

симально точно виявляються справжні знання. Об'єктивність оцінки – це її відповідність фактичним знанням.

Контроль повинен бути систематичним. Оцінка знань повинна бути не епізодичною, а систематичною та регулярною.

Форми контролю повинні бути різноманітними: це підвищить інтерес до проведення контролю та його результатів. При різних формах контролю – єдність вимог викладачів обов'язкова. Контроль повинен бути організовано так, щоб за мінімальний час за допомогою достатньої кількості завдань можна було виявити знання, вміння та навички у великої кількості студентів.

Безумовно, види контролю, їх різноманітність в певній мірі залежать від того пізнавального фундаменту, який був створений школою, від тих “залишкових знань”, з якими абітурієнт став студентом. На першій зустрічі зі студентами ми пропонуємо провести контроль для виявлення цих знань. Під час проведення контролю студенти одержують завдання з п'яти питань і протягом п'ятнадцяти хвилин працюють кожен над своїм варіантом.

Найважливішим етапом оцінювання є обговорення проведеної роботи під час практичних робіт, на семінарах та консультаціях, участь студентів у повторних оцінюваннях.

Метою подальшої роботи кафедри у цьому напрямку є розробка системи оцінювання науково-дослідник навичок магістрів.

Різні форми контролю знань за спеціальними курсами, які викладаються студентам-екологам – це пошук ефективних шляхів активізації пізнавальної діяльності студентів.

Отримано 16.09.2002

УДК 628.334.1

М.М.ПРОЛЬ, д-р техн. наук, Н.М.ПРОКОПЧУК, канд. техн. наук,
М.В.БЕРНАЦЬКИЙ

*Український державний університет водного господарства та природокористування,
м.Рівне*

МАГНІТНО-РЕАГЕНТНЕ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ В МАГНІТНИХ ВІДСТІЙНИКАХ ТА КОМБІНОВАНИХ УСТАНОВКАХ

Наведені дані лабораторних і напіввиробничих досліджень магнітно-реагентної технології очищення води від феромагнітних і парамагнітних домішок в магнітних відстійниках і комбінованих установках, а також залежності для визначення ефективності процесу очистки.

В останні роки значна увага закордонних і вітчизняних вчених надається дослідженням очищення води під дією магнітного поля, що до-

зволяє інтенсифікувати процеси коагуляції і вилучення домішок. Реалізація магнітної технології очищення води відбувається на магнітних установках, які у порівнянні з іншими апаратами мають таку вагому перевагу, як здатність пропускати через себе великі об'єми води при власних малих габаритах з високою ефективністю процесу водоочистки і відносно невеликими експлуатаційними витратами, а концентрація домішок в неочищеній воді може коливатись в широких межах (від долей мг/дм^3 до г/дм^3). На даний час найбільш повно вивчені і розроблені технологічні процеси магнітного очищення води від феромагнітних включень, які, маючи магнітні властивості, добре реагують на магнітне поле, проте на практиці в переважній більшості виникає необхідність вилучати не тільки феромагнітні сполуки, а і речовини з пара- і діаманітними властивостями, що можна здійснити за рахунок введення реагентів. Найбільше розповсюдження магнітно-реагентна технологія очищення води отримала при очистці стічних вод від різноманітних домішок, особливо це стосується вилучення іонів тяжких металів. Значно менше є відомостей щодо застосування цього методу для очистки води від завислих речовин, солей жорсткості, знезалізнення, тощо, які в звичайних умовах не взаємодіють з магнітним полем, хоча відомо, що такі окисли заліза, як магнетит (Fe_3O_4), гематит ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), магемит ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) здатні агрегатуватись з частинками діаманітних домішок: (солями жорсткості, важкими металами, фосфатами, нафтопродуктами, завислими та іншими речовинами), утворюючи агрегати "феромагнітна частинка - пластівці гідроксиду металу - завислі речовини", які добре взаємодіють з магнітним полем.

Вилучення забруднень з магнітними властивостями, як правило, ведуть на магнітних фільтрах, але такий підхід приводить до невиправданого значного скорочення тривалості фільтроциклу, коли їх вміст в очищуваній воді перевищує $2,0 - 2,5 \text{ мг/дм}^3$. У випадках, коли необхідно вести очищення води з широким діапазоном забруднень, актуальним є впровадження магнітних відстійників, які забезпечують ефективність процесу очистки у межах 90-99% при швидкості потоку води до 100 м/год. , проте на даний час є обмаль інформації про промислове впровадження подібних пристроїв.

Лабораторні дослідження по вивченню роботи магнітного відстійника проводились на експериментальній установці, схема якої показана на рис.1. До її складу входила трикутна кювета об'ємом $0,2 \text{ дм}^3$, яка, після її заповнення дослідною рідиною поміщалась між двома нахиленими електромагнітами. Використання відстійника у вигляді непаралельних пластин дає змогу створити неоднорідне магнітне поле, коли його

силовий фактор $H \cdot \text{grad}H$ (H - напруженість, $\text{grad}H$ - градієнт напруженості, що характеризує неоднорідність магнітного поля в заданому напрямку) зростає вздовж бісектриси кута до його вершини, забезпечуючи рух феромагнітних частинок в цьому ж напрямку. Динаміка зміни прозорості дослідної рідини контролювалась лазерним променем в т. К кювети, а отримана інформація фіксувалась на масштабно-координатній стрічці самописного пристрою. Модельний розчин готували введенням до дистильованої води магнетиту, а при дослідженні локалізації немагнітних речовин – розчиненням у воді бентонітової глини. Для забезпечення процесу коагуляції до модельного розчину вводили коагулянт $Al_2(SO_4)_3$, а для створення умов взаємодії продуктів коагуляції з магнітним полем – магнетит.

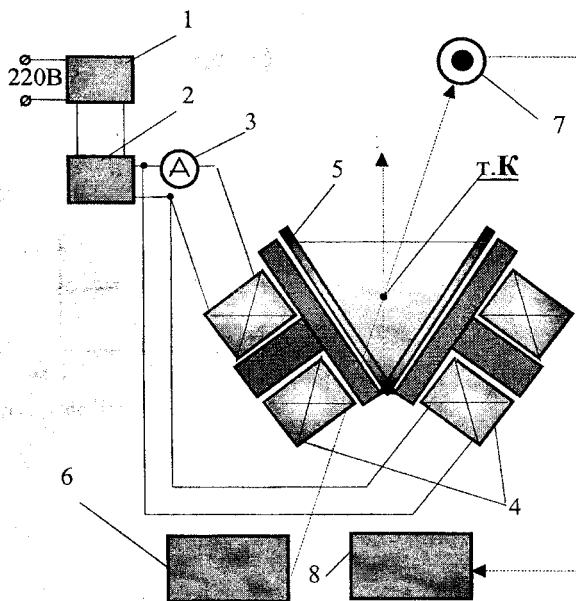


Рис. 1 – Схема лабораторної установки для дослідження локалізації домішок в магнітному полі: трансформатор; 2 – випрамляч; 3 – амперметр; 4 – електромагніти; 5 – кювета з дослідною рідиною; 6 – гелій-неоновий лазер; 7 – фотодіод; 8 – самописний пристрій; т.К – контрольна точка.

При вивченні процесу вилучення із води частинок магнетиту були отримані графічні залежності (рис.2), із яких встановлено, що інтенсивність осідання феромагнітної фракції магнетиту залежить від його початкової концентрації магнетиту у воді C_m , а також від силового

тору магнітного поля $H \cdot \text{grad}H$. Максимальний ефект прояснення Ψ також зростає із збільшенням силового фактору (при $\text{grad}H=0,88 \cdot 10^{10} \text{ A}^2/\text{M}^3$ $\Psi=82-85\%$, а при $H \cdot \text{grad}H=2,99 \cdot 10^{10} \text{ A}^2/\text{M}^3$ $\Psi=91-93\%$). Розбіжність значень величин ефекту очищення в межах $\sim 93\%$ можна пояснити тим, що до складу магнетиту крім феромагнітної фракції входять також діамагнітні та парамагнітні частинки, які же слабо реагують на магнітне поле і процес їх осідання відбувається в основному під дією сили гравітації.

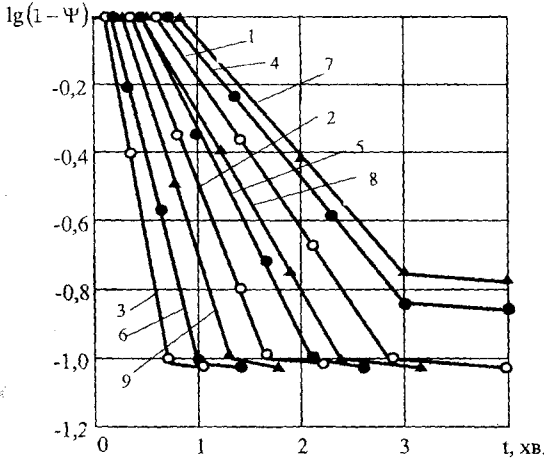


Рис. 2 – Графіки зміни в часі t логарифма ефективності прояснення води $\lg(1-\Psi)$ при $\text{pH}=7,5$ і $t^\circ=21^\circ\text{C}$
 $\circ - C_m = 1,3 \text{ г/дм}^3$; $\bullet - C_m = 1,95 \text{ г/дм}^3$; $\Delta - C_m = 2,6 \text{ г/дм}^3$;
 $1,4,7 - H \cdot \text{grad}H = 0,88 \cdot 10^{10} \text{ A}^2/\text{M}^3$; $2,5,8 - H \cdot \text{grad}H = 1,92 \cdot 10^{10} \text{ A}^2/\text{M}^3$;
 $3,6,9 - H \cdot \text{grad}H = 2,99 \cdot 10^{10} \text{ A}^2/\text{M}^3$.

В результаті математичної обробки експериментальних даних було отримано залежність (1) для визначення ефекту очищення води Ψ , коли в ній присутня тільки феромагнітна фракція магнетиту:

$$\Psi = 1 - \exp\left[n \cdot C_m^b \cdot \exp(mH \cdot \text{grad}H) \cdot (t_0 - \tau) \right], \quad (1)$$

де C_m – початкова концентрація магнетиту, г/дм^3 , хв.; n, b, m – експериментальні коефіцієнти, які дорівнюють відповідно $0,45, 0,25, 0,55 \cdot 10^{-10}$; $(t_0 - \tau)$ – термін найбільш інтенсивного осідання частинок магнетиту, коли практично досягається максимальний ефект освітлення (рис.1).

Лабораторні дослідження локалізації немагнітних і слабомагнітних домішок у магнітному полі показали, що інтенсивність цього про-

цесу залежить від цілого ряду факторів та фізико-хімічних параметрів води. Функціональну залежність магнітно-реагентного очищення води можна представити в такому вигляді:

$$\Psi = f(d_m, d_k, t^{\circ}C, H \cdot \text{grad}H, \text{pH}, C_o), \quad (2)$$

де d_m – доза магнітосприйнятливого реагенту г/дм³; d_k – доза коагулянту, мг/дм³; $t^{\circ}C$ – температура води $^{\circ}C$; $H \cdot \text{grad}H$ – силовий фактор магнітного поля, А²/м³; pH – водневий показник води; C_o – початкова концентрація завислих речовин, мг/дм³.

Дослідженнями магнітно-реагентної технології відстоювання встановлено, що ефективність цього процесу значно поліпшується при створенні оптимальних, або близьких до них, умов коагуляції. Надзвичайно важливим і домінуючим параметром є сила магнітного поля, при збільшенні якої спостерігається ріст направленої швидкості магнітних агрегатів. Крім того, при магнітно-реагентному очищенні води дози реагентів можуть бути зменшені до 30% відносно їх оптимальних значень для умов гравітаційного відстоювання.

Для умов магнітно-реагентного очищення води від завислих речовин отримано такі залежності для визначення ефекту очистки Ψ :

$$1 - \Psi = e^{-k(t_o - \tau)}, \quad (3)$$

де k – параметр, що характеризує інтенсивність процесу очистки і визначається за таким виразом

$$|k| = 4,06 \cdot C_o^{-0,29} (0,051 \text{pH} - 0,31) \cdot \exp[3,37 \cdot 10^{-11} H \cdot \text{grad}H + 0,028 d_k + 1,8 \cdot 10^{-2} (\text{pH} - 1) \cdot \exp(1,52 \cdot 10^{-11} H \cdot \text{grad}H) d_m] \times t^{(6,0 \cdot 10^7 \cdot \text{pH}^{-10} + 0,38)}. \quad (4)$$

Довжину магнітного відстійника L_o , показаного на рис.1, визначали із таких умов: відомих середньої швидкості осідання феромагнітної фракції – v_{cp} , швидкості потоку води – v_i , висоті відстійника – x_o .

$$L_o = \frac{x_o \cdot v_i}{v_{cp}}. \quad (5)$$

Середня швидкість v_{cp} осідання феромагнітних часток по висоті відстійника в процесі очистки постійно змінюється внаслідок їх накопичення на магнітних пластинах та у вершині кута (місце перетину пластин), що приводить до зменшення v_{cp} тому, що по мірі віддалення від вершини кута величина магнітного силового фактору зменшується (рис.3).

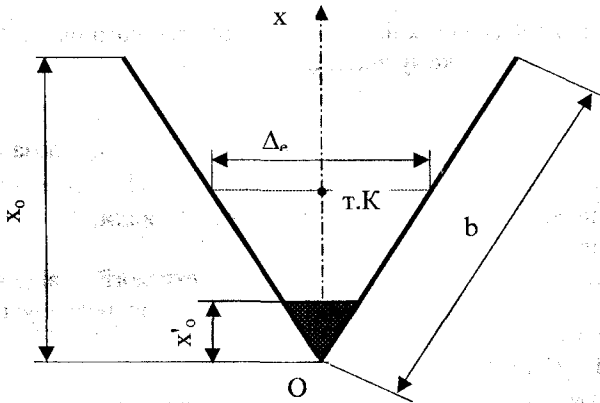


Рис.3 – Розрахункова схема для визначення довжини магнітного відстійника

У результаті математичних перетворень отримано таку залежність по визначенню довжини відстійника, а її значення приведені в табл.1.

$$L_0 = \frac{x_0 \cdot v_i}{\int_0^{x_0} \frac{\mu_0 d^2 H_e \Delta_e k_1 \cdot \gamma^{1.1}}{x_0 72 \mu_B x^3 \left[0,95 H_e \left(\frac{2x \cdot \operatorname{tg} \alpha / 2}{\Delta_e} \right)^{-0.85} \right]^{0.8} \operatorname{tg}^2 \alpha / 2} dx} \quad (6)$$

де μ_0 – магнітна константа, яка становить $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; μ_B – динамічний коефіцієнт в'язкості води (дорівнює 10 Па); k – магнітна сприйнятливність феромагнітних частинок; d – діаметр феромагнітних частинок, м; k_1 – константа ($k_1=2,6 \cdot 10^4$), γ – щільність "упаковки" феромагнітних частинок (для умов досліджень дорівнює 0,01-0,2); H_e – напруженість магнітного поля, А/м в еквівалентному зазорі Δ_e , м; α – кут між пластинами, град.

Враховуючи наведені дані розрахунку довжини магнітного відстійника, було розроблено водоочисну установку (рис.4), до складу якої входив відстійник висотою 50 см, виконаний у вигляді окремих магнітних модулів сотової структури, розміщених один над одним. Конструкція магнітних модулів забезпечувала всередині відстійника неоднорідне магнітне поле з максимальними значеннями

напруженості в місцях контакту магнітних елементів, де створюються зони підвищеного градієнта магнітного поля, в напрямку яких зростає інтенсивність і ефективність затримання феромагнітних частинок. Магнітне поле створювалось за допомогою постійних магнітів, розташованих зовні відстійника. Для отримання агрегатів з феромагнітними властивостями до води разом з магнетитом добавляли коагулянт $Al_2(SO_4)_3$, дозу якого встановлювали пробним коагулюванням. Дозу магнетиту в $г/дм^3$ в залежності від концентрації завислих речовин визначали по залежності

$$d_M = a'_0 \cdot C_0^{1/3}, \quad (7)$$

де a'_0 – експериментальний коефіцієнт, який для завислих речовин дорівнює 4,4; C_0 – концентрація завислих речовин в неочищеній воді, $мг/дм^3$.

Таблиця 1 – Дані розрахунку довжини відстійника L_0 .

Висота відстійника, X_0 , м	Швидкість руху води, V_F , м/год	Напруженість магнітного поля, H_e , кА/м	Кут між пластинами, α_0 , °	Довжина відстійника, L_0 , м
0,18	10	2	45	3,59
	15			5,38
	20			7,18
	15	40		0,148
	20			0,197
	40			0,394
0,010	10	40	60	0,098
	15		90	0,099
	20		90	0,008
	15	40	90	0,012
	20			0,016
	40			0,033

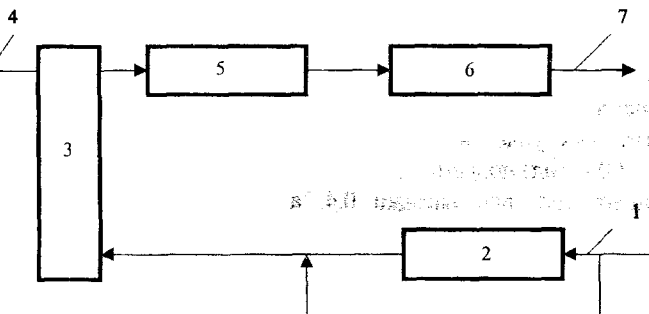


Рис. 4 – Технологічна схема магніто-реагентного очищення води:

- 1 – подача води на очистку; 2 – вузол приготування реагентів; 3 – магнітний відстійник сотової структури; 4 – подача чистої води; 5 – вузол механічного руйнування локалізованих феромагнітних агрегатів; 6 – вузол регенерації магнетиту; 7 – трубопровід вилучення іспалу.

Для поповненні втрат магнетиту, зумовленими його локалізацією разом із частинками забруднень, до технологічної схеми було включено електрокоагулятор, продуктивність якого при діаметрі катода і кількості обертів 10 см і 300 хв⁻¹, пропускній здатності по воді 1,7 дм³/хв., густині струму 25 А/дм² становила 0,6 г/хв (по магнетиту).

Результати досліджень по вилученню із води завислих речовин на магнітному відстійнику комбінованого водоочисного апарату показані на рис.5. Встановлено, що при швидкості руху води $v=5$ м/год ефективність очистки становила 96-98%, а концентрація забруднень на виході була 3,5-5,8 мг/дм³ при початковій концентрації відповідно 80 і 300 мг/дм³. При збільшенні швидкості v до 30 м/год, ефективність знижується, але і в цьому випадку вона становить 91-94%, а концентрація речовин після очистки 7,4-18,1 мг/дм³. Отримані результати свідчать про високу ефективність роботи магнітного відстійника із сотових магнітних модулів.

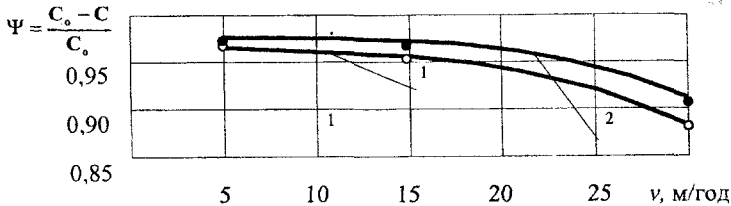


Рис. 5 – Графіки зміни ефективності очищення води Ψ від завислих речовин в залежності від швидкості води v в сотовому магнітному відстійнику при $H\text{-gradH} = 1,6 \cdot 10^9 \text{ A}^2/\text{м}^3$: 1 – $C_0 = 80 \text{ мг/дм}^3$; 2 – $C_0 = 300 \text{ мг/дм}^3$.

З метою зменшення втрат свіжеприготовленого МДМ, а також його повторного використання до складу установки вхвив вузол регенерації магнетиту механічним способом. При цьому способі регенерації промивна вода, яка включала затримані під час технологічного циклу забруднення і магнетит поступає в окремий бак, звідки з великою швидкістю ($v=180-200$ м/год) подається на магнітний фільтр з фільтруючою насадкою. Коефіцієнт упаковки насадки 0,4, а напруженість магнітного поля – 50-60 кА/м. При рухові води з великою швидкістю спостерігається процес руйнування феромагнітних комплексів, що дає можливість затримувати в магнітному фільтрі тільки частинки магнетиту, які реагують на магнітне поле і які в подальшому можна використовувати в технологічному циклі очистки води. Перевірка ефективності очищення води при багатократному (10 разів і більше) використанні магнетиту показала, що ефективність цього процесу практично не змінюється, а втрати магнітного реагенту при механі-

чний регенерації не перевищували 0,5-1%. Седиментаційні властивості регенованого магнетиту знижуються на 2-7%, що обумовлено деяким підвищенням дисперсності магнітних частинок.

Також були проведені дослідження по очищенню води магнітно-реагентним способом в магнітному відстійнику в реальних умовах від завислих речовин, солей жорсткості і розчинного заліза, результати яких наведені в табл.2.

Таблиця 2 – Результати досліджень очищення води в магнітному відстійнику полі при їх реагентній обробці

Початкова концентрація домішок C_{02} , мг/л	Доза $Al_2(SO_4)$ d_a , мг/дм ³	Доза магнетиту d_m , г/дм ³	pH	$H \cdot grad H \times 10^8$, А ² /м ³	Ефект очистки Ψ , %	Вид води
1	2	3	4	5	6	7
63	25	2,4	8,8	14	90	Стічна після вторинних відстійників
32	25	1,8	8,8	21	93	“ „
330	40	3,2	7,5	14	90	Стічна після пісколовки
6,1*	0	2,4	12	4,3	82	Із солями жорсткості
12*	0	2,4	12	4,3	86	“ „
30	25	2,4	7,5	6,2	80	р. Устя
80	0	3,2	9,8	7,4	86	Із розчинним залізом

Примітка. * Одиниця виміру в мг-екв./л

При роботі відстійників з високоградієнтним магнітним полем наряду з ефективною локалізацією феромагнітних агрегатів неферомагнітні частинки проскакують і виносяться потоком води, що очищається. Загримку таких домішок можна виконувати за допомогою звичайних фільтрувальних установок, фільтрів ФПЗ або розроблених нами комбінованих установках (рис.6). В даній установці магнітні відстійники не потребують вузлів для відведення шламу, який періодично вилучається при промивці фільтруючого шару. Те, що магнітний відстійник розміщений в зоні розширення зернистого шару сприяє змиванню феромагнітних частинок, локалізованих на магнітних модулях відстійника.

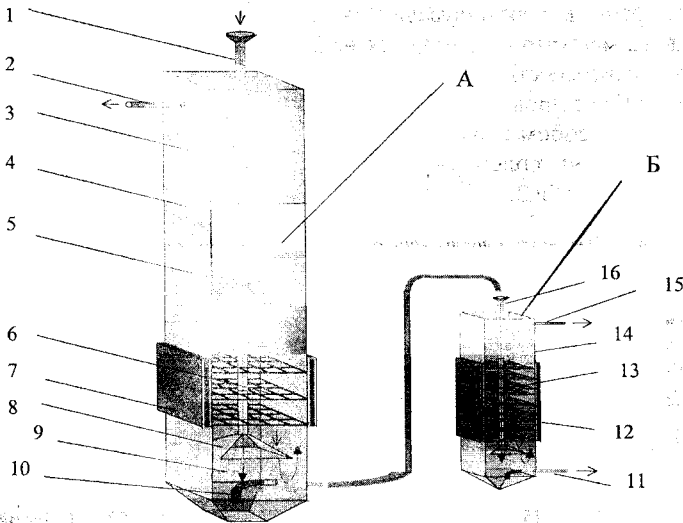


Рис. 6 – Схема комбінованої очисної установки з магнітним відстійником сотової структури:

А – комбінований водоочисний пристрій; Б – вузол регенерації магнетиту; 1 – змішувач; 2 – трубопровід очищеної води; 3 – надфільтровий простір; 4 – корпус; 5 – фільтруючий шар; 6 – сотовий магнітний відстійник; 7 – магніти; 8 – зонт; 9 – камера утворення феромагнітних агрегатів; 10 – трубопровід промивної води; 11 – трубопровід відведення регенованого магнетиту; 12 – магніти; 13 – решітчастий магнітний відстійник; 14 – корпус; 15 – трубопровід відведення діамагнітної фракції; 16 – подача на регенерацію промивної води.

Ефективність очистки води такої комбінованої установки становить 97-99,5% при швидкості руху 5-30 м/год., а залишкова концентрація завислих речовин в очищеній воді не перевищує $1,5 \text{ мг/дм}^3$ (початкова концентрація у $C_0=80-300 \text{ мг/дм}^3$) (рис.7). Також встановлено, що робота установки між циклами її регенерації при очистці води з $C_0=300 \text{ мг/дм}^3$ становить 5-6 год.

Суміщення різних технологічних процесів в одному корпусі установки дозволяє зменшити її розміри і покращити технологічні показники роботи. Ефективність локалізації завислих речовин, які не затримались магнітним відстійником, в шарі фільтруючого завантаження при швидкості фільтрування 20-30 м/год. становить 75-85%, а втрати напору при цьому за один фільтроцикл не перевищують 1 м. Одночасно із вилученням завислих речовин відбувається зниження ХПК на 65-70%, БПК – на 70-75%, фосфатів – на 80-90%.

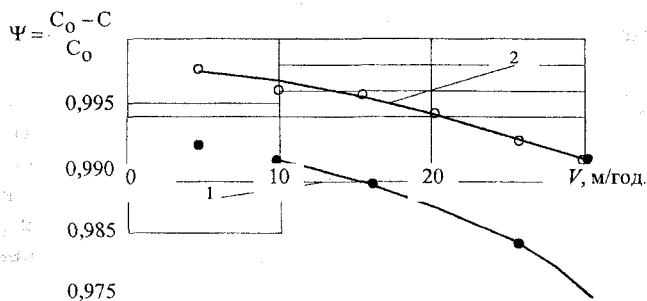


Рис. 7 – Графіки зміни ефекту очищення води Ψ від завислих речовин на комбінованій установці при зміні швидкості води v при:
 1 – $C_0 = 80 \text{ мг/дм}^3$; 2 – $C_0 = 300 \text{ мг/дм}^3$.

Отримано 19.09.2002

УДК 628.54

Н.И.КУЛИКОВ, д-р техн. наук

Донбаская государственная академия строительства и архитектуры, г.Макеевка

И.Д.ПАСТУШКОВА

Луганский политехнический колледж

СГУЩЕНИЕ ОСАДКОВ ПРОМЫВНЫХ ВОД СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ ВОДОПРОВОДНОЙ ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ

Теоретическим анализом состава подземных вод и механизма процессов взаимодействия компонентов состава воды в системе сооружений по очистке воды дано обоснование способа и конструкции сооружения для сгущения промывных вод скорых фильтров водопроводной очистной станции (ВОС). Лабораторными исследованиями электрокинетических свойств взвесей суспензии промывных вод, а также характеристик потенциала протекания полимерных волокон ершей, показана возможность использования последних в комбинированном сооружении открытого гидроциклона с ершовым фильтром.

Промывные воды водопроводных очистных станций (ВОС) г.Сургута содержат в составе примеси подземных вод, а так же фильтрующую загрузку, покрытую отложениями из примесей. Среди основных примесей подземных вод наиболее существенными являются: железо двухвалентное в количестве 3-8 мг/л; фосфаты 3-6 мг/л; свободная углекислота – 2,1-2,4; мг/л; нефтепродукты 0,03-0,01 мг/л; величина рН подземных вод колеблется в пределах 6,3-6,8.

В процессе упрощенной азрации в дегазаторах с деревянной или пластмассовой насадкой в воду вносится кислород воздуха, удаляется из воды углекислота, увеличивается величина рН до 7,2-7,4 под дейст-