

# НОВИЙ СПОСІБ ОСВІТЛЕННЯ ВОДИ ФІЛЬТРУВАННЯМ

**В. М. Радовенчик**  
Доктор технічних наук, професор\*

E-mail: dokeco@ukr.net

**А. О. Костриця**

Кафедра екології, Національний університет  
«Києво-Могилянська Академія»  
вул. Г. Сковороди, 2, м. Київ, Україна, 04655

E-mail: kostritsia@gmail.com

**Я. В. Радовенчик**

Асистент\*

E-mail: r.yar@ukr.net

**Л. В. Сіренко**

Кандидат технічних наук, доцент\*

E-mail: m.gomelya@kpi.ua

\*Кафедра екології та технології рослинних полімерів  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»  
пр. Перемоги, 37, м. Київ, 03056

*Досліджено ефективність нового способу розділення фаз з використанням матеріалів з капілярними властивостями. Встановлено визначальні фактори процесу розділення, їх вплив на інтенсивність руху рідини в поровому просторі, проведено порівняльну оцінку ефективності запропонованого способу із традиційним фільтруванням, визначено основні параметри процесу розділення при обробці суспензії бентоніту*

*Ключові слова: освітлення, фільтрування, бентоніт, матеріали з капілярними властивостями, залишкові концентрації*

*Исследована эффективность нового способа разделения фаз с использованием материалов с капиллярными свойствами. Установлены определяющие факторы процесса разделения, их влияние на интенсивность движения жидкости в поровом пространстве, проведена сравнительная оценка эффективности предложенного способа с традиционным фильтрованием, определены основные параметры процесса разделения при обработке суспензии бентонита*

*Ключевые слова: осветление, фильтрование, бентонит, материалы с капиллярными свойствами, остаточные концентрации*

## 1. Вступ

Серед усіх забруднювачів природних та стічних вод найбільш масовим можна вважати високодисперсні тверді частки різноманітної природи та походження, що негативно впливають на людину, живі організми та параметри водних об'єктів. Тому і при використанні та споживанні природних вод, і при скиді у поверхневі водойми стічних вод необхідно проводити видалення твердої фази з водного середовища. Сьогодні нормативні документи України визначають допустиму каламутність питної води на рівні 0,58 мг/дм<sup>3</sup> [1]. Допустимий вміст завислих та спливаючих речовин в стічних вод при скиді в міську каналізаційну систему, наприклад, м. Києва не повинен перевищувати 300 мг/дм<sup>3</sup> [2]. Технологічні процеси багатьох галузей промисловості використовують воду питної якості, а окремі – і більш чисту або взагалі деіонізовану [3]. Наявність у воді високодисперсних твердих часток перешкоджає ефективному її очищенню від інших забруднювачів. Тому питання розділення рідкої та твердої фаз є актуальними для багатьох галузей людської діяльності.

В попередній публікації з цього приводу нами на прикладі суспензії бентоніту розглянуто ефективність відстоювання таких вод з коригуванням рН та використанням додаткових реагентів [4]. При цьому навіть при найвищій ефективності процесу відстоювання характерні два важливих недоліки – значна тривалість

та необхідність використання додаткових реагентів, що може супроводжуватися вторинним забрудненням води. Тому наступним етапом наших досліджень було вивчення можливості використання для обробки вод з підвищеною мутністю процесів фільтрування.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Зважаючи на масове використання в сучасних технологіях процесів розділення рідкої та твердої фаз, процеси фільтрування набули значного поширення і з кожним роком продовжують розвиватися. В залежності від фільтруючого шару в процесах фільтрування використовують зернисті, сітчасті, тканинні, намивні та ін. види фільтрів [5]. При цьому фільтр може бути одношаровий чи багатшаровий, напірний, безнапірний чи вакуумний, швидкий, повільний чи надшвидкий і т. і. [6]. На сьогодні розроблено величезну кількість конструкцій різноманітних фільтрів, достатньо глибоко вивчені процеси формування пористих середовищ [7], розроблені математичні моделі процесів фільтрування в різних умовах, що дозволяє досить точно розраховувати основні параметри фільтрів та підбирати фільтруючі матеріали [8]. Разом з тим, процесу традиційного фільтрування характерні ряд значних недоліків – необхідність в складному обладнанні, високі капітальні та експлуатаційні витрати, низька продуктивність та ефективність, необхідність

періодичного очищення пористого середовища і т. п. Тому сьогодні основним напрямком розвитку в цій галузі є використання допоміжних реагентів для інтенсифікації фільтрування та розробка більш складного та ефективного обладнання, що, в загальному не вирішує існуючих проблем процесу і стимулює подальші дослідження в даній галузі.

### 3. Мета та завдання дослідження

Відносно недавно було запропоновано проводити процес розділення рідкої та твердої фаз з використанням матеріалів з капілярними властивостями [9]. На сьогодні частково розроблені наукові засади проведення такого процесу, виконані дослідження його ефективності при розділенні фаз в різних умовах та при різному складі суспензій [10, 11]. Отримані досить привабливі результати. Тому метою даної роботи було дослідження ефективності традиційного фільтрування та процесів розділення фаз з використанням матеріалів з капілярними властивостями для відділення від водного середовища часток бентоніту, які є чи не найпоширенішими забруднювачами природних вод. Автори ставили перед собою завдання визначити ефективність різних процесів розділення фаз та прийнятні умови їх застосування.

### 4. Експериментальні дослідження

Методика досліджень полягала в наступному: для досліджень готували суспензію з визначеною концентрацією твердої фази (часток бентоніту). Ефективність традиційного фільтрування визначали з допомогою звичайної лійки, в якій розміщували фільтр із паперу "біла стрічка" діаметром 15 см. 100 см<sup>3</sup> модельного розчину заливали в лійку та вимірювали зміну об'єму фільтрату в часі, а також залишковий вміст бентоніту в ньому. В процесі фільтрування рівень суспензії в лійці підтримували постійним шляхом доливання нових доз модельного розчину. Для дослідження процесів фільтрування з використанням матеріалів з капілярними властивостями склали пристрій, зображений на рис. 1. Капілярний фільтр представляв собою кілька шарів тканини шириною 20 мм та загальною товщиною 5 мм, викладених на спеціальну пластикову основу. В процесі досліджень фіксували зміну об'єму рідкої фази, що виводилася за межі ємкості та залишковий вміст бентоніту в ній. В процесі фільтрування рівень суспензії в ємкості підтримували постійним шляхом доливання нових доз модельного розчину.

На першому етапі було досліджено ефективність традиційного фільтрування. Як було встановлено (рис. 2), навіть для того, щоб відфільтрувати 1,3 мг твердої фази із 100 см<sup>3</sup> суспензії бентоніту необхідно 60 хв. часу. В міру накопичення осаду на фільтрі цей термін суттєво зростає, особливо при початковій концентрації більше 100 мг/дм<sup>3</sup>. Очевидно, що навіть при незначних початкових концентраціях твердої фази її накопичення на поверхні фільтрувального паперу приводить до суттєвого зниження інтенсивності фільтрування. З часом, незважаючи на те, що не вся рідка фаза

відділилася від твердої, фільтрування припиняється практично повністю. Для його продовження необхідно зняти з фільтру шар осаду, відмити пори від дрібних часток і відновити його фільтруючу здатність. Така низька продуктивність процесу фільтрування осадів бентоніту перешкоджає впровадженню ефективних технологій видалення їх із розчину та гальмує широке впровадження процесів на їх основі. Сьогодні розроблено багато конструкцій апаратів з промиванням фільтрів, використанням вакууму чи надлишкового тиску для відновлення його фільтруючої здатності, зміною напрямків фільтрування і т.і., але всі ці заходи значно ускладнюють обладнання та суттєво підвищують вартість розділення фаз. Позитивним моментом такого процесу є забезпечення низьких залишкових концентрацій бентоніту у фільтраті (на рівні 0,3 мг/дм<sup>3</sup>), що цілком достатньо для питних вод. Причому, залишкові концентрації при зміні початкової концентрації бентоніту в межах 13 – 104 мг/дм<sup>3</sup> не змінюються.

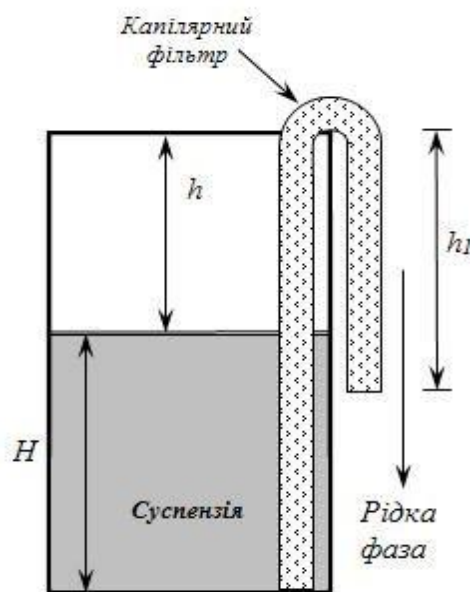


Рис. 1. Схема пристрою для розділення рідкої та твердої фаз

Суть процесу розділення фаз з використанням матеріалів з капілярними властивостями полягає в тому, що із тканини з відповідними характеристиками формується капілярний фільтр, один кінець котрого занурюється в суспензію, інший виводиться за межі посудини (рис. 1). Під дією сил поверхневого натягу рідина повністю заповнює пори тканини і при позитивній різниці рівнів  $h_1 - h$  починає скапувати за її межі. Оскільки розмір пор менше розміру часток, то вони затримуються фільтром і відділяються від рідкої фази. Збільшення концентрації твердої фази на поверхні тканини та в об'ємі суспензії навколо фільтру зумовлює утворення крупних агрегатів, котрі після нарощування необхідної маси відриваються від поверхні фільтру і опускаються в нижню частину ємкості із суспензією. Таким чином відбувається, на нашу думку, самоочищення фільтру і тривала його робота без змен-

шення продуктивності. Якщо зважити, що представлена конструкція не потребує жодних джерел живлення і технічного обслуговування, апарати, побудовані на такому принципі будуть автономними, мобільними, дешевими та ефективними.



Рис. 2. Залежність об'єму фільтрату (см<sup>3</sup>) від терміну фільтрування (хв) під час фільтрування суспензії часток бентоніту на фільтрувальному папері «біла стрічка» при різних початковій концентрації твердої фази (мг/дм<sup>3</sup>)

Раніше було встановлено, що суттєвим фактором в капілярних процесах є властивості самих капілярних матеріалів та рідин, котрі транспортуються по даних капілярах [9 – 11]. Тому подальші дослідження ставили за мету вибрати тканину, що має найбільшу продуктивність при всіх інших однакових параметрах. Як видно із рис. 3, такою тканиною є бавовна. Вона забезпечує майже у 1,5 рази більшу продуктивність, ніж ацетатна тканина, у 2 рази більшу, ніж льон та майже у 4 рази більшу, ніж штучний шовк. На нашу думку це пов'язано з тим, що в порівнянні з бавовною, волокна штучного шовку і ацетатної тканини значно відрізняються значенням крайового кута. Тому використання вказаних матеріалів у капілярних фільтрах для очищення води мало перспективне і подальші наші дослідження на модельних суспензіях проводили з використанням капілярних фільтрів саме із бавовни.



Рис. 3. Залежність об'єму фільтрату (см<sup>3</sup>) від терміну фільтрування (хв) при перетіканні води в капілярному фільтрі для різних видів тканин (поперечний переріз фільтру 20×5 мм)

В значній мірі на інтенсивність перетікання рідини в капілярному фільтрі суттєво впливають і рівень рідини в ємкості ( $h$ , рис. 1), і довжина капілярного фільтру за її межами ( $h_1$ , рис. 1). Як видно з рис. 4, при зміні параметра  $h$  в межах від 1 до 10 см продуктивність фільтру знижується майже у 8 разів. Очевидно, що при вказа-

них параметрах подальше збільшення значення параметра  $h$  супроводжуватиметься подальшим зниженням продуктивності фільтру. Очевидно також, що при  $h > 10$  см використання фільтру описаної конструкції буде малоефективним.

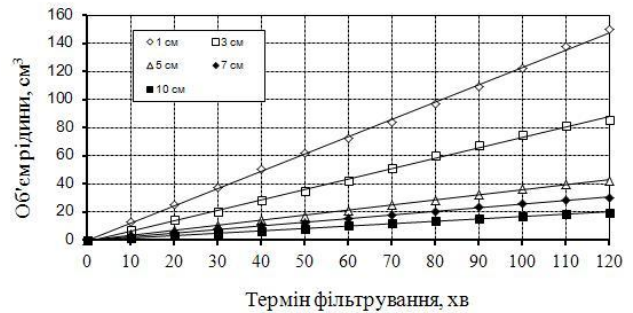


Рис. 4. Залежність об'єму рідини (см<sup>3</sup>) від терміну фільтрування (хв) в процесі відділення рідкої фази при різних значеннях параметра  $h$  (поперечний переріз фільтру 20×5 мм, вміст твердої фази – 104 мг/дм<sup>3</sup>,  $h_1 = 12$  см)

Варто також відмітити, що така ж залежність спостерігається при зміні початкової концентрації твердої фази в діапазоні 13 – 104 мг/дм<sup>3</sup>. При цьому залишкові концентрації твердої фази у відфільтрованій воді не залежать від значення параметра  $h$  та початкової концентрації твердої фази і знаходяться на рівні 0,3 мг/дм<sup>3</sup>.

Аналогічна ситуація спостерігається і при зміні параметру  $h_1$  (рис. 5). Варто відмітити, що у випадку, коли  $h_1 \leq h$ , перетікання рідкої фази за межі ємкості взагалі не спостерігається. Подальше збільшення параметру  $h_1$  призводить до практично пропорційного збільшення продуктивності капілярного фільтру. При цьому початкова концентрація твердої фази практично не впливає на інтенсивність процесу розділення фаз, а залишкові концентрації твердої фази у відфільтрованій воді, як і в попередньому випадку, не залежать від зміни значення параметру  $h_1$  в межах 3 – 13 см та початкової концентрації твердої фази і знаходяться на рівні 0,3 мг/дм<sup>3</sup>.

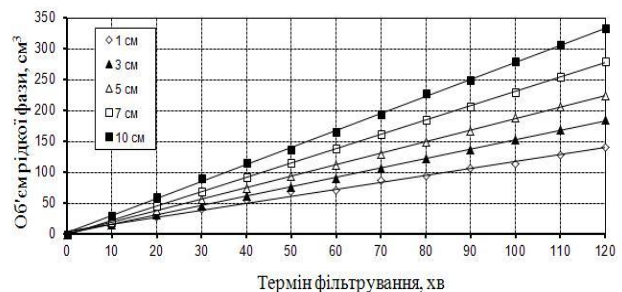


Рис. 5. Залежність об'єму рідкої фази (см<sup>3</sup>) від терміну фільтрування (хв) при процесі відділення рідкої фази при різних значеннях різниці параметрів  $h_1 - h$  (поперечний переріз фільтру 20×5 мм, вміст твердої фази – 104 мг/дм<sup>3</sup>,  $h = 3$  см)

---

## 5. Висновки

---

Проведені дослідження показали, що використання в процесах фільтрування високодисперсних суспензій матеріалів з капілярними властивостями дозволяє створювати прості, дешеві та ефективні апарати для розділення рідкої та твердої фаз. Якщо порівнювати із традиційним фільтруванням через паперові фільтри, то ефективність відділення твердої фази однакова для обох способів. Щодо інтенсивності фільтрування, то якщо розраховані на основі отриманих експери-

ментальних результатів усереднені питомі швидкості фільтрування для традиційного способу склали 0,01 – 0,02 м/год, то для способу з використанням матеріалів з капілярними властивостями вони зросли до 0,5 – 1,65 м/год. Підбираючи значення відповідних параметрів ( $h$  та  $h_f$ ), можна в широких межах змінювати продуктивність капілярних фільтрів. Зважаючи на простоту конструкції, надзвичайно низьку вартість розділення фаз, відсутність енергоспоживання описаний спосіб є досить перспективним для впровадження в промислових масштабах.

---

## Література:

1. ДСанПіН 2.2.4-171-10 "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною". - Наказ Міністерства охорони здоров'я України 12.05.2010 р. № 400.
2. Правила приймання стічних вод абонентів у систему каналізації міста Києва. – К., 2011. – 30 с.
3. Орлов, Н. С. Промышленное применение мембранных процессов / Н. С. Орлов. – М: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2007. – 365 с.
4. Радовенчик, Я. В. Освітлення природних вод з використанням флокулянтів / Я. В. Радовенчик, А. О. Костиця, В. М. Радовенчик // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. - №4. – С. 23 – 26.
5. Кульський, Л. А. Технология очистки природных вод / Л. А. Кульський, П. П. Строкач. – К.: Вища шк., 1986. – 352 с.
6. Сошников Е. В. Обработка воды фильтрованием / Е. В. Сошников, Г. И. Воловник. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2008. – 356 с.
7. Дзюбо, В. В. Формирование переменной пористости синтетических фильтрующих материалов в технологиях очистки воды / В. В. Дзюбо, Л. И. Алферова // Сантехника, 2006. - № 3. – С. 22 – 25.
8. Поляков, В. Л. О фильтровании суспензий при заданном напоре / В. Л. Поляков // Доклады НАН Украины, 2005. – № 4. – С. 48-54.
9. Радовенчик, Я. В. Очищення води з використанням матеріалів з капілярними властивостями / Я. В. Радовенчик, М. Д. Гомеля // Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. - 2009. - №2. – С. 37 – 39.
10. Радовенчик, Я. В. Вивчення умов перетікання рідини в капілярних матеріалах / Я. В. Радовенчик, В. С. Котлярова // Вос-точно-європейський журнал передових технологій. – 2010. - №6. – С. 23-25.
11. Радовенчик, Я. В. Обезвоживание осадков ферроцианидов железа / Я. В. Радовенчик, В. С. Котлярова // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2011. - №5. – С. 32-35.