капілярі буде визначатись балансом сил

тяжіння (F_T) та поверхневого натягу (F_H). Очевидно, що для визначеної висоти рідини в капілярі (h) різниця тисків (P), прикладена до дзеркала води в посудині та точки в капілярі на висоті h буде описуватись рівнянням:

$$P = (F_H - F_T) / S,$$

де S — площа поперечного перерізу капіляру, $S = \pi \cdot r^2$.

Сила земного тяжіння буде визначатися як вага стовпчика рідини в капілярі:

$$F_T = m \cdot g = \pi \cdot r^2 \cdot g \cdot \rho.$$

Сила поверхневого натягу може бути визначена як $F_H = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \delta \cdot \cos \theta$. Тоді:

$$P = (2 \cdot \pi \cdot r \cdot \delta \cdot \cos \theta - \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot \rho \cdot g) / \pi \cdot r^2 = (2 \delta \cos \theta - r \cdot h \cdot \rho \cdot g) / r. \quad (1)$$

Згідно формули Пуазейля [4], швидкість руху рідини в капілярі визначається рівнянням:

$$V = P \cdot r^2 / 4 \cdot \eta \cdot h.$$

Підставляючи в рівняння значення P , отримаємо:

$$V = (2 \cdot \delta \cdot \cos \theta - h \cdot \rho \cdot g) \cdot r^2 / 4 \cdot \eta \cdot h \cdot r = (2 \cdot \delta \cdot \cos \theta \cdot r - h \cdot \rho \cdot g \cdot r^2) / 4 \cdot \eta \cdot h. \quad (2)$$

Як відомо, продуктивність одного капіляра (Q) буде визначатись залежністю $Q = V \cdot S$, яка після підстановки значень набуває вигляду:

$$Q = (2 \cdot \delta \cdot \cos \theta \cdot \pi \cdot r^3 - h \cdot \rho \cdot g \cdot \pi \cdot r^4) / 4 \cdot \eta \cdot h = \pi \cdot r^3 \cdot \delta \cdot \cos \theta / 2 \cdot \eta \cdot h - \pi \cdot r^4 \cdot \rho \cdot g / 4 \cdot \eta.$$

Для підтвердження адекватності отриманих залежностей була проведена їх експериментальна перевірка. В якості капілярного фільтра використовували джгут з бавовняних ниток загальною товщиною 0,9 см. В процесі експерименту змінювали значення параметру h , визначаючи об'єм рідини, що транспортується капілярним фільтром за визначений час (рис. 1).

На основі отриманих результатів розраховували швидкість руху рідини в капілярному фільтрі та будували залежність зміни швидкості води від висоти підняття її в капілярі (рис. 2).

Для аналогічних умов було побудовано на основі формули (2) теоретичну залежність між вказаними параметрами. Як видно з рис. 2, отримана залежність адекватно описує зміну швидкості руху води в капілярі в залежності від висоти її підняття.

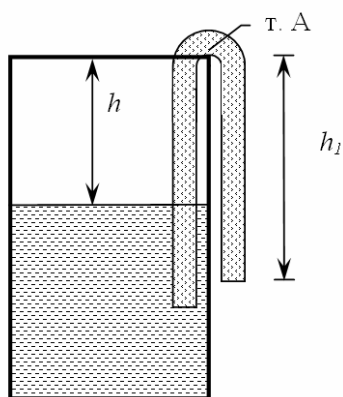


Рис. 1. Схема транспортування рідини в капілярному фільтрі

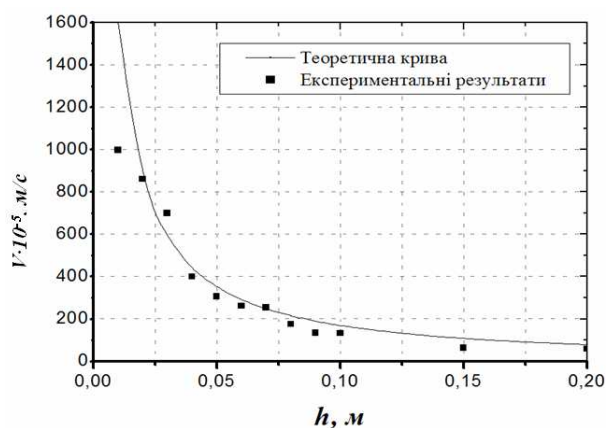


Рис. 2. Залежність швидкості руху рідини в капілярах від висоти її підняття

В загальному випадку в елементарному капілярі гілки, зануреної в посудину з рідиною (рис. 1), буде створюватись тиск, що описується формулою (1). Під дією цього тиску та поверхневих сил буде заповнюватись і інша гілка капіляра. При цілковитому її заповненні тиск в ній буде змінюватись у відповідності із залежністю:

$$P_1 = \frac{2 \cdot \delta \cdot \cos \Theta - r \cdot h_1 \cdot \rho \cdot g}{r},$$

де h_1 — відстань між верхньою та нижньою точками капіляру.

Цілком очевидно, що рух рідини в капілярі буде спостерігатись лише у випадку, коли $P \neq P_1$. Як впливає з приведених вище міркувань та відповідних математичних перетворень, в точці капіляра на рівні краю посудини:

$$\Delta P = P - P_1 = (h_1 - h) \cdot \rho \cdot g . \tag{3}$$

Як видно з отриманої залежності, можливі кілька характерних режимів перетікання рідини. У випадку, коли $h_1 < h$, ΔP матиме від'ємне значення, що свідчить про вакууму в т. А та про відсутність руху води через капіляр з посудини за її межі. При цьому, занурення кінця зовнішньої гілки капіляра в іншу посудину з водою буде супроводжуватись рухом рідини в зворотному напрямку, тобто, в основну посудину. При $h_1 = h$ обидві гілки капіляра повністю заповнюються рідиною і перебувають в рівновазі, оскільки $\Delta P = 0$, сили поверхневого натягу перешкоджають руху рідини за межі зовнішньої гілки капіляра і її транспортування не спостерігається.

Очевидно, що лише у випадку $h_1 > h$ буде спостерігатись рух рідини за межі посудини. Рушійною силою в цьому випадку буде позитивне значення ΔP , котре, в свою чергу, буде викликане різницею мас стовпів рідини в обох гілках капіляра.

На рис. 3 приведено залежність ΔP від різниці Δh ($h_1 - h$). Оскільки виміряти тиск в пористому середовищі досить важко, для перевірки достовірності отриманої залежності ми використовували вимірювання швидкості руху води в капілярах. Як видно із (2), швидкість руху води в капілярі пропорційна зміні тиску в ньому. Швидкість руху рідини визначали шляхом ділення витрати води, котру безпосередньо вимірювали, на площу поперечного перерізу джгута. Як видно з рис. 3, зміна швидкості та різниці тисків практично підпорядковані одній і тій же залежності.

Варто також зауважити, що висота підняття рідини в капілярі обернено пропорційна радіусу капіляра. Залежність швидкості руху води в капілярі від його радіусу більш складна (2). Очевидно, що представлена залежність (2) має екстремум, котрий відповідатиме максимальному значенню швидкості руху рідини в пористому середовищі. З практичної точки зору знання величини радіусу капіляру для максимального значення швидкості дозволить максимально використовувати можливості фільтрування з використанням капілярних матеріалів. Розрахована залежність (2) показана на рис. 4. Як видно з рисунка, на залежності дійсно спостерігається досить чіткий екстремум, а рух рідини реалізується в досить вузькому діапазоні зміни радіуса капіляра r . Залежність (2) дозволяє визначити радіус капіляра, при котрому рух води в ньому взагалі не спостерігається. Якщо припустити, що $V=0$, то:

$$2 \cdot \delta \cdot \cos \Theta \cdot r - h \cdot \rho \cdot g \cdot r^2 = 0 .$$

Очевидно, що представлене рівняння має два корені, одним з яких буде значення $r_1=0$. Провівши нескладні математичні перетворення, отримаємо: $2 \cdot \delta \cdot \cos \Theta - h \cdot \rho \cdot g \cdot r = 0$. Тоді: $r_2 = \frac{2 \cdot \delta \cdot \cos \Theta}{\rho \cdot g \cdot h}$.

Для вказаних вище параметрів $r_2=0,265$ мм. Таким чином, рух рідини при вказаних параметрах, буде спостерігатись при зміні радіусу пор в діапазоні $r = 0 \div 0,265$ мм. Для визначення радіусу пор, при котрому спостерігається максимальна швидкість руху рідини достатньо знайти похідну для рівняння (2) і, прирівнявши отриманий вираз до 0, визначити значення r .

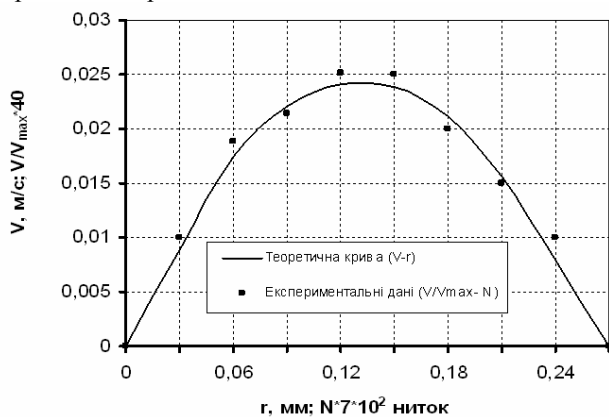


Рис. 4. Залежність швидкості руху рідини в капілярі від радіуса капіляра

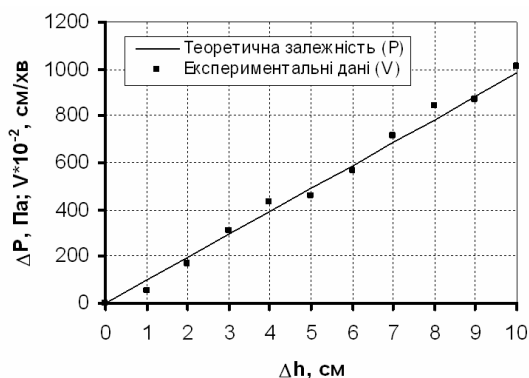


Рис. 3. Залежність різниці тисків в гілках капіляра від різниці параметрів h_1 та h

Проведені розрахунки показують, що максимальна швидкість руху води в капілярі спостерігається при $r=0,1327$ мм. Аналогічним чином можна розрахувати оптимальний радіус пор для різних умов та матеріалів з капілярними властивостями.

Для підтвердження отриманої залежності було проведено наступний дослід. Перфоровану пластикову трубку діаметром 4,5 мм поступово заповнювали джгутом, сформованим з бавовняних ниток №40. Поступово кількість ниток у джгуті збільшували, фіксуючи точку, коли починався рух рідини при збереженні постійними інших параметрів. Кількість ниток в джгуті збільшували до тих пір, доки рух рідини в ньому не припинився. Вимірявши витрату води, визначали швидкість її в пористому середовищі.

Сумістивши шкалу кількості ниток з діапазоном зміни радіуса пор при теоретичних розрахунках та виразивши всі виміряні швидкості в долях від максимального значення, отримали ряд експериментальних точок, котрі досить точно корелюють з теоретичною кривою. Тому можна вважати, що залежність (2) адекватно описує вплив радіуса капіляра на зміну швидкості руху рідини в ньому.

Проведені дослідження дозволили визначити залежності для розрахунку головних параметрів процесів очищення води капілярними матеріалами. Визначено залежність інтенсивності руху рідини в капілярі від його радіуса, що дає можливість визначати умови максимальної продуктивності фільтрів на пористих матеріалах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Радовенчик Я. В. Очищення води з використанням матеріалів з капілярними властивостями/ Радовенчик Я. В., Гомеля М. Д. // Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. - 2009.- №2.- С. 37-39.
2. Сумм Б.Д. Физико-химические основы смачивания и растекания / Сумм Б.Д., Горюнов Ю. В. — М.: Химия, 1976.-232 с.
3. Радовенчик В.М. Основи гідрології суші та океанології: Навч. посібник / Радовенчик В.М., Гомеля М. Д., Омельчук Ю.А. — Севастополь: СНУЯЕ та П, 2008.- 176 с.
4. Ромм Е.С. Особенности электрокинетических явлений в тонких капиллярах / Ромм Е.С. // Коллоидный журнал. 1979.- XLI, №5. — С. 895-901.

УДК 622.793.5

Рисухін В.В., Носачова Ю.В., Гомеля М.Д. (Україна, Київ)

ВИЛУЧЕННЯ СУЛЬФАТ-ІОНІВ З ВОД З ПІДВИЩЕНИМ РІВНЕМ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ ПРИ ЇХ РЕАГЕНТНОМУ ПОМ'ЯКШЕННІ

Стічні води багатьох підприємств містять підвищену кількість сульфат-іонів, ГДК яких в водах питного та господарсько-питного призначення складає 500 мг/дм³, а для рибогосподарських водоймищ – 100 мг/дм³. Проблема доочищення стічних вод від сульфат-іонів до значення ГДК актуальна для підприємств вугільної промисловості, де відкачують великі об'єми шахтних вод [1]. Постійний перехід гірничих робіт на більш глибокі горизонти і ускладнення при цьому гідрогеологічних умов призводять до подальшого збільшення об'ємів та забрудненості супутніх вод різноманітними речовинами. На сьогодні шахти Донбасу відкачують все більш мінералізовані води з гірських виробіток. Не припиняється відкачування води із закритих шахт.

Великі об'єми стічних вод забруднених сульфат-іонами утворюються при зворотньо осмотичному очищенні. Ступінь вилучення перміату суттєво впливає на об'єми і якість концентрату. Якщо пріоритетною є задача мінімізації об'ємів стоків, що утворилися (концентратів), ступінь вилучення перміату максимально підвищується, проте загострюється проблема вивозу та утилізації розсолу (концентрату).

Також гостро стоїть проблема очистки стічних вод від сульфат-іонів в кольоровій металургії (підвідвальні води, стічні води збагачувальних фабрик), стічні води виробництва сірчаної кислоти, поверхневі стічні води, а також у виробництві сульфовугілля, силікагелю, скла, мінеральних добрив.

Аналіз попередніх досліджень

До теперішнього часу більшість наукових та експериментальних робіт в галузі очистки високо мінералізованих вод були направлені на первинну очистку шахтних вод, їх освітлення, знезараження, демінералізацію та нейтралізацію. Очистка шахтних вод провадиться механічними, хімічними, фізичними та біологічними методами. При хімічних методах очистки води застосовують реагенти для зміни хімічного складу забруднювача або форми їх знаходження в стоках (коагуляція, флокуляція, нейтралізація, знезараження). Фізичні методи - це вилучення та знезараження домішок шляхом зміни агрегатного стану води, вплив на стоки ультразвуком, ультрафіолетовими променями, екстрагентами. Біологічні методи призначені для очистки води, яка містить забруднення біогенного органічного походження. Освітлення шахтних вод відбувається механічними та хімічними методами в дві стадії: освітлення та фільтрування. Застосування відомих методів (термічних, реагентних, іонообмінного фільтрування, зворотного осмосу, електродіалізу) або не завжди дає необхідний ефект, або не є економічно виправданим. Тому актуальним є удосконалення відомих і розробка нетрадиційних методів демінералізації вод. Застосування вапнування забезпечує сприятливі зміни основних показників якості води, що призводить до економії кислоти та лугу при наступному знесоленні води методом іонного обміну, тобто зменшенню об'ємів регенераційних стоків. Реагентний метод – надійний, проте не завжди призводить до демінералізації води. Тому пропонується використовувати доочистку стічних вод на іонітах. Іонний обмін - ефективний метод знесолення, але в ході регенерації іонітів з'являються ще більш мінералізовані стоки. Одним з прогресивних напрямків вирішення цієї проблеми є електрообробка вод шляхом накладення зовнішнього електростатичного поля (метод електрокоагуляції). При його використанні має місце розчинення залізного або алюмінієвого аноду, утворення та осадження важкорозчинних гідроксидів, а разом з ними співосадження іонорозчинних домішок. Недоліками методу є підвищені витрати енергії та листового металу.

Зворотний осмос і електродіаліз потенційно також могли б бути використані для очистки шахтних стоків, але враховуючи високий дебет та обмеженість об'ємів переробки, використання цих методів нереальне.