

– Вип.33. – С.29-36.

10. ДСТУ 3193-95. Державна повірна схема для засобів вимірювань енергетичної освітленості некогерентним випромінюванням.; введ. 1996 – 07 – 01. – Державний комітет стандартизації метрології і сертифікації України, – С. 1-22. – (Основоположні стандарти).

11. ДСТУ 3394-96. Державна повірна схема для засобів вимірювань світлових величин.; введ. 1996-01-01. – Державний комітет стандартизації метрології і сертифікації України, – С. 1-21. – (Основоположні стандарти).

12. ДСТУ 3395-96. Державна повірна схема для засобів вимірювань енергетичної освітленості малих рівнів.; введ. 1998 – 01 – 01.. – Державний комітет стандартизації метрології і сертифікації України, – С. 1-21. – (Основоположні стандарти).

13. ГОСТ 8.023-2003. Межгосударственный стандарт. Государственная поверочная схема для средств измерений световых величин непрерывного и импульсивного излучений. – Взамен ГОСТ 8.023-90; введ. 2004 – 06 – 01. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М.: Изд-во стандартов, – С. 1 – 7. – (Основополагающие стандарты).

14. Міхеєнко Л.А. Дифузний випромінювач змінної яскравості для калібрування прецизійних цифрових відеосистем. / Міхеєнко Л.А., Шишкін В.А // . Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2009. – № 1. – С. 114-120.

15. Міхеєнко Л.А. Вторинний еталон яскравості на базі галогенної лампи з розсіювачем. / Міхеєнко Л.А., Боровицький В.М // Технологія і конструювання в електронній апаратурі. 2008. – № 3 (75). – С.61-64.

Надійшла до редакції
14.3.2011 р.

УДК 628.387

А.А. НЕСТЕР

Хмельницький національний університет

С.П. ДЕМЧИК

Національний університет водного господарства та природокористування

ФІЛЬТРУВАННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ

В статті розглянуті основні питання гальванічного виробництва (ГВ) та друкованих плат (ДП) в частині стічних вод. Проводилось вивчення процесів, які відбуваються під час фільтрації відпрацьованих стічних вод та розчинів. Дані, що наведені в статті свідчать, що при фільтруванні рідин із змінною концентрацією домішок класичні означення характерних часів фільтрування – часу захисної дії фільтра і часу досягнення граничних витрат напору, в загальному випадку неприйнятні.

The paper deals with galvanic technology and printed circuit boards relating their part in waste waters. Processes that occur during filtering waste waters and solutions have been researched. Data presented in the paper testifies the fact that during filtering liquids with variable agent concentration classic filtering timing terms – filter protective action time and time for reaching ultimate stream loss are generally unacceptable.

Ключові слова: фільтрування, друковані плати, водний розчин, утилізація, концентрація домішок.

Вступ. Відновлення водних розчинів травлення друкованих плат є однієї з головних задач у створенні замкнутих процесів використання водних ресурсів. Проходячи активною частиною технологічного процесу травлення друкованих плат, водний розчин насичується з'єднаннями міді, спроможними забруднювати значні обсяги води, веде до посиленої експлуатації очисних споруджень підприємства, збільшенню стоків на міські очисні системи.

Одним із найважливіших елементів у зменшенні економічних витрат, зменшення витрат води на технологічні потреби процесу травлення друкованих плат, є створення місцевих внутрівиробничих замкнутих циклів повторного використання водних ресурсів із виділенням і утилізацією міді. При цьому постає питання довготермінового використання розчинів в технологічному процесі. Для забезпечення такого використання необхідна постійне фільтрування розчинів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз патентної і науково-технічної літератури показав, що питаннями фільтрування відпрацьованих водних розчинів впритул не займаються. Сучасні дослідники не приділяють належної уваги розгляду та створенню апаратів, які б враховували рух рідин в різноманітних апаратах відновлення водних розчинів, де апарати розташовані на незначній відстані, як це має місце в лініях травлення друкованих плат та інших подібних технічних засобах використання води [1].

Постановка завдання. Враховуючи існуюче положення на підприємствах машинобудування доцільне створення локальних систем водного господарства окремих технологічних потоків, що містять специфічні забруднення, характерні для даного технологічного потоку, чи вузла. Це відпрацьовані миючі розчини, мастильно-охолоджуючі рідини, рідкі відходи фарбувальних камер, концентровані й промивні води гальванічних цехів [2]. Найбільшу актуальність у цьому плані представляє створення замкнутих систем водного господарства гальванічних цехів, як найбільш численних джерел утворення й скидання високотоксичних стічних вод. У той же час дослідження проведені на українських заводах

дозволили виявити цілий ряд окремих питань, що не могли бути виявлені в процесі випробувань на підприємстві-виготовлювачі. Так під час експлуатації установок відновлення через 1-1.5 місяці безперервної роботи в нижній частині травильного модуля стали накопичуватись різні речовини з плат та бруд, що вело до забруднення розчину, тому виникла необхідність встановлення фільтрів для очищення відновлених розчинів.

У реальних технологічних умовах концентрація домішкових частинок у рідинах, що фільтруються, у більшості випадків є змінною детермінованою або стохастичною. Проте, при моделюванні процесів фільтрування через пористі середовища традиційно прийнято вважати, що вона постійна. Неточність відповідних розрахунків, проведених у рамках основних математичних моделей теорії фільтрування Шехтмана [3] стосовно до процесів фільтрування рідин із змінної концентрацією домішок у більшості випадків приводить до значних матеріальних втрат.

Виклад досліджень Аналіз основних недоліків класичної моделі Шехтмана [3] показав, що ця модель, зокрема, не враховує існування стану граничного насичення завантаження осадком. В подальшому даний недолік був усунений. Проте і після цього область застосовності моделі Шехтмана залишається вкрай обмеженою численними припущеннями – постійна швидкість фільтрування і концентрація домішок у вихідній рідині, завантаження фільтра однорідне і вільне від осадку в початковий момент часу тощо. Між тим деякі з вищезазначених недоліків можуть бути усунені безпосереднім узагальненням моделі.

Мета даної роботи полягає в аналізі особливостей фільтрування рідин із змінною концентрацією домішок фільтрами, що функціонують за законами, прийнятими в узагальненій моделі Шехтмана

$$\varepsilon(x) \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = -v \frac{\partial C}{\partial x} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \beta C \left(1 - \frac{\rho}{\rho^*}\right) \quad (2)$$

$$C(x, t)|_{x=0} = C_0(t) \quad \rho_{t=0} = \rho(x) \quad (3)$$

Тут x - координата в напрямку фільтрування ($0 \leq x \leq L$), t – час, $C(x, t)$ і $\rho(x, t)$ – концентрації відповідно домішкових частинок, завислих у рідині, що фільтрується і частинок осадка, $C_0(t)$ - концентрація завислих домішкових частинок на вході фільтра, ρ^* – гранична густина насичення завантаження осадком, $\rho_0(x)$ – початковий розподіл осадка в завантаженні, $v = \text{const}$ – швидкість фільтрування, ε – пористість завантаження, β - кінетичний коефіцієнт. Від свого прототипу вона відрізняється, по-перше, наявністю у рівнянні балансу (1) члена $\varepsilon(x) \frac{\partial C}{\partial t}$, по-друге, в рівнянні кінетики (2) враховане існування стану граничного насичення завантаження осадом, по-третє, концентрація домішок у рідині, що надходить на вхід фільтра, вважається змінною, а початковий розподіл осадка $\rho_0(x)$ відмінним від нуля.

Залежність пористості завантаження від часу не враховується, тому що вона дуже повільно змінюється у вузькому діапазоні значень. (Як правило, пористість завантаження змінюється від значень порядку 0,4 до значень порядку 0,2 до кінця фільтроциклу, тобто за час більше 10 годин). Також вважається, що залежність ε від x не приводить до помітної залежності β і ρ^* від x .

Модель (1-3), застосовується лише у тих випадках, коли явищем відриву частинок осадка можна знехтувати. Дійсно, з рівняння кінетики випливає, що похідна $\frac{\partial \rho}{\partial t}$ завжди невід'ємна, навіть якщо концентрація на вході фільтра дорівнює нулю ($C_0=0$), тобто осадок у цій моделі вважається таким, що не вимивається. Інтегруючи систему (1), (2) з додатковими умовами (3), дістанемо концентрацію домішкових частинок:

$$C(x, \tau) = \frac{C_0(\tau) \exp\left(\frac{\beta}{\rho^*} \int_0^\tau C_0(\tau') d\tau'\right)}{\exp\left\{\frac{\beta}{v} \int_0^x \left[1 - \frac{\rho_0(x')}{\rho^*}\right] dx'\right\} + \exp\left(\frac{\beta}{\rho^*} \int_0^\tau C_0(\tau') d\tau'\right) - 1} \quad (4)$$

$$\rho(x, \tau) = \frac{\rho^* \left[\exp\left(\frac{\beta}{\rho^*} \int_0^\tau C_0(\tau') d\tau'\right) - 1 \right] + \rho_0(x) \exp\left\{\frac{\beta}{v} \int_0^x \left[1 - \frac{\rho_0(x')}{\rho^*}\right] dx'\right\}}{\exp\left\{\frac{\beta}{v} \int_0^x \left[1 - \frac{\rho_0(x')}{\rho^*}\right] dx'\right\} + \exp\left(\frac{\beta}{\rho^*} \int_0^\tau C_0(\tau') d\tau'\right) - 1} \quad (5)$$

Тут $\tau = t - \frac{1}{v} \int_0^x \varepsilon(x') dx'$.

$$\frac{1}{v} \int_0^x \varepsilon(x') dx'$$

Звідси видно, що часова поправка, яка дорівнює часу поширення потоку, що фільтрується, від входу фільтра до перерізу x , може бути суттєвою або на початковому етапі фільтрування, особливо при зарядці фільтра, або при сумірних з нею періодах зміни вхідної концентрації, а також у тих випадках, коли розглянута модель застосовується до опису процесів типу мембранних, з малим часом "захисної дії".

Важливою особливістю моделі (1) – (3) є те, що гранична густина насичення завантаження осадом $\rho^* = \lim_{t \rightarrow \infty} \rho = const$ не виражається через параметри і функції, що фігурують у ній. Проте, це не суперечить загальноприйнятій аналогії між процесами сорбції газів і фільтрування, у силу якої концентрація домішок у вихідній рідині $C_0 = const$ розглядається як рівновагова величині $\rho^* = const$. Дійсно, якщо в осадку, що формується, домінує вимивна фаза, то має місце зазначена аналогія. Якщо ж осадок складається в основному з не вимивної фази, то ρ^* можна вважати незалежним від закону зміни вхідної концентрації. Численні експериментальні роботи показали, що залежно від умов фільтрування співвідношення між двома можливими формами осадка коливається в широких межах, що і повинні відбивати відповідні математичні моделі.

На рис. 1-4 представлені криві, що ілюструють принципові відмінності фільтрування рідин із постійною і змінною концентрацією домішок. Розрахунки виконувалися за формулами (4), (5) у безрозмірних змінних

$$\tilde{x} = \frac{\beta x}{v}, \tau_1 = \beta t, \tilde{C} = \frac{C}{C_m}, \tilde{\rho} = \frac{\rho}{\rho^*}, T_1 = \beta T$$

для випадку $\rho_0(x) \equiv 0$ та $C_0(t) = C_m(1 + \sin \frac{2\pi t}{T})$ без урахування часової поправки $\frac{1}{v} \int_0^x \varepsilon(x') dx'$,

несуттєвої при часах фільтрування значно більших часу поширення рідини через фільтр. Вибір у якості найпростішого змінного закону зміни концентрації на вході фільтра -синусоїдального, пояснюється тим, що, власне кажучи, практично будь-яка реальна крива $C_0(t)$ може бути представлена рядом Фур'є. Гранична густина насичення ρ^* формально вважалася рівноваговою середньому значенню концентрації $C_0(t)$ рівному C_m . Такий вибір незалежного від вхідної концентрації параметра ρ^* зроблений для спрощення порівняння наведених кривих з відповідними кривими, побудованими за формулами моделі Мінца [4]. Порівняння кривих 1 і 2 вказує на можливу стрибкоподібну зміну часу захисної дії при зміні періоду коливання вхідної концентрації. Характер залежності концентрації на виході фільтра дозволяє також стверджувати, що класичне означення часу захисної дії як часу досягнення вихідною концентрацією рівня концентрації проскакування стосовно до фільтрування рідин із змінною концентрацією домішок у загальному випадку неприйнятне. Дійсно, при їх фільтруванні концентрація фільтрату коливається, а не монотонно зростає як у випадку фільтрування рідин із постійною концентрацією домішок. Тому часто мають місце технологічні ситуації, коли для запобігання значним матеріальним втратам фільтрування доцільно продовжувати і після перевищення концентрацією фільтрату рівня концентрації проскакування. Останній можна задавати як певну частину постійної складової концентрації на вході фільтра. У якості критерію для визначення моменту припинення процесу фільтрування може вибиратися припустима "потужність" викидів концентрації фільтрату над рівнем концентрації проскакування, їх частота, тривалість тощо.

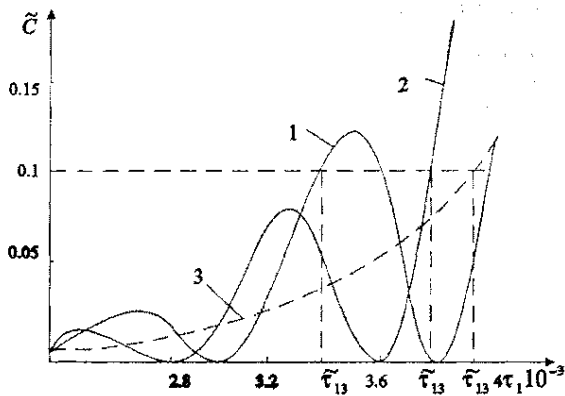


Рис. 1 Часова залежність концентрації \tilde{C} на виході фільтра ($\tilde{x} = 10$). $\tilde{C}_n = 0,1$ -рівень концентрації проскакування. Крива 1- $T_1=800$; 2-750; 3- ∞ ($C_0=C_m=const$)

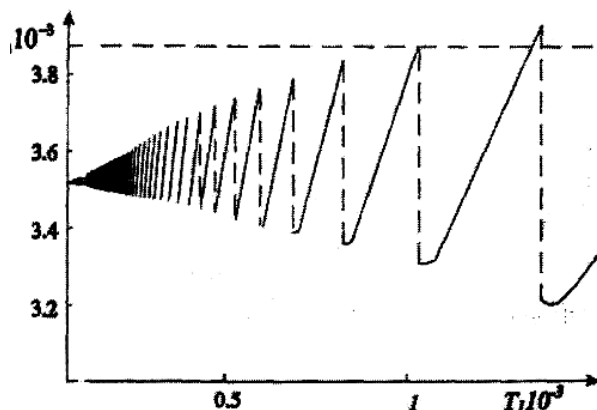


Рис. 2. Залежність часу захисної дії фільтра від періоду коливання вхідної концентрації ($\tilde{x} = 10, \tilde{C}_n = 0,1$)

Рисунок 2 дозволяє оцінити різницю величин часів захисної дії фільтра залежно від періоду $T_1 = \beta T$. Дійсно, якщо час захисної дії фільтрів при змінній вхідній концентрації визначається так само як і при постійній, рівній її середньому значенню за час, кратний періоду T_1 , то в наведеному на рис. 2 діапазоні зміни T_1 відносна помилка може досягати 17%. Природно, закон зміни вхідної концентрації може бути таким, що основна частина сімейства кривих у розглянутому діапазоні зміни T_1 йшла б вище штрихової лінії. З огляду на об'єми та вартість очищення технологічних рідин і промислових вод за допомогою фільтрів, робота яких достатньо адекватно описується моделлю Шехтмана, ясно наскільки великими є матеріальні втрати через неправильний метод визначення параметрів. Поява вигину у нижній частині крайніх праворуч кривих свідчить про неоднозначність часу захисної дії фільтра як функції T_1 . Справді, з виразу (4) випливає, що при зроблених припущеннях, значення концентрації \tilde{C} визначається, власне кажучи, середнім значенням вхідної концентрації за час τ_1 , точніше величиною $\int_0^{\tau_1} \tilde{C}_0(\tau) d\tau = \tau_1 + \frac{T_1}{2\pi} (1 - \cos \frac{2\pi\tau_1}{T_1})$.

Процес накопичення осаду в різних перерізах завантаження відображений на рис. 3. Криві густини $\tilde{\rho}$ при змінній концентрації на вході фільтра лежать вище штрихових кривих, які відповідають постійній вхідній концентрації, рівній середньому значенню $\tilde{C}_0(\tau)$ за час кратний періоду T_1 . Це пояснюється тим, що середнє значення $\tilde{C}_0(\tau)$ за довільний проміжок часу більше або дорівнює середньому за час кратний періоду T_1 . У точках кратних періоду T_1 зазначені криві дотикаються. Пологі ділянки кривих $\tilde{\rho}$, які відповідають від'ємній півхвилі синусоїди $\sin \frac{2\pi\tau_1}{T_1}$ свідчать, що осадок не вимивається. Дійсно, для будь-яких \tilde{x} значення $\tilde{\rho}$ не спадають навіть при нульовій вхідній концентрації, що має місце в точках $\tau_1 = \frac{3}{4}T_1 + 2k\pi$, де $k=0,012$. Розподіл концентрації \tilde{C} по висоті завантаження в різні моменти періоду коливання вхідної концентрації показаний на рис. 4.

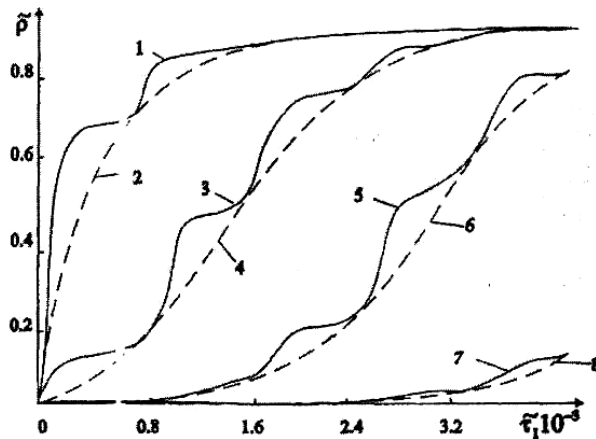


Рис. 3. Залежність щільності насичення завантаження осадом $\tilde{\rho}$ від часу при $T_1=800$

(-----) і $C_0 = \text{const}$ (-----). Криві 1, 2- $\tilde{x} = 0$; 3, 4-3; 5, 6-6; 7, 8-10

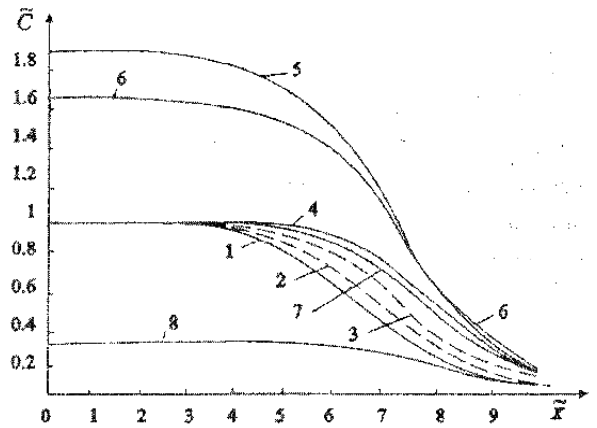


Рис. 4. Розподіл концентрації \tilde{C} по \tilde{x} у різні моменти періоду T_1 (-----) і $C_0 = \text{const}$ (-----). Крива 1- $\tau_1 = 3200$; 2-3400; 3-3600; 4-4000; 5-3400; 6-3500; 7-3600; 8-3700

У моменти часу τ_1 , рівні 3200 і 4000, що відповідають нулям синусоїди $\sin \frac{2\pi\tau_1}{T_1}$ середні значення вхідної концентрації за час τ_1 , і за час кратний періоду T_1 співпадають. Тому криві при змінній і постійній вхідній концентрації в ці моменти часу також співпадають. Максимальні відмінності концентрацій \tilde{C} у двох випадках, що розглядаються, мають місце при $\tau_1 = 3400$ і 3800 . У момент $\tau_1 = 3800$ концентрація \tilde{C} в усіх точках завантаження фільтра і на його вході стає рівною нулю. Це пояснюється тим, що "різницею фаз" концентрацій на вході і виході фільтра в нашому випадку можна знехтувати, оскільки час поширення рідини через фільтр рівний $\varepsilon L / \nu$ значно менший періоду T_1 . Дійсно, $T_1 \gg \varepsilon L / \nu$ оскільки $T_1 = \beta T = 800 \gg (\varepsilon \beta L / \nu) = \varepsilon \tilde{L}; \tilde{L} = 10, \varepsilon < 1$. З тієї ж причини на кривих розподілу концентрації \tilde{C} ,

рис. 4, і густини $\tilde{\rho}$ рис. 5, по x у різні моменти часу не видно пульсацій, обумовлених коливаннями концентрації $\tilde{C}(\tau_1)$. Щоб не ускладнювати рис. 4, на ньому не показані криві розподілу \tilde{C} для $\tau_1=3500$, 3700, 3800 при постійній вхідній концентрації, оскільки ясно, що вони б лежали у вузькій області між штриховою кривою $\tau_1=3400$ і суцільною кривою $\tau_1=4000$.

Висновки. На підставі вищевикладеного можна зробити наступні основні висновки:

1. При фільтруванні рідин із змінною концентрацією домішок класичні означення характерних часів фільтрування – часу захисної дії фільтра і часу досягнення граничних втрат напору, в загальному випадку неприйнятні.

2. Щоб уникнути значних матеріальних втрат неприпустимо робити розрахунок фільтрів при змінній концентрації так саме як і при не змінній.

3. Коефіцієнт заповнення завантаження може суттєво залежати від спектрального складу вхідної концентрації.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження в даному напрямку, в нашому розумінні, повинні бути направлені на дослідження системи з метою відбору найкращих економічно вигідних матеріалів для забезпечення постійного активного регулювання технологічного процесу та параметрів водного розчину з метою отримання позитивних результатів повторного використання водного розчину.

Література

1. Виговська Т.В. Відходи як фактори екологічної небезпеки/ Т.В. Виговська // Вісник ТУП. – 2002. – № 4. – ч.3. – С.153– 158. – Бібліограф.: с.158
2. Гибкие автоматизированные гальванические линии / [Зубченко В.Л., Захаров В.И., Рогов В.М. и др.]; Под общей редакцией В.Л. Зубченко. – М.: Машиностроение. – 1989. – 672 с. ил., табл. – Бібліограф.: с.661– 671. – ISBN 5-217-00391-X.
3. Шехтман Ю.М. Фильтрация малоконцентрированных суспензий/ Ю.М Шехтман // .. – М.: Издательство АН СССР, 1961. – 212С.
4. Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды/ Минц Д.М // – М.: Стройиздат, 1964. – 156 С.

Надійшла до редакції
23.3.2011 р.