

В.У. Ігнаткін, М.І. Горбійчук, В.С. Дудніков, О.П. Юшкевич

**МОДЕЛЮВАННЯ КОНВЕКТИВНО-ДИFUЗІЙНОГО ПЕРЕНОСУ РЕЧОВИНИ
ТА ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО РОЗРОБКИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ
КОНТРОЛЯ ТА ЗАПОБІГАННЯ ЗАБРУДНЕННЮ ПІДЗЕМНИХ ВОД**

Анотація. На досліджуваному підприємстві, внаслідок втрат, з'єднання хрому накопичувалися на земляній підлозі цеху і поступово мігрували в зоні аерації рівня ґрунтових вод (водоносного горизонту). Рівень ґрунтових вод на ділянці електричного цеху знаходиться на глибині близько 10 м (як впливає з гідрогеологічних досліджень Правобережної експедиції, тобто шлях міграції сполуки хрому в зоні аерації становив близько 10 м).

Водоносний обрій знаходиться у флювіогляціальних відкладах, представлених різнозернистими пісками. Піски перекриті гляціальними супісками та суглинками з включенням гальки та гравію корінних кристалічних порід.

Коефіцієнт фільтрації пісків варіюється від 1 м до 5 м на добу, а суглинків від 0,1 м до 1 м на добу. У зв'язку з цим суглинки дуже умовно можуть бути віднесені до слабопроникних порід, що перекривають водоносний горизонт. Тому більш обґрунтована розглянута схема двошарового водоносного горизонту, при якій вищерозташований шар (суглинок) має потужність близько 1,5 м, а нижчележачий (пісок) – 5-15 м.

За допомогою моделі конвективно-дифузійного потоку у водоносному горизонті визначеного місця досліджено забруднення шестивалентним хромом. Потік визначений як лінійний. Модель являє собою диференціальне рівняння і вміщує такі змінні: C – концентрація з'єднань хрому; t – час спостереження; D – коефіцієнт фільтраційної (конвективної) дифузії; V_n – дійсна швидкість фільтрації потоку; V – існуюча швидкість фільтрації потоку; n_a – активна пористість порід водоносного горизонту; K – коефіцієнт фільтрації водоносного горизонту; I – гідравлічний нахил потоку у природних умовах. При цьому використані реальні вхідні дані і значення змінних. Розраховані та побудовані графіки функцій $C(x, t)$, де згинальні визначають максимальне значення концентрації речовини.

Надані пропозиції щодо методу уникнення від речовини та розробки автоматизованої системи контролю та уникнення від забруднюючої речовини.

Ключові слова: модель конвективно-дифузійного потоку; концентрація речовини; метод уникнення забруднюючої речовини; автоматизована система контролю та уникнення від речовини.

1. Стан вивченості питання. Як впливає з отриманих даних, гальванічний цех заводу вступив в експлуатацію у 1953 році. Внаслідок втрат, з'єднання хрому накопичувалися на земляній підлозі цеху і поступово мігрували в зоні аерації рівня ґрунтових вод (водоносного горизонту). Рівень ґрунтових вод на ділянці електричного цеху знаходиться на глибині близько 10 м (як впливає з гідрогеологічних (розрізів звіту Правобережної експедиції, тобто шлях міграції сполуки хрому в зоні аерації становив близько 10 м) [1-14].

Водоносний обрій знаходиться у флювіогляціальних відкладах, представлених різнозернистими пісками. Піски перекриті гляціальними супісками та суглинками з включенням гальки та гравію корінних кристалічних порід. На жаль, при проведенні гідрогеологічних досліджень Правобережної експедицією, коефіцієнт фільтрації водоносного горизонту визначений не був, так само як і коефіцієнт фільтрації суглинків, що його перекривають [14].

За літературними даними, коефіцієнт фільтрації пісків варіює від 1 до 5 м на добу, а суглинків від 0,1 до 1 м на добу. У зв'язку з цим суглинки дуже умовно можуть бути віднесені до слабопроникних порід, що перекривають водоносний горизонт. Більш обґрунтовано розглядати схему двошарового водоносного горизонту, при якій вищерозташований шар (суглинок) має потужність близько 1,5 м, а нижчележачий (пісок) - 5-15 м і більше. До речі, розвідувальними роботами практично не розкрито водоносний горизонт флювіогляціальних відкладень на всю їхню потужність, тобто потужність його не визначена. Це є суттєвим недоліком проведених робіт поряд із відсутністю визначень коефіцієнта фільтрації [14].

Загальна кількість сполуки хрому, яка потрапляла на земляну підлогу цеху, невідома і встановити немає можливості.

У 1991 році проведено реконструкцію гальванічного цеху. Під цехом на глибину 2-2,5 м обрана земля насичена з'єднаннями хрому, покладена в бочки та похована на злітному полі в бетонному саркофазі, товщина стінок якого становить 0,5 м. Підлога в цеху забетонована. Ці відомості отримані на дослідженому підприємстві. З'єднання хрому було виявлено в джерелі біля ставка №1 в 1979 році, тобто через 26 років від початку експлуатації гальванічного цеху. За цей час сполуки хрому мігрували, як зазначалося вище, через товщу зони аерації потужністю близько 10 м, а також вниз підземним потоком від місця розташування цеху до джерела. Шлях міграції водоносним горизонтом становив 460 м [14].

2. Джерела та процеси забруднення. Як відомо, джерелом забруднення водоносного горизонту флювіогляціальних відкладень, зони аерації під гальванічним цехом, а також ґрунтово-рослинного шару на прилеглий площі є гальванічний цех. Забруднення першого та третього середовищ (водоносного горизонту та ґрунтово-рослинного шару) вивчено досить детально в результаті проведення спеціальних робіт Правобережної експедиції та викладено у відповідному звіті [14]. Що стосується забруднення зони аерації під гальванічним цехом, що є й досі джерелом забруднення водоносного горизонту, воно зовсім не вивчене [15,16,18-27].

Таким чином, основними природними комплексами, забрудненими сполуками хрому внаслідок експлуатації гальванічного цеху, є (згори донизу): 1) ґрунтово-рослинний шар; 2) зона аерації під гальванічним цехом; 3) водоносний обрій. При цьому мають місце такі процеси, пов'язані з поширенням забруднення: 1) міграція сполуки хрому в ґрунтово-рослинному шарі; 2) міграція сполуки хрому у зоні аерації під гальванічним цехом; 3) міграція сполуки хрому у водоносному горизонті за напрямом руху підземного потоку.

Забруднення хромом ґрунтово-рослинного шару вивчалася Правобережною ГРЕ у вигляді його випробування. Зміст сполуки хрому у ґрунті змінюється від 0,2 до 2,0 г/т. Проведене визначення загального змісту сполуки хрому в ґрунті на площі, де вони виявлені (близько 12,1 га), дав результат близько 70 кг. При цьому приймалися такі показники: потужність ґрунтово-рослинного шару 0,5 м, питома вага його 1,8 т/м³ [14].

З гідрогеологічної точки зору найбільшим інтересом є процес міграції сполуки хрому у водоносному горизонті.

3. Вивчення процесу забруднення за допомогою математичної моделі. Процес забруднення водоносного горизонту з'єднаннями хрому від ділянки розташування гальванічного цеху до місця виходу підземних вод на денну поверхню (джерела) був досліджений за допомогою математичної моделі. Потік був схематизований, як лінійний, направлений по осі X, яка співпадає з лінією струму, яка проходить через гальванічний цех. Диференційне рівняння, яке описує конвективно-дифузійне перенесення речовини в підземних водах, для цих умов виглядає наступним чином:

(1)

де C – концентрація з'єднань хрому на відстані X від початку координат (точки під гальванічним цехом), г/л;

t – час від початку моменту, доба;

D – коефіцієнт фільтраційної (конвективної) дифузії, $\text{м}^2/\text{доб.}$;

V_n – справжня (дійсна) швидкість фільтрації потоку по осі X , $\text{м}/\text{доб.}$

$$V_n = \frac{V}{n_a}, \quad (2)$$

де V – швидкість фільтрації, $\text{м}/\text{доб.}$;

n_a – активна пористість порід водоносного горизонту.

Швидкість фільтрації (V) визначається по формулі:

$$V = K \cdot I, \quad (3)$$

де K – коефіцієнт фільтрації водоносного горизонту, $\text{м}/\text{доб.}$;

I – гідравлічний нахил потоку в природних умовах, які існували на 50-60-ті роки, коли почалось забруднення водоносного горизонту через зону аерації та розвивалися процеси міграції з'єднань хрому в водоносному горизонті.

Для визначення гідравлічного нахилу потоку у природних умовах була використана схематична карта гідроізо типу водоносного горизонту, побудована авторами звіту Правобережною експедицією. Його величина визначена рівною 0,008, а швидкість фільтрації, виходячи з коефіцієнту фільтрації водоносного горизонту (1-5 $\text{м}/\text{доб.}$), склала 0,008-0,04 $\text{м}/\text{доб.}$ Природна швидкість фільтрації водоносного горизонту з врахуванням величини активної пористості, визначеної по літературним даним, яка дорівнює 0,2 – склала 0,04-0,20 $\text{м}/\text{доб.}$ [14].

Так як нам не відомі достовірно граничні умови та основні параметри, які входять до рівняння (3.1), а саме:

1) концентрація з'єднань хрому на верхній межі потоку (під гальванічним цехом) – C_0 ;

2) час поширення забруднень хрому в водоносному горизонті від гальванічного цеху до джерела – t ;

3) природна швидкість фільтрації підземних вод – V_n ;

4) коефіцієнт фільтраційної (конвективної) дифузії – D .

Відомі лише діапазони їх змінення, то були виконані рішення відносно поширення концентрації (C) по осі x для різних значень зазначених вище параметрів. Значення їх були прийняті наступні:

$C_0 = 100; 200; 300 \text{ мг/л}$

$t = 20; 15; 10 \text{ років}$

$V_n = 0,05; 0,10; 0,15$

$D = 10^{-2}; 10^{-3}; 10^{-4} \text{ м}^2/\text{доб.}$

Методика рішення диференційного рівняння описана в наступному параграфі.

4. Математична модель конвективно-дифузійного потоку в водоносному горизонті від ділянки під гальванічним цехом до місця виходу джерела. Модель не претендує на природну в останній інстанції, а дає тільки характер та порядок спадання концентрації речовини.

Були розглянуті декілька математичних моделей, але на наш погляд виявилася прийнятною наступна:

Вивчається процес дифузії для моментів досить віддалених від початкового та для дуже протяжного лінійного об'єкту. Тому вплив початкових умов не буде позначатися на поширення концентрації речовини в момент нагляду.

Постановка задачі

Математично, задача формулюється наступним чином:

Знайти рішення рівняння дифузії для напівнескінченного лінійного потоку

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V_n \frac{\partial C}{\partial x}, \quad (4)$$

що задовольняє граничну умову

$$C(x, t) = C_0 * e^{iwt}, \quad (5)$$

де $C = C(x, t)$ – концентрація речовини в дифузійному потоці,

D (м²/доб) – коефіцієнт фільтраційної конвективної дифузії,

V_n (м/доб) – дійсна швидкість фільтрації,

C_0 (мг/м) – концентрація речовини в початковий момент часу $t=0$.

$i = \sqrt{-1}$ – уявна одиниця,

$$w = \frac{2\pi}{T} (1/\text{доб}), \quad (6)$$

$T=365$ діб – частота коливання концентрації речовини,

t (доб) – час,

X (м) – відстань,

$e=2,71..$

Рішення задачі

Рішення задачі будемо шукати у вигляді

$$C(x, t) = C_0 * e^{\alpha x + \beta t}, \quad (7)$$

де α та β – невизначені постійні, $\alpha, \beta \in R$.

Підставляючи (7) у рівняння (4), отримаємо алгебраїчні рівняння відносно α :

$$D\alpha^2 - V_n\alpha - \beta = 0, \quad (8)$$

$$\alpha = \frac{V_n}{2D} \pm \sqrt{\left(\frac{V_n}{2D}\right)^2 + \beta/D}, \quad (9)$$

У свою чергу β знаходимо з граничної умови (8):

$$C_0 * e^{\beta t} = C_0 * e^{i\omega t} \rightarrow \beta = i * \omega$$

Тоді α запишеться у вигляді

$$\alpha = \frac{V_n}{2D} \pm \sqrt{\left(\frac{V_n}{2D}\right)^2 + i * (\omega/D)}$$

$$\text{Нехай } \left(\frac{V_n}{2D}\right)^2 + i * (\omega/D) = Z.$$

$$Z = \delta_1 + i * \delta_2 = |Z| ((\delta_1/|Z|) + i * (\delta_2/|Z|))$$

$$Z = |Z| * (\cos\varphi + i * \sin\varphi) = |Z| * e^{iA_2gz},$$

$$\text{де } A_2gz = \varphi + 2k\pi, (k=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

$$\varphi = \arccos(\delta_1/|Z|),$$

$$|Z|^2 = \delta_1^2 + \delta_2^2$$

$$\delta_1 = \left(\frac{V_n}{2D}\right)^2, \delta_2 = \omega/D$$

Знайдемо

$$\omega = \sqrt{Z} = \sqrt{|Z|} * e^{i(\varphi + 2k\pi)/2}$$

$$\omega = \sqrt{|Z|} * e^{i(\frac{\varphi + 2k\pi}{2})}, k=0,1$$

$$\omega = \pm \sqrt{|Z|} * e^{i(\frac{\varphi}{2})}$$

Введемо позначення

$$\text{Re}\alpha = \sqrt{\delta_1} \pm \sqrt{|Z|} * \cos\frac{\varphi}{2}$$

$$\text{Im}\alpha = \pm \sqrt{|Z|} * \sin\frac{\varphi}{2}$$

Тоді рішення (7) набуде вигляду

$$\widetilde{C}(x, t) = C_0 e^{\text{Re}\alpha * x} * e^{i(\text{Im}\alpha * x + \omega t)}$$

Необхідно врахувати, що вимога обмеженості функції задовольняється тільки знаком мінус.

Дійсна частина функції $\tilde{C}(x, t)$ буде являтися рішенням вихідної задачі:

$$C(x, t) = C_0 e^{(\sqrt{\delta_1} - \sqrt{|Z|} \cos \frac{\varphi}{2})x} * \cos(\omega t - \sqrt{|Z|} * \sin \frac{\varphi}{2}), \quad (10)$$

Чисельні результати

Для отримання чисельних результатів у формі (10) були пророблені зміни:

$$|Z| = A$$

$$C(x, t) = C_0 e^{(\sqrt{\delta_1} - \sqrt{|A|} \cos \frac{\varphi}{2})x} * \cos(\omega t - \sqrt{|A|} * \sin \frac{\varphi}{2}), \quad (11)$$

$$\text{де } \delta_1 = \left(\frac{V_n}{2D}\right)^2;$$

$$\delta_2 = \omega/D;$$

$$A^2 = \delta_1^2 + \delta_2^2$$

$$\varphi = \arccos(\delta_1/A)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{365}$$

$$\cos^2 \frac{\varphi}{2} = (1 + \delta_1/A)/2$$

$$\sin^2 \frac{\varphi}{2} = (1 - \delta_1/A)/2$$

Та введені вихідні дані:

$$C_0 = \{100; 200; 300\}, (\text{мл}^2/\text{л});$$

$$V_n = \{0,15; 0,10; 0,05\}, (\text{м}/\text{доб});$$

$$D = \{0,01; 0,001; 0,0001\}, (\text{м}^2/\text{доб});$$

$$t = 2 \text{ год} * 365 \text{ діб}, (\text{доб});$$

$$x = \{0; 5; 10; \dots, 455; 460\}, (\text{м})$$

Програмування формули (4.8) було реалізовано на мовах xPL/1 та Паскаль.

Рахунок відбувався на ЕОМ. Отриманий роздрук – для наступних випадків:

I блок: 1) $V_n = 0,05$; $D = 0,01$; $C_0 = 100$.

2) ті ж параметри V_n та D , $C_0 = 200$.

3) ті ж параметри V_n та D , $C_0 = 300$.

II блок: 1), 2), 3) те ж саме, що і в блоці I, тільки змінити $V_n: V_n = 0,10$.

III блок: 1), 2), 3) те ж саме, що і в блоці I, II, тільки змінити $V_n: V_n = 0,15$.

I наостанок побудовані всі ці блоки для випадків $D = \{0,001; 0,0001\}$.

Всього було одержано 27 таблиць.

Для I-го випадку I-го блоку побудований графік функції $C(x, t)$ (рис.1).

Аналіз чисельних результатів та графіків надає можливість зробити наступні висновки:

1) Спадання концентрації $C(x, t)$ дуже добре, коли D та V_n одного порядку 10^{-2} .

2) При збільшенні швидкості V_n та зменшенні коефіцієнту D різко падає спадання функції $C(x, t)$.

3) Зменшення спадання функції $C(x, t)$ головним чином залежить від коефіцієнту D .

4) Огинаюча графіка визначає максимальне значення концентрації $C(x, t)$, дивись рис.1.

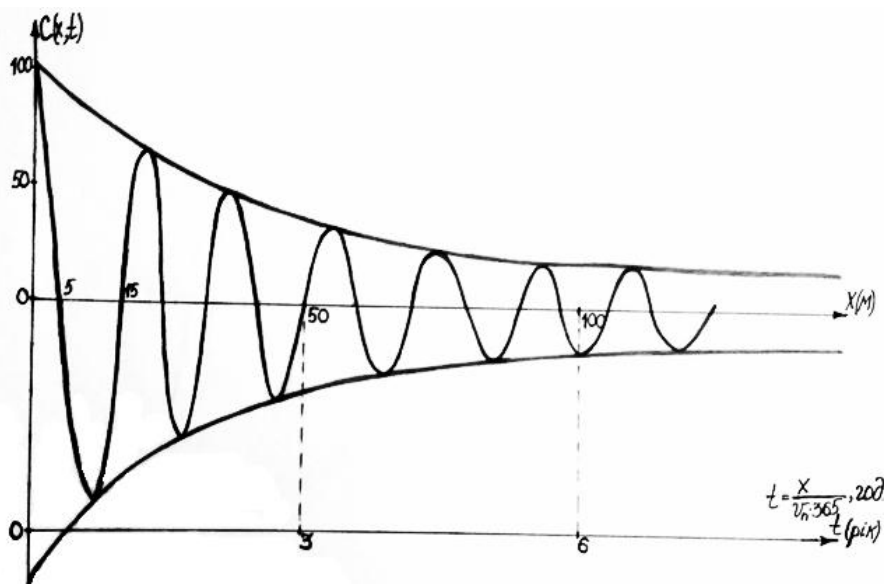


Рисунок 1 – Графік функції $C(x, t)$. Концентрація речовини в конвективно-дифузійному потоці: $C_0 = 100$, $V_n = 0,05$, $D = 0,01$

5. Проектні пропозиції щодо розробки автоматизованої системи контролю та уникнення забруднюючих речовин (шестивалентного хрому).

5.1 Загальні положення

Метою пропозицій ставилося усунення забруднення хромом шестивалентним каскадних ставків «Патерчата», «Водяник», поєднаних з рікою «Рось» [28,30].

В теперішній час ставки забруднюються природним джерелом «Роднік», який має добові витрати води 240 м^3 з максимальною концентрацією хрому шестивалентного – 40 мл/л . Джерело потрапляння хрому в «Роднік» в теперішній час не встановлено [14].

При підготовці даних пропозицій використані матеріали Звіту Правобережної геологічної експедиції. Результати геоекологічного картування (нафтопродукти, хром) ділянок «Гайок» та «Чмирівка» на західній околиці м. Біла Церква (1990-1991 рр.) [14].

Згідно указаному Звіту дебет джерела у ставка «Потерчата» - 2,9.....3,6 л/с (тобто 10м³/год., 240 м³/доб.).

Концентрація хрому шестивалентного – 17-40 мг/л [14].

Концентрація хрому шестивалентного в розвідувальній свердловині №82у забору – до 280 мг/л [14].

Довжина шляху міграції від передбачуваного джерела забруднень (гальванічного цеху) до джерела 480 м, ширина зони до 120 м [14].

5.2 Проектні схеми [17,28,29]

Розглядаються наступні проектні схеми:

Схема 1. Уловлювання та концентрування хрому шестивалентного на іонообмінних колонках з наступним вилученням шестивалентного хрому у вигляді концентрованих розчинів хрому та натрію, упаркою останнього з отриманням товарного хромату натрію (рис. 2).

Схема 2. Подачу занурювальними насосами води з «Родніка» на станцію водоочищення досліджуваного підприємства з одночасним збільшенням потужності останньої (рис. 3).

Схема 3. Обладнання «Родніка» пристроями, які дозують у воду хімічні реагенти (сульфат заліза, бісульфіт, піросульфит, сульфит натрію, луг) з наступним уловлюванням шламу в насипних фільтрах. В цьому способі шлам так же пропонується вивозити на захоронення (рис. 4).

Функціональні схеми приводяться у кінці цієї статті (рис. 3 – рис. 5).

Для схеми, яка передбачає уловлювання шестивалентного хрому на іонообмінних смолах, властиві наступні переваги:

- простота та надійність апаратного оформлення;
- відсутність відходів, які йдуть на захоронення;
- можливість попутного уловлювання інших катіонів важких металів нікелю, міді, кадмію, свинця;
- отримання товарного хромату натрію в кількості 9 т/год.

До недоліків даної схеми можна віднести високу вартість та дефіцитність іонообмінних смол. Метод потребує одночасного завантаження 5 тон смоли АП-17 та експлуатаційну заміну смоли в кількості 1,5 т/год.

Крім того в даному методі витрачається їдкий натр в кількості 2.5 т/год.

Орієнтовна вартість 3 млн. руб. (по цінам 1991 року), експлуатаційні витрати 800 тис. руб./год (по цінам 1991 року).

Для схеми, яка передбачає подачу очисної води на станцію водоочищення досліджуваного підприємства властиві наступні переваги:

- мінімальне будівництво у зоні дендропарку.
- повне внесення всіх технологічних споруд на територію досліджуваного підприємства.

До недоліків даної схеми слід віднести необхідність розширення станції очищення великі витрати залізних електродів – 7 т/год., великі витрати електроенергії – 130000 кВт*год.

Крім того в даному способі утворюється велика кількість шламу приблизно 40 т/год, який потрібно захоронити.

Орієнтовне розширення станції обійдеться з врахуванням капітального будівництва у 800 тис. руб. (по цінам 1991 року) з наступними експлуатаційними витратами 400000 руб./рік (по цінам 1991 року).

Для схеми, яка передбачає обладнання «Родніка» пристроями дозування в воду хімічних реагентів властиві наступні переваги – низькі витрати на процес очищення. Однак експлуатаційні витрати підрахувати можливо тільки після вибору реагенту.

Крім того, у теперішній час відсутня стабільна вартість на більшість реагентів.

До недоліків схеми можна віднести громіздкість та ненадійність існуючого обладнання, необхідність роботи обслуговуючого персоналу в три зміни при існуючій на заводі двозмінній роботі.

Останній недолік властивий також електрокоагуляційній схемі очищення.

Кількість шламу, що вивозиться на захоронення з урахуванням засипання фільтрів складає 200т/рік.

В результаті опрацювання літературних даних та даних лабораторних дослідів пропонується наступна схема очищення води (рис. 2):

- концентрування хрому на іонообмінних установках та скидання очищеної води в ставок;
- регенерація іонообмінних колонок;
- випарка отриманого розчину хромату натрію скидальним теплом котельні з отриманням товарного хромату натрію.

Висновки. Рекомендується до реалізації проектна схема на іонообмінних колонках.

1. Оптимальний проект вибирається технічними службами досліджуваного підприємства та узгоджується з міським комітетом природи.

2. Результати рішення (моделювання конвективно-дифузійного переносу речовини) показують, що найбільш вигідний варіант отриманий при наступних значеннях гідрогеологічних та міграційних параметрів: 1) природна швидкість фільтрації $V_n = 0,05$ в/доб.; 2) коефіцієнт фільтраційної дифузії $D = 10^{-2}$ м/доб; 3) концентрація з'єднання хрому на верхній межі потоку (під гальванічним цехом) $C_0 = 100$ мг/л. При цьому через 25 років з'єднання хрому досягнуть джерела, де концентрація їх складе 0,002 мг/л.

В заключення треба сказати, що результати моделювання являються досить орієнтовними та характеризують в більшій мірі лише якісну сторону процесу забруднення підземних вод. При проведенні подальших робіт необхідно удосконалювати модель та уточнювати вихідні параметри.

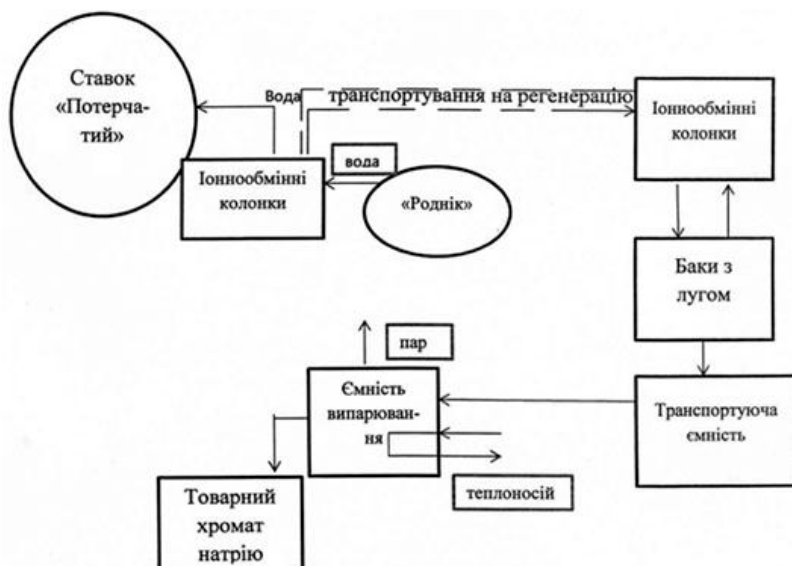


Рисунок 2 – Схема 1

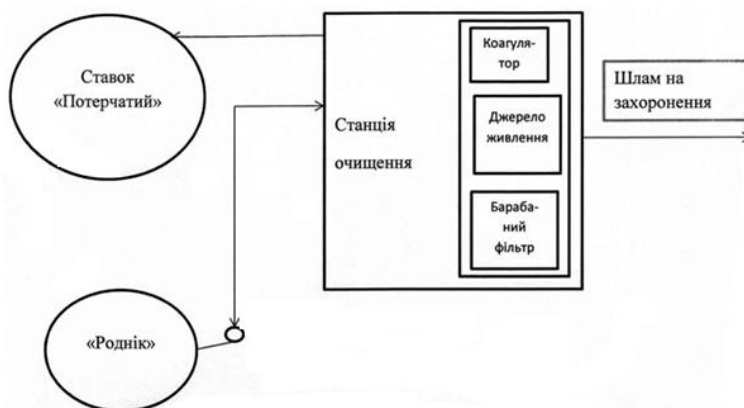


Рисунок 3 – Схема 2

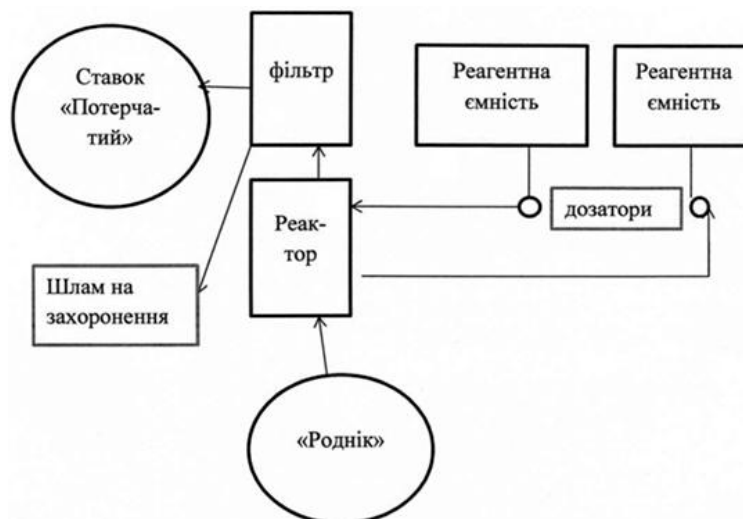


Рисунок 4 – Схема 3

Наукова новизна. Запропоновано підхід та метод прогнозування місця забруднення водоносного горизонту та його уникнення від речовини та можливості коректування параметрів запропонованої моделі на підставі реальних даних досліджень та ЕОМ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Комаровский Ф.Я., Полищук А.Р. Ртуть и другие тяжелые металлы в водной среде//Гидробиол. журнал, 1981, №5, 16. – С.71-83.
2. Сидоренко Г.И. Гигиеническая характеристика загрязнения морей и океанов//Гигиена и санитария, 1978, №8. – С. 74-79.
3. Yreen Y.H. The study of metal organic complexes as pollutants in marine plant and animals//Proc. Roy. Soc. Osecul. – 1973-84, №9.–PP.99-104.
4. Нахшина Е.П. Микроэлементы в водохранилищах Днепра. – Киев: Наукова думка, 1983. – С. 18.
5. Грушко А.Г. Вредные неорганические соединения в промышленных сточных водах. – Л.: Химия, 19. – С. 158.
6. Лещинская А.А., Линник П.Ж. Об устойчивости (VI) в поверхностных водах суши// Гидробиол. журнал, 1990 – 26, №4. – С. 91-135.
7. Faylor Barrie F. Oremland Ronald I. Depletion of a denosine triphosphate in Desuefobibrio by oxyanions of group IV elements// Guss Microbiol. – 1979-3, №2. – PP. 101-103.
8. Никифорова Е.П., Корсак М.Н., Крылов В.Д. Воздействие хрома и цинка на бактериопланктон в длительных экспериментах // РЖ «Биология», М.: №7. – С. 122.

9. Квасников Е.И., Ключникова Т.М. Бактерии, восстанавливающие хром в природе и стоках производственных предприятий//Микробиология, 1988, 57, №4.– С. 680-685.
10. Разумов А.С. Методы микробиологических исследований воды. Изд-во ВОДГЕО, 1947. – 60 с.
11. Локк С. Измерение микробных клеток при обработке их для прямого счета методом ультрафильтрации/ Гидробиология и рыбное хозяйство внутренних водоемов Прибалтики – Таллинн: Валгус, 1969. – С. 130-138.
12. Родина А.Г. Методы водной микробиологии// Практическое руководство. – М.: Л.: Наука, 1965. - 363 с.
13. Рябов Ф.П. Среда для количественного учета водных сапрофитных бактерий, образующих сероводород// Материалы к научно-итоговой конференции Днепропетровского университета – Днепропетровск, 1961. – С. 72.
14. Результаты геоэкологического картирования в западной части г. Белая Церковь Киевской области. Отчет Правобережной ГРЭ. ПТО Севукргеология, 1991 г.
15. Гольдберг В.М., Газда С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра. – С. 198 -262.
16. Кульский Л.А., Даль В.В. Проблемы чистой воды. Киев, Наукова думка, 1974. –231 с.
17. Смирнов Д.Н., Дмитриев А.С. Автоматизация процессов очистки сточных вод химической промышленности. Л.: Химия, 1972. –168 с.
18. Проскуряков В.А., Шмидь Л.И. Очистка сточных вод в химической промышленности. Л.: Химия, 1977. – 463 с.
19. Маркова А.И. Методы определения тяжелых металлов в загрязненных природных и разбавленных сточных водах. М.: Колос, 1968. – 68 с.
20. Кульский Л.А. Теоретическое обоснование технологической очистки воды. Киев, Наукова думка, 1968. – 127 с.
21. Очистка производственных сточных вод. Под ред. Ю.И. Турского и И.В. Филиппова. Л.: Химия, 1967. – 332 с.
22. Черкинский С.Н. Санитарные условия спуска сточных вод в водоемы. Изд. 4-е, М.: Стройиздат, 1971. – 208 с.
23. Вейцер Ю.И., Минц Д.М. Высокомолекулярные флокулянты в процес очистки воды. М.: Стройиздат, 1975. – 191 с.
24. Кульский Л.А., Качановский А.М., Гороновский И.Т. Фізико-хімічні основи очистки воды коагуляцией. Киев, Изд. Ан. УССР, 1950. – 108 с.

25. Лурье П.Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Химия, 1979. – 480 с.
26. Унифицированные методы анализа вод. 2-е изд. (под. ред. Ю.Ю. Лурье, М.: Химия, 1973. – 375 с.
27. Новиков Ю.В., Ласточкина К.О., Болдина З.Н. Методы определения вредных веществ в воде водоемов (под. ред. А.П.Шицковой, М.: Медицина, 1981. – 376 с.
28. Сертификат качества на технологическую схему и лабораторную установку очистки воды из родника в парке «Александрия» (г. Белая Церковь) и хромовых стоков от шестивалентного хрома. г. Белая Церковь, Белоцерковский горисполком, отдел охраны окружающей среды, 1992 г.
29. М.М. Благовещенская, Л.А. Злобин. Информационные технологии систем управления технологическими процессами. М.: Высшая школа, 2005 г. – 768 с.
30. Игнаткин В.У. та др. Научно-технический отчет «Разработка технического задания на разработку, испытания и внедрения способов и установки для удаления ионов хрома из источника загрязненных подземных вод дендропарка «Александрия». ЦНТУ «Информатика», Белоцерковский горисполком, г. Днепропетровск, г. Белая Церковь: – 59 с.

REFERENCES

1. Komarovskiy F.Ya., Polishchuk A.R. Mercury and other heavy metals in the aquatic environment // Hydrobiological journal, 1981, No. 5, 16. – P.71-83.
2. Sidorenko G.I. Hygienic characteristics of pollution of seas and oceans // Hygiene and sanitation, 1978, №8. – S. 74-79.
3. Yreen Y.H. The study of metal organic complexes as pollutants in marine plant and animals // Proc. Roy. Soc. Osecul. - 1973-84, No. 9. – PP.99-104.
4. Nakhshina E.P. Trace elements in the reservoirs of the Dnieper. - Kiev: Naukova Dumka, 1983 . – P. 18.
5. Grushko A.G. Harmful inorganic compounds in industrial wastewater. - L.: Chemistry, 1979 . – S. 158.
6. Leshchinskaya A.A., Linnik P.Zh. On stability (VI) in surface land waters // Hidrobiol. magazine, 1990 - 26, No. 4. – S. 91-135.
7. Faylor Barrie F. Oremland Ronald I. Depletion of a denosine triphosphate in Desuefobibrio by oxyanions of group IV elements // GussMicrobiol. - 1979-3, no. 2. – RR. 101-103.
8. Nikiforova E.P., Korsak M.N., Krylov V.D. The impact of chromium and zinc on bacterioplankton in long-term experiments // RJ "Biology", M.: No. 7. – S. 122.
9. Kvasnikov E.I., Klyushnikova T.M. Bacteria that reduce chromium in nature and wastewater from industrial enterprises // Microbiology, 1988, 57, No. 4. – P. 680-685.

10. Razumov A.S. Methods for microbiological studies of water. Publishing house VODGEO, 1947. – 60 p.
11. Locke S. Measurement of microbial cells when processing them for direct counting by ultrafiltration / Hydrobiology and fish industry of inland water bodies of the Baltic - Tallinn: Valgus, 1969. - PP. 130-138.
12. Homeland A.G. Methods of aquatic microbiology // Practical guidance. - M.: L.: Nauka, 1965. – 363 p.
13. Ryabov F.P. Environment for quantitative accounting of aquatic saprophytic bacteria that form hydrogen sulfide // Materials for the scientific-final conference of Dnepropetrovsk University - Dnepropetrovsk, 1961. - P. 72.
14. Results of geoecological mapping in the western part of Belaya Tserkov, Kiev region. Report of the Pravoberezhnaya GRE. PTO Sevukrgeologiya, 1991.
15. Goldberg VM, Gazda S. Hydrogeological foundations of groundwater protection from pollution. M.: Nedra, 1984. – 262 p.
16. Kul'sky L.A., Dal V.V. Pure water problems. Kiev, Naukova Dumka, 1974. – 231 p.
17. Smirnov D.N., Dmitriev A.S. Automation of wastewater treatment processes in the chemical industry. L.: Chemistry, 1972. – 168 p.
18. Proskuryakov V.A., Shmid L.I. Wastewater treatment in the chemical industry. L.: Chemistry, 1977. – 463 p.
19. Markova A.I. Methods for the determination of heavy metals in polluted natural and diluted waste waters. M.: Kolos, 1968. – 68 p.
20. Kul'sky L.A. Theoretical substantiation of technological water purification. Kiev, Naukova Dumka, 1968. – 127 p.
21. Industrial waste water treatment. Ed. Yu.I. Tursky and I.V. Filippov. L.: Chemistry, 1967. – 332 p.
22. Cherkinskiy S.N. Sanitary conditions for the discharge of wastewater into water bodies. Ed. 4th, Moscow: Stroyizdat, 1971. – 208 p.
23. Weitser Yu.I., Mints D.M. High molecular weight flocculants in the process of water purification. M.: Stroyizdat, 1975. – 191 p.
24. Kul'sky L.A., Kachanovsky A.M., Goronovsky I.T. Physicochemical bases of water purification by coagulation. Kiev, Ed. An. Ukrainian SSR, 1950. – 108 p.
25. Lurie P.Yu. Analytical Chemistry Handbook. Moscow: Chemistry, 1979. – 480 p.
26. Unified methods of water analysis. 2nd ed. (under the editorship of Yu.Yu. Lurie, Moscow: Chemistry, 1973. – 375 p.

27. Novikov Yu.V., Lastochkina K.O., Boldina Z.N. Methods for the determination of harmful substances in the water of reservoirs (under the editorship of A.P. Shitskova, Moscow: Medicine, 1981 . – 376 p.
28. Certificate of quality for the technological scheme and laboratory installation for purification of water from the spring in the park "Alexandria" (Belaya Tserkov) and chromium effluent from hexavalent chromium. Belaya Tserkov, Belotserkovsky city executive committee, department of environmental protection, 1992.
29. Blagoveshchenskaya M.M., Zlobin L.A. Information technology of technological process control systems. M.: Higher school, 2005. - 768 p.
30. Ignatkin V.U. etc. Scientific and technical report "Development of technical specifications for the development, testing and implementation of methods and installations for removing chromium ions from the source of contaminated groundwater in the arboretum" Alexandria ". TsNTU "Informatics", Bila Tserkva City Executive Committee, Dnepropetrovsk, Belaya Tserkov: - 59 p.

Received 10.01.2022.

Accepted 12.01.2022.

Modeling of convective diffusion substance transfer and proposals as for development of an automatic system for monitoring and prevention of pollution of groundwater

At the enterprise being studied, due to losses, compounds of chromium accumulated on the soil floor of the workshop and gradually migrated in the zone of aeration of groundwater (aquifer). The level of groundwater in the area of the electric workshop is in the depth of around 10 m (as measured by the Pravoberezhna Expedition), that is, the ways of migration of chromium compounds in the area of aeration was about 10 m).

The aquifer layer is located in flood fed glacial deposits represented by sands of heterogeneous grains. The sands are overlaid by loamy sand and loam with inclusion of gravel of basement crystalline rock.

The filtration coefficient of sands varies from 1 m to 5 m per day, and of loams, from 0.1 m to 1 m per day. For this reason, the loam can only cautiously considered as low permeable soil overlaying the aquifer. Therefore, it was more sound to consider a scheme of two layer aquifer, in which the upper layer (loam) is about 1.5 m thick, and the thickness of the lower layer (sand) is 5 to 15 m.

Hexavalent chromium pollution using a model of convective diffusive flow in an aquifer at a given research location was studied. The flow was defined as linear. The model is formulated as a differential equation and comprises the following variables: (C) – concentration of chromium compounds; (t) – time of observation; (D) – coefficient of filtering (convective) diffusion; (V_n) – actual speed of filtration of the flow; (V) – existing speed of filtration of the flow; (n_a) – active porosity of the soils forming the aquifer; (K) – filtering coefficient of the aquifer; (I) – hydraulic slope of the flow in the natural environment. Real input data and values of variables were used. Function C (x, t) was calculated and plotted, with its envelope curves determining the maximum concentration of the substance.

Proposals are given as for development of an automated monitoring system and avoidance of the pollutant.

Ігнаткін Валерій Устинович – д.т.н., професор, професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, Україна.

Горбійчук Михайло Іванович – д.т.н., професор, зав. кафедрою автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, Україна.

Дудніков Володимир Степанович – кандидат технічних наук, доцент кафедри мехатроніки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Юшкевич Олег Павлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри мехатроніки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Ihnatkin Valeri Ustinovych – Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Automation and Integrated Computer Technologies at Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine.

Horbiichuk Mykhailo Ivanovych – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Automation and Integrated Computer Technologies at Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine.

Dudnikov Volodymyr Stepanovych – Candidate of Engineering Sciences (PhD in engineering sciences), associate professor of the department of mechatronics at Oles Honchar Dnipro National University.

Yushkevich Oleh Pavlovych – Candidate of Engineering Sciences (PhD in engineering sciences), associate professor of the department of mechatronics at Oles Honchar Dnipro National University.