

3.Ткачук О.А. Теоретичні дослідження з вдосконалення техніко-економічних розрахунків водоводів і водопровідних мереж // Вісник Українського державного університету водного господарства та природокористування: Зб. наук. праць. Вип.2 (26). – Рівне: УДУВГП, 2004. – С.301-307.

Отримано 25.10.2004

УДК 628.16

С.В.ВЕЛИЧКО

Київський національний університет будівництва і архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОРДІЄРИТОВИХ ФІЛЬТРІВ ПРИ РІЗНИХ ПИТОМИХ ВИТРАТАХ ВОДИ

На основі лабораторних досліджень встановлено залежності основних параметрів кордієритового фільтра від питомої витрати води. Розроблена математична модель процесу вилучення з води сполук заліза та визначено граничні умови її застосування.

Як відомо, якість питної води в багатьох містах і селах України не відповідає вимогам діючих ДСанПін за вмістом заліза ($C_H \leq 0,3$ мг/дм³). Для видалення цих сполук розроблено та використовується багато технологій і установок. Але всі вони мають ряд недоліків, відзначаються великою вартістю будівництва і складністю в експлуатації. Крім того, при нинішньому технічному стані водопровідних мереж навіть ідеально очищена водопровідна вода при транспортуванні її від насосної станції до споживачів повторно забруднюється і набуває якостей технічної води. Тому в розвинутих країнах цю воду доочищують безпосередньо у споживача, враховуючи ще й той факт, що для питних потреб потрібно всього 10-15% води від загального водоспоживання.

Для доочищення водопровідної води доцільно застосовувати неорганічні сорбенти природного походження, які мають відносно невелику вартість та високу селективність до іонів мікро- і макроелементів та радіонуклідів.

Наші дослідження [1-3] свідчать, що для цього доцільно використовувати кордієрит $Mg_2 Al_3 AlSi_5 O_{18} H_2 O$, який дає можливість виготовляти фільтри з комірками заданих розмірів і великою площею контакту при фільтруванні через них забрудненої води.

Нами були проведені лабораторні дослідження процесу доочищення водопровідної води від сполук заліза при фільтруванні її через фільтр з кордієритовим завантаженням, модифікованим 5% розчином діоксиду калію.

Ефективність роботи фільтра вивчали при різних витратах вихід-

ної води та відносно стабільному вмісті заліза ($C_e=0,33-0,40$ мг/дм³). При дослідженні змінювали швидкість фільтрування води, тобто змінювався час контакту води з поверхнею фільтру.

Ефективність очищення води в i -й момент часу протягом фільтроциклу визначається за формулою

$$E_{\phi.i} = \frac{C_e - C_{\phi.i}}{C_e}, \quad (1)$$

де C_e і $C_{\phi.i}$ – вміст заліза відповідно у вихідній і фільтрованій воді, мг/дм³.

Наші дослідження свідчать, що ефективність очищення води, тобто затримання її в порах фільтра, залежить від таких основних факторів

$$E_{\phi.i} = f(K_{m.i}; \delta_{\phi}; t_{\phi}), \quad (2)$$

де $K_{m.i}$ – коефіцієнт масопередачі, г/м²с, що характеризує сорбційні властивості фільтрувального завантаження в даний (i -й) момент часу; δ_{ϕ} – коефіцієнт, що характеризує структуру пор фільтрувального завантаження, тобто умови контакту вихідної води з поверхнею пор фільтрувального завантаження, 1/м; t_{ϕ} – час перебування води у фільтрі, с.

Величини δ_{ϕ} і t_{ϕ} визначаються за формулами:

$$\delta_{\phi} = \frac{\omega_k}{W_n}, \quad 1/\text{м}; \quad (3)$$

$$t_{\phi} = \frac{l_{\phi}}{V_k}, \quad \text{с}, \quad (4)$$

де ω_k – площа контакту фільтрувального завантаження з водою, м²; W_n – об'єм пор завантаження, м³; l_{ϕ} – довжина стільникового завантаження фільтра, м; V_k – середня швидкість руху води в комірках, м/с.

Між коефіцієнтом масопередачі $K_{m.i}$ та ефективністю очищення води $E_{\phi i}$ є математична залежність, яка може бути встановлена з таких міркувань.

Під час руху води через сорбційний фільтр відбувається поглинання іонів домішок, які містяться у воді.

Елементарна маса заліза, затриманого у фільтрі в i -й момент за безкінечно малий відрізок часу dt , визначається за формулою

$$dM_i' = \omega_k K_{M,i} dt, \text{ г}, \quad (5)$$

з іншого боку, від цієї маси заліза звільняється елементарний об'єм води dW_g

$$dM_i'' = dW_g (C_g - C_{\phi,i}) = Q_p (C_g - C_{\phi,i}) dt, \text{ г}. \quad (6)$$

Виходячи із закону збереження маси ($dM_i' = dM_i''$), можна прирівняти праві частини рівнянь (5) і (6), а взявши до уваги рівняння (1), можна записати:

$$\omega_k K_{M,i} = Q_p E_{\phi,i} C_g, \text{ г/с}. \quad (7)$$

Звідки

$$E_{\phi,i} = \frac{\omega_k K_{M,i}}{Q_p C_g} = \frac{1}{q_n C_g} K_{M,i}. \quad (8)$$

У цих формулах: Q_p – витрата води, яка проходить через фільтр, м³/с; q_n – питома витрата води, тобто витрата води, що припадає на 1 м² площі контакту фільтрувального завантаження з водою

$$q_n = \frac{Q_p}{\omega_k}, \text{ м/с}. \quad (9)$$

Отже, коефіцієнт масопередачі фільтра в будь-який момент часу протягом фільтроциклу можна визначити за формулою

$$K_{M,i} = q_n C_g E_{\phi,i} = q_n (C_g - C_{\phi,i}), \text{ г/м}^2\text{с}. \quad (10)$$

З формули (10) видно, що при $q_n = const$ і $C_g = const$ величина коефіцієнта масопередачі даного фільтра в i -й момент часу протягом фільтроциклу характеризується значенням якості фільтрувальної води $C_{\phi,i}$. Оскільки величина $C_{\phi,i}$ протягом фільтроциклу при постійних значеннях всіх інших факторів буде збільшуватися внаслідок вичерпання сорбційної ємності фільтра, то величина $K_{M,i}$ зменшуватиметься.

Добуток величин ω_k і $K_{M,i}$ ми називаємо інтенсивністю поглинання іонів даним фільтром в i -й момент часу, яка визначається за формулою

$$\Psi_i = \omega_k K_{M,i} = C_\epsilon Q_p E_{\phi,i}, \text{ г/с.} \quad (11)$$

З виразу (10) випливає, що якість фільтрованої води в будь-який момент часу протягом фільтроциклу можна визначити за формулою

$$C_{\phi,i} = C_\epsilon - \frac{\omega_k}{Q_p} K_{M,i}, \text{ г/дм}^3. \quad (12)$$

Як бачимо, для визначення величини $C_{\phi,i}$ необхідно знати величину коефіцієнта масопередачі в цей момент часу $K_{M,i}$, який залежить від чотирьох факторів: тривалості роботи фільтра з початку фільтроцикла t_i ; часу перебування води у фільтрі t_ϕ ; якості вихідної води C_ϵ і структури пор фільтрувального завантаження δ_ϕ :

$$K_{M,i} = f(t_i; t_\phi; C_\epsilon; \delta_\phi). \quad (13)$$

Дослідження багатofакторних функцій доцільно виконувати за методом Бокса-Уілсона [4], який дає можливість правильно вибрати потрібний план дослідів, побудувати математичне описання процесу знезалізнення води на кордієритових фільтрах та вибрати найкращий шлях до оптимуму. Процедура його пошуку полягає в поступовому наближенні до істини шляхом виконання коротких серій дослідів і будуючи за ними математичну модель.

Отже, на першому етапі досліджень приймаємо постійними для даного фільтроциклу величини: $t_\phi = const$; $C_\epsilon = const$ і $\delta_\phi = const$ і знаходимо для конкретних значень цих величин характер зміни функції $K_{M,i} = f(t_i)$ протягом фільтроциклу. Знаючи математичне описання цієї функції, можна знайти величину питомого поглинання фільтром сполук заліза за формулою

$$W_{c.n} = \int_0^{T_\phi} K_{M,i} dt, \text{ г/м}^2, \quad (14)$$

де T_ϕ – тривалість фільтроциклу, що буде відповідати моменту фільтрування води, при якому якість фільтрованої води за вмістом заліза буде задовольняти граничним нормативним вимогам ($C_{\phi,i} = C_k$). Цьому часу буде відповідати мінімальна величина ефективності очищення води ($E_{\phi,\min}$) і мінімальне значення коефіцієнта масопередачі

$(K_{m.min})$.

Сорбційна ємність фільтра для заданих умов фільтрування визначається за формулою

$$W_c = \omega W_{c.n}, \text{ Г}, \quad (15)$$

а об'єм фільтрованої води за період фільтроциклу

$$W_\phi = \sum_0^{T_\phi} Q_{p,i} t_i, \text{ М}^3, \quad (16)$$

де $Q_{p,i}$ та t_i – витрата води ($\text{М}^3/\text{с}$) та тривалість часу фільтрування води (с) між сусідніми вимірюваннями показників роботи фільтра.

Нами проведено лабораторні дослідження процесів доочищення водопровідної води від сполук заліза, результати яких наведено в табл.1-3 та на рис.1. У дослідах приймали постійними значення таких величин: $C_e = 0,37 \text{ мг/дм}^3$; $\omega_k = 1,23 \text{ м}^2$; $l_\phi = 0,7 \text{ м}$; $a = 1 \text{ мм}$; $\delta = 1,0 \text{ 1/м}$.

Таблиця 1 – Показники роботи кордієритового фільтра по незалізенню води при $q_{n,1} = 2,44 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$ і $t_{\phi,1} = 10 \text{ с}$

Тривалість фільтрування води t_i , год	Інтервал між вимірюваннями Δt_i , год	Вміст заліза у воді, мг/дм^3		Ефективність очистки $E_{\phi,i}$, %	Коефіцієнт масопередачі $K_{m,i} \cdot 10^{-6}$, $\text{г/м}^2 \cdot \text{с}$	Показники за інтервал часу Δt	
		вихідній C_e	фільтруваній C_ϕ			ΔW_e , М^3	$\Delta W_{c.n.}$, Г/М^2
2,78	2,78	0,38	0,02	94,1	8,72	0,3	0,0873
5,56	2,78	0,38	0,03	93,2	8,64	0,3	0,0865
8,33	2,78	0,38	0,03	93,0	8,62	0,3	0,0860
11,11	2,78	0,40	0,03	93,2	9,09	0,3	0,0910
13,89	2,78	0,37	0,03	91,9	8,29	0,3	0,0830
16,67	2,78	0,37	0,03	92,8	8,37	0,3	0,0838
19,44	2,78	0,37	0,03	92,1	8,31	0,3	0,0829
22,22	2,78	0,37	0,03	92,4	8,33	0,3	0,0834
25,00	2,78	0,37	0,03	91,2	8,67	0,3	0,0868
27,78	2,78	0,39	0,04	87,9	7,07	0,3	0,0708
30,56	2,78	0,33	0,05	84,8	6,83	0,3	0,0684
33,33	2,78	0,33	0,07	78,8	6,34	0,3	0,0632
36,11	2,78	0,33	0,22	40,5	3,66	0,3	0,0366
37,96	1,85	0,37	0,3	19,0	1,71	0,2	0,0114

Всього $T_\phi = 37,96$ год

4,1 1,0211

При площі перерізу руху води у фільтрі $\omega_\phi = 0,000429 \text{ м}^2$ та витратах води Q_p відповідно 108; 216; 432 л/год середня швидкість руху води в комітках v_k була відповідно 0,07; 0,14; 0,28 м/с; час контакту

фільтрувального завантаження з водою t_{ϕ} відповідно 10; 5; 2,5 с і питомі витрати води q_n відповідно $2,44 \cdot 10^{-5}$; $4,88 \cdot 10^{-5}$; $9,76 \cdot 10^{-5}$ м/с.

Таблиця 2 – Показники роботи кордієритового фільтра по знезалізенню води при $q_{n,1}=4,88 \cdot 10^{-5}$ м/с і $t_{\phi,1}=5$ с

Тривалість фільтрування води t_i , год	Інтервал між вимірюваннями Δt_i , год	Вміст заліза у воді, мг/дм ³		Ефективність очистки $E_{\phi,i}$, %	Коефіцієнт масопередачі $K_{m,i} \cdot 10^{-6}$, г/м ² с	Показники за інтервал часу Δt	
		вихідній C_e	фільтрований C_{ϕ}			ΔW_{ϕ} , м ³	$\Delta W_{c.n.}$, г/м ²
2,78	2,78	0,38	0,026	93,2	17,27	0,6	0,1728
5,56	2,78	0,38	0,031	91,8	17,02	0,6	0,1703
8,33	2,78	0,38	0,03	92,1	17,07	0,6	0,1702
11,11	2,78	0,38	0,035	90,9	17,02	0,6	0,1703
13,89	2,78	0,37	0,031	91,7	16,68	0,6	0,1669
16,67	2,78	0,37	0,032	91,4	16,49	0,6	0,1650
19,44	2,78	0,37	0,038	89,8	16,29	0,6	0,1624
22,22	2,78	0,37	0,054	85,4	15,46	0,6	0,1547
25,00	2,78	0,37	0,18	51,6	9,37	0,6	0,0938
27,80	2,78	0,36	0,3	18,9	3,42	0,6	0,0345
Всього $T_{\phi}=27,8$ год						6,0	1,461

Таблиця 3 – Показники роботи кордієритового фільтра по знезалізенню води при $q_{n,1}=9,76 \cdot 10^{-5}$ м/с і $t_{\phi,1}=2,5$ с

Тривалість фільтрування води t_i , год	Інтервал між вимірюваннями Δt_i , год	Вміст заліза у воді, мг/дм ³		Ефективність очистки $E_{\phi,i}$, %	Коефіцієнт масопередачі $K_{m,i} \cdot 10^{-6}$, г/м ² с	Показники за інтервал часу Δt	
		вихідній C_e	фільтрований C_{ϕ}			ΔW_{ϕ} , м ³	$\Delta W_{c.n.}$, г/м ²
2,78	2,78	0,38	0,031	91,8	34,05	1,2	0,3408
5,56	2,78	0,36	0,033	90,8	31,90	1,2	0,3193
8,33	2,78	0,38	0,046	87,9	32,59	1,2	0,3262
11,11	2,78	0,37	0,07	81,1	29,27	1,2	0,2929
13,89	2,78	0,37	0,164	55,7	20,10	1,2	0,2012
16,67	2,78	0,37	0,27	27,0	9,76	1,2	0,0977
17,75	1,08	0,37	0,3	18,9	6,83	0,47	0,0683
Всього						17,75	7,67 1,646

Тривалість фільтроциклу T_{ϕ} , год визначали від початку фільтрування води до моменту, коли якість фільтрованої води C_{ϕ} , мг/дм³ дорівнювала гранично припустимому значенню $C_n=0,3$ мг/дм³ [5]. У вихідній воді вміст заліза C_e змінювався від 0,33 до 0,4 мг/дм³, а у фільтрований – $C_{\phi}=0,02-0,3$ мг/дм³.

Об'єм профільтрованої води за інтервал часу між сусідніми вимі-

рюваннями досліджуваних параметрів визначався за формулою

$$\Delta W_{в.і,j} = 0,001 Q_{р,j} \Delta t_{i,j}, \text{ м}^3, \quad (17)$$

а зменшення питомої сорбційної ємності фільтра за цей же інтервал часу – за формулою

$$\Delta W_{с.п.і,j} = K_{м.і,j} \Delta t_{i,j}, \text{ г/м}^2. \quad (18)$$

З табл.1-3 видно, що для дослідження конструктивних і технологічних параметрів фільтра із збільшенням величини q_n зменшується ефективність очищення води $E_{ф.і}$ для одного і того ж терміну її фільтрування і загальна тривалість фільтроциклу $T_{ф}$, але збільшується коефіцієнт масопередачі $K_{м.і}$, загальний об'єм профільтрованої води $W_{в}$ та питома сорбційна ємність фільтру $W_{с.п.}$.

На рис.1 показано графіки зміни ефективності очистки води $E_{ф.і}$ протягом фільтроциклу при різних питомих витратах води q_n .

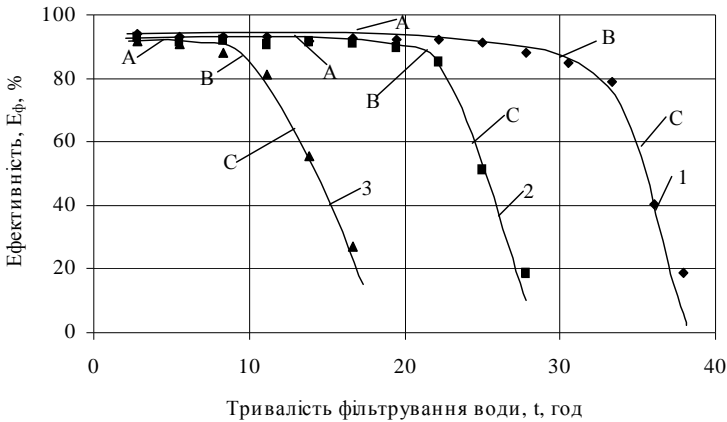


Рис.1 – Графіки зміни ефективності очистки води $E_{ф}$ у кордієритових фільтрах протягом фільтроциклу t при питомих витратах води $q_n \cdot 10^{-5}$:
1 – 2,44; 2 – 4,88; 3 – 9,76 м/с.

Дослідження показали, що в роботі кордієритових фільтрів існують три періоди: А – стабільної роботи; В – перехідний; С – втрата сорбційних властивостей.

У період стабільної роботи фільтра інтенсивність зменшення ефективності очистки води $I = -\frac{dE_{ф}}{dt}$ відносно невелика, тобто в цей період також відбувається вичерпання сорбційних властивостей фільт-

ру, але воно відбувається повільно. В період “С”, що триває всього кілька годин, відбувається швидка втрата фільтром сорбційних властивостей. В цей період фільтр необхідно відключити з роботи для заміни або регенерації.

Тривалість фільтроциклу слід планувати для періоду стабільної роботи фільтра. Тривалість цього періоду залежить від часу контакту фільтрувального завантаження з водою t_{ϕ} , тобто від питомої витрати води q_n . Із збільшенням величини t_{ϕ} (відповідно зменшенням величини q_n) тривалість фільтроциклу T_{ϕ} буде збільшуватись.

Ефективність очистки води в період стабільної роботи фільтра можна визначити за формулою

$$E_{\phi,i,j} = E_{\phi,0,j} - a_j t_i, \quad (19)$$

де $E_{\phi,0,j}$ – ефективність очистки води на початку фільтроцикла, в долях одиниці, при j -й питомій витраті води; a_j – коефіцієнт вичерпання сорбційних властивостей фільтра для j -ї питомої витрати води, 1/год; t_i – тривалість фільтрування води крізь фільтр від початку фільтроцикла, год.

Дослідження показали, що залежності $E_{\phi,0,j} = f(q_{n,j})$ і $a_j = f(q_{n,j})$ мають вигляд:

$$E_{\phi,0,j} = A - Bq_{n,j}, \quad (20)$$

$$a_j = pq_{n,j}^{\alpha}. \quad (21)$$

Користуючись даними табл.1-3 для визначення конструктивних і технологічних параметрів фільтрування, методом найменших квадратів [4] визначили значення величин A , B , p і α , що входять до цих рівнянь: $A=0,949$; $B=218$; $p=109,1$; $\alpha=0,89$.

Отже, ефективність очистки води на кордієритових фільтрах можна визначити за формулою

$$E_{\phi,i,j} = A - Bq_{n,j} - pq_{n,j}^{\alpha} t_i, \quad (22)$$

а коефіцієнт масопередачі – за формулою

$$K_{m,i,j} = q_{n,j} C_6 (A - Bq_{n,j} - pq_{n,j}^{\alpha} t_i). \quad (23)$$

Коефіцієнт масопередачі можна визначити також за формулою

$$K_{m,i,j} = K_{m,0,j} - s_j t_i, \quad (24)$$

де $K_{m,0,j}$ – коефіцієнт масопередачі для j -ї питомої витрати на початку фільтроцикла, який дорівнює:

$$K_{m.0,j} = AC_{\epsilon}q_{n,j} - BC_{\epsilon}q_{n,j}^2. \quad (25)$$

Функція $K_{m.0,j} = f(q_{n,j})$ є квадратною параболою, графік якої показано на рис.2.

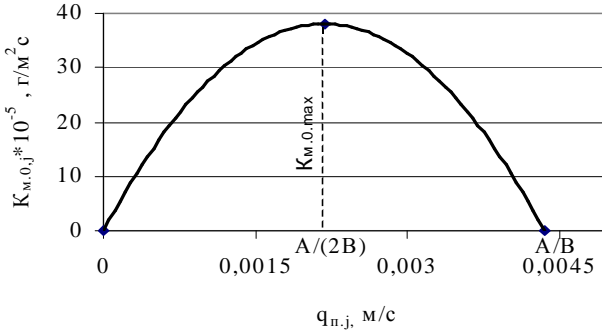


Рис.2 – Графік залежності коефіцієнта масопереносу $K_{m.0,j}$ від питомої витрати $q_{n,j}$

Аналіз цієї функції показує, що $K_{m.0,j}$ має максимальне значення при $q_{n,j \max} = \frac{A}{2B}$ і $q_n = \frac{A}{B}$ буде зменшуватися.

При

$$q_{n.зр} = \frac{A}{B} \quad (27)$$

величина $K_{m.0,j}$ дорівнюватиме нулю, тобто при такій питомій витраті води крізь фільтр затримання забруднення не буде.

$$\text{Для досліджуваного фільтра } q_{n.max} = \frac{0,949}{2 \times 218} = 0,00218 \text{ м/с і}$$

$$q_{n.зр} = 0,00435 \text{ м/с.}$$

З табл.1-3 видно, що фільтр працював у зоні оптимального застосування.

Підставивши в рівняння (25) рівняння (26), отримаємо, що коефіцієнт масопередачі кордієритового фільтра для досліджуваних умов ($C_{\epsilon}=0,37$ г/дм³) на початку фільтроцикла може мати максимальне значення:

$$K_{m.0,max} = \frac{A^2}{4B} C_{\epsilon} = \frac{0,949^2}{4 \times 218} 0,37 = 38,213 \cdot 10^{-5} \text{ г/м}^2\text{с.}$$

Максимальна витрата води крізь даний фільтр, при якій він не очищатиме воду від заліза, дорівнює:

$$Q_{p.\max} = q_{n.zp} w_k = 0,00435 \cdot 1,23 = 19,3 \text{ м}^3/\text{год.}$$

У формулі (24) коефіцієнт s_j , що враховує зменшення величини $K_{m.i,j}$ протягом фільтроциклу, визначається за формулою

$$s_j = p C_e q_{n,j}^{\alpha+1}. \quad (28)$$

Оскільки $\alpha > 0$, то із збільшенням величини $q_{n,j}$ зростатиме коефіцієнт s_j , а отже більш інтенсивно буде зменшуватись величина $K_{m.i,j}$ протягом фільтроциклу.

На рис.3 показано графіки залежності від питомої витрати води $q_{n,j}$ основних розрахункових параметрів кордієритового фільтра при середньому вмісті заліза у вихідній воді $C_e=0,37 \text{ мг/дм}^3$.

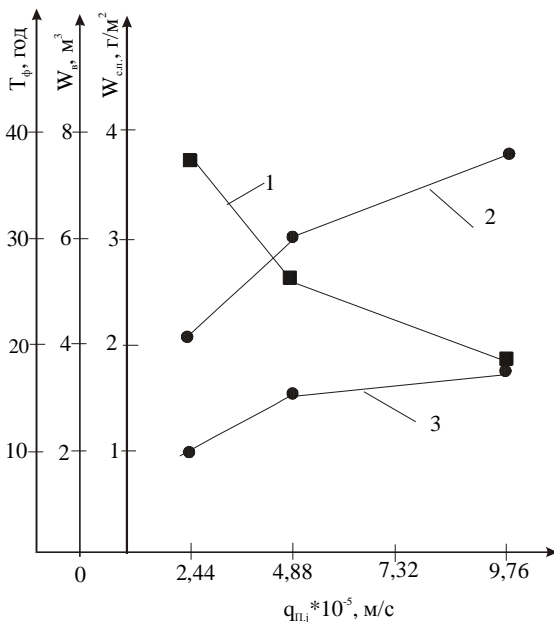


Рис.3 – Графіки залежності тривалості фільтроциклу T_{ϕ} , год (1), граничного об'єму профільтрованої води W_B , м³ (2) і питомої сорбційної ємності $W_{c.n.}$, г/м² (3) від питомої витрати води $q_{n,j}$, м/с

1.Дупляк О.В., Величко С.В. Іонообмінно-сорбційні властивості кордієриту в процесах доочищення водопровідної води // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн.

сб. Вып.27. – К.: Техніка, 2001. – С.116-120.

2.Дупляк О.В., Величко С.В. Доочищення питної води за допомогою керамічних фільтрів // Коммунальное хозяйство городов городов: Науч.-техн. сб. Вып.33. – К.: Техніка, 2001. – С.125-129.

3.Величко С.В. Доочищення водопровідної води на фільтрах із завантаженням з кордириту // Водопостачання та водовідведення, магнітоелектричне очищення води: Зб. наук. праць. Вип. 5(18). – Рівне: УДУВГП, 2002. – С.21-29.

4.Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений. – М.: Физматгиздат. 1982. – 352 с.

5.ДСанПіН Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання. Затверджено наказом МОЗ України від 23.12.96 р., №383.

Отримано 23.11.2004

УДК 628.362.34

С.И.МОВЧАН, канд. техн. наук

Таврическая государственная агротехническая академия, г.Мелитополь

Н.И.БУНИН, канд. техн. наук

НПФ „Флорэкс”, г.Мелитополь

ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

В процессе обработки промышленных сточных вод гальванического производства образуются осадки. В результате проведенных исследований и полученных результатов в промышленных условиях была апробирована технологическая схема утилизации осадков сточных вод гальванических производств. Предлагается технология по переработке гальванических шламов, содержащих ионы хрома, никеля, алюминия с получением легковесных упоров на основе алюмо-хром-фосфатных связей. Отходы этой категории соответствуют предъявляемым к ним требованиям и применение их возможно для складирования на полигонах твердых бытовых отходов, а также в процессах химической очистки воды для нейтрализации или обезвреживания промышленных сточных вод.

В процессе очистки сточных вод образуются осадки, объем которых составляет 0,5-1,0% объема сточных вод для станций совместной очистки бытовых и производственных сточных вод и 10-30% для локальных очистных сооружений. Условно осадки сточных вод можно разделить на три основные категории: минеральные, органические и избыточно активные илы. Основные задачи современной технологии обработки сточных вод и образующихся при этом осадков состоят в уменьшении их объема и последующем превращении в безвредный продукт, не вызывая загрязнения окружающей среды.

В осадках содержатся соединения кремния, алюминия, железа, оксида кальция, магния, калия, натрия, никеля, хрома и других компонентов. Большинство соединений железа способствует интенсификации процесса обезвреживания осадков и снижает расход химических реагентов на их коагуляцию перед обезвреживанием, в связи с чем утили-