

УДК 504.61:622.012

КОНТРОЛЬ ДИФУЗІЙНОГО ПРОЦЕСУ ЗАБРУДНЕННЯ ПІЩАНИХ ҐРУНТІВ*І.О. Камаєва, Г.М. Кривенко, Л.Я. Савчук, Л.І. Камаєва**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, тел. (03422) 4-21-96**У ході експериментальних досліджень дифузії солей у піщаних ґрунтах в лабораторних умовах отримано вибірку значень для коефіцієнта дифузії. Використовуючи метод найменших квадратів, отримана аналітична залежність коефіцієнта дифузії від відстані до солевого шару.**Ключові слова: дифузія, піщані ґрунти, коефіцієнт дифузії, контроль.**В ходе экспериментальных исследований диффузии солей в песчаных грунтах в лабораторных условиях получена выборка значений для коэффициента диффузии. Используя метод наименьших квадратов, получена аналитическая зависимость коэффициента диффузии от расстояния до солевого слоя.**Ключевые слова: диффузия, песчаные грунты, коэффициент диффузии, контроль.**In laboratory conditions during experimental investigations of the salt diffusion in sandy soil the plural of diffusion coefficient meanings was obtained. The analytical dependence of diffusion coefficient from the distance to the salt layer was received, using minimum square method.**Keywords: diffusion, sandy soil, diffusion coefficient, control.*

Зростаючі масштаби взаємодії суспільства і природи породило екологічну проблему, пов'язану з погіршенням стану природного середовища. Непомірне навантаження на довкілля за останні роки призвело до того, що фонові концентрації деяких шкідливих речовин перевищують допустимі значення. Тому необхідно проводити постійний контроль за кожним джерелом забруднення і робити прогноз екологічного стану.

До основних джерел забруднення можна віднести гірничо-хімічні підприємства, діяльність яких пов'язана з розробкою калійних руд. Особливістю такої розробки є відносно низький вміст корисного компоненту і, як наслідок, великий об'єм відходів. Так, вихід відходів при переробці руди знаходиться на рівні 60-70 %. Тобто із кожної тони руди після її переробки утворюється 0,6-0,7 тон відходів, які представлені, здебільшого, хлористим натрієм (галітові відходи) та солевими шламами (мул, гіпс). Залежно від способу переробки калійних руд відходи складають на поверхні землі у вигляді териконів (солевідвалів). Заскладовані на земній поверхні відходи калійних виробництв є необхідним джерелом солевого забруднення навколишнього середовища. Основними забруднювачами є хлориди, які зазнають вітрового розсіювання, дифузійної і фільтраційної міграції, засолюють навколишнє середовище.

Серед публікацій з вивчення впливу джерел забруднення калійних виробництв на навколишнє середовище можна виділити роботи таких вчених: Г.І. Рудька [1], Я.М. Семчука [2], П.К. Гаркушина [3], Е.Д. Кузьменка [4], Л.Є. Шкіці [5].

У даній роботі проводиться дослідження дифузійного процесу забруднення ґрунтів з метою визначення коефіцієнта дифузії.

Як відомо, дифузійне перенесення є фізичним процесом, при якому молекули, атоми або іони в результаті теплового руху (броунівський рух) переміщуються із області більшої концентрації в область меншої концентрації. В процесі дифузії шуканою величиною є концентрація $C(M, t)$ дифундуючої речовини, яка розглядається в будь-якій точці M простору у будь-який момент часу t і задовольняє таке рівняння [6]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = K \Delta C,$$

де K – коефіцієнт дифузії, ΔC – зміна концентрації.

Якщо коефіцієнт дифузії $K = const$, то для знаходження концентрації C достатньо задати початкову та крайові умови, щоб розв'язати поставлену задачу відомими методами математичної фізики. Але в більшості практичних задач коефіцієнт K є змінним, що

приводить до суттєвого ускладнення цієї задачі. У цьому випадку виникає проблема, яка пов'язана з визначенням коефіцієнта дифузії, після чого задачу можна розв'язати за допомогою наближених методів.

Розглянемо алгоритм визначення коефіцієнта дифузії іонів хлору (Cl^-) у піщаних ґрунтах з вологістю 10-14 % за допомогою вибірки, отриманої експериментальним шляхом в лабораторних умовах. Знайдемо залежність коефіцієнта дифузії від відстані до солевого шару.

Для розв'язування поставленої задачі було проведено ряд дослідів у металевих трубках довжиною 15 см і діаметром 5 см з прорізами для пошарового відбору зрізів на аналіз. Зрізи у кожній трубці засипали зверху шаром сухої кухонної солі ($NaCl$) товщиною 0,5 см. Запарафіновані 10 трубок знаходилися у гідраторі протягом 60 діб.

Результати експериментів наведені в табл. 1. Лабораторний аналіз процесу дифузії показав, що із збільшенням відстані до солевого шару збільшується коефіцієнт дифузії іонів Cl^- . Це можна пояснити сукупністю гідратаційних та осмотичних процесів, що виникли внаслідок поглинання води при розчиненні солі.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнта дифузії у піщаних ґрунтах, $cm^2/добу$

№ проб	Точки відбору ґрунтів по висоті трубок, см				
	1	6	9	12	14
1	0,15	0,20	0,31	0,45	0,50
2	0,17	0,23	0,30	0,35	0,40
3	0,16	0,22	0,45	0,47	0,57
4	0,11	0,16	0,37	0,40	0,45
5	0,19	0,24	0,48	0,57	0,61
6	0,13	0,18	0,35	0,40	0,43
7	0,15	0,19	0,38	0,43	0,47
8	0,16	0,20	0,28	0,50	0,53
9	0,20	0,25	0,43	0,54	0,57
10	0,17	0,24	0,41	0,52	0,59

Для зручності проведемо усереднення результатів всіх проб по висоті трубок. Усереднені значення коефіцієнта дифузії занесені в табл. 2.

Для подальшого використання результатів експерименту часто виникає необхідність подати цю залежність аналітично, тобто у вигляді формули. На практиці дуже цінними є такі формули, які задовольняють наступні

умови: вони мають бути простими, мати здатність згладжувати випадкові похибки, закладені в експериментальних даних, та адекватно відображати залежність між величинами. Підбір таких формул називається підбором емпіричних формул або задачею згладжування експериментальної залежності. Дуже часто вид залежності (наприклад, лінійна, квадратична, степенева, показникові і т. д.) встановлюється на основі фізичних міркувань або на основі характеру розташування експериментальних точок на координатній площині. Вибравши вид залежності, необхідно знайти її параметри. Значення параметрів найчастіше визначають методом найменших квадратів [7].

Таблиця 2 – Усереднені значення коефіцієнта дифузії, K

Точки відбору ґрунту x , см	1	6	9	12	14
Коефіцієнт дифузії K , $cm^2/добу$	0,159	0,211	0,376	0,463	0,512

Враховуючи характер розташування експериментальних точок, виберемо вид апроксимуючої функції. Припустимо, що залежність між x і K є степеневою функцією третього порядку, тобто многочленом третього степеня:

$$K = ax^3 + bx^2 + cx + d, \quad (1)$$

де a, b, c, d – невідомі параметри.

Тоді згідно з [7], враховуючи, що $n=5$, маємо таку систему для невідомих a, b, c, d :

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^5 x_i^6 + b \sum_{i=1}^5 x_i^5 + c \sum_{i=1}^5 x_i^4 + d \sum_{i=1}^5 x_i^3 = \sum_{i=1}^5 x_i^3 K_i, \\ a \sum_{i=1}^5 x_i^5 + b \sum_{i=1}^5 x_i^4 + c \sum_{i=1}^5 x_i^3 + d \sum_{i=1}^5 x_i^2 = \sum_{i=1}^5 x_i^2 K_i, \\ a \sum_{i=1}^5 x_i^4 + b \sum_{i=1}^5 x_i^3 + c \sum_{i=1}^5 x_i^2 + d \sum_{i=1}^5 x_i = \sum_{i=1}^5 x_i K_i, \\ a \sum_{i=1}^5 x_i^3 + b \sum_{i=1}^5 x_i^2 + c \sum_{i=1}^5 x_i + 5d = \sum_{i=1}^5 K_i. \end{cases} \quad (2)$$

Ця система має єдиний розв'язок, оскільки її визначник відмінний від нуля. Для визначення коефіцієнтів системи (2) зручно скласти допоміжну табл. 3.

В останньому рядку табл. 3 записані суми елементів кожного стовпця, які і є

коефіцієнтами системи (2). Сама система набуває такого виду:

Таблиця 3 – Визначення коефіцієнтів системи

i	x_i	x_i^2	x_i^3	x_i^4	x_i^5	x_i^6	K_i	$x_i K_i$	$x_i^2 K_i$	$x_i^3 K_i$
1	1	1	1	1	1	1	0,159	0,159	0,159	0,159
2	6	36	216	1296	7776	46656	0,211	1,266	7,596	45,576
3	9	81	729	6561	59049	531441	0,376	3,384	30,456	274,104
4	12	144	1728	20736	248832	2985984	0,463	5,556	66,672	800,064
5	14	196	2744	38416	537824	7529536	0,512	7,168	100,352	1404,928
Σ	42	458	5418	67010	853482	11093618	1,721	17,533	205,235	2524,831

$$\begin{cases} 11093618a + 853482b + 67010c + 5418d = 2524,831, \\ 853482a + 67010b + 5418c + 458d = 205,235, \\ 67010a + 5418b + 458c + 42d = 17,533, \\ 5418a + 458b + 42c + 5d = 1,721. \end{cases} \quad (3)$$

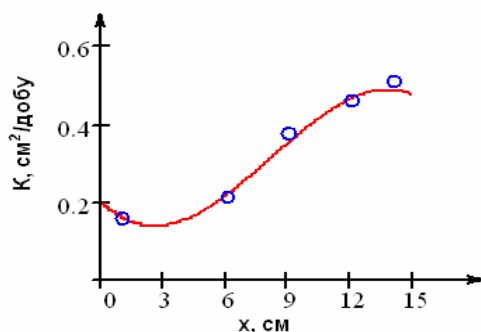
Розв'язавши систему (3) методом Гаусса, отримаємо, що

$$a = -0,0005, \quad b = 0,0122, \quad c = -0,0520, \quad d = 0,1982.$$

Підставивши знайдені параметри у многочлен (1) для K , отримаємо аналітичну залежність коефіцієнта дифузії від відстані x до солевого шару:

$$K = -0,0005x^3 + 0,0122x^2 - 0,0520x + 0,1982. \quad (4)$$

Для наочності покажемо геометричне зображення коефіцієнта дифузії іонів хлору у піщаних ґрунтах в залежності від відстані x (рис. 1). З рис. 1 видно, що підібрана нами апроксимуюча функція для коефіцієнта дифузії добре узгоджується з експериментальними даними і цілком адекватно відображає шукану залежність.



"o" – експериментальні дані; "—" – розрахункові дані згідно (4)

Рисунок 1 – Геометричне зображення коефіцієнта дифузії K

ВИСНОВКИ

У результаті експериментальних досліджень було отримано ряд значень коефіцієнта дифузії іонів хлору у піщаних ґрунтах. Використовуючи метод найменших квадратів, було знайдено функціональну залежність коефіцієнта дифузії від відстані до солевого шару, що дає можливість подальшого вивчення тенденції розповсюдження і контролю за шкідливими речовинами у піщаних ґрунтах.

1. Рудько Г. І. Техногенно-екологічна безпека солевидобувних гірничопромислових комплексів Передкарпаття / Г. І. Рудько, Л. Є. Шкіца // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2001. – № 5-6. – С. 68-71. 2. Семчук Я. М. Наукові та методичні основи охорони геологічного середовища в районах розробки калійних родовищ: (на прикладі Передкарпаття) : дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 11.00.11 / Семчук Ярослав Михайлович. – Івано-Франківськ, 1994. – 304 с. 3. Гаркушин П. К. Техногенез і охорона навколишнього середовища при розробці калійних родовищ Передкарпаття / П. К. Гаркушин // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2001. – № 2. – С. 48-55. 4. Кузьменко Е. Д. Комплекс геофізичних методів прогнозування розвитку соляного карсту в Передкарпатті / Е. Д. Кузьменко, С. М. Багрій, О. П. Вдовіна // Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т.Шевченка. "Геологія". – 2003. – Вип. 26-27. – С. 43-50. 5. Шкіца Л. Є. Методологія геоекологічного аналізу гірничопромислових комплексів / Л. Є. Шкіца // Екологія та ресурсосбереження. – 2005. – № 1. – С. 53-55. 6. Араманович І. Г. Уравнения математической физики / И. Г. Араманович, В. И. Левин. — М. : Наука, 1969. — 288 с. 7. Данко П. Е. Высшая математика в упражнениях и задачах. Ч. II / П. Е. Данко, А. Г. Попов, Т. Я. Кожевникова. — М. : Высшая школа, 1980. — 365 с.

Поступила в редакцію 28.05.2010 р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, проф. Семків Я.М.