

УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КОНЦЕНТРАЦІЙ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН У ФІЛЬТРАТІ ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

¹Вінницький національний технічний університет

Виявлено параметри, від яких залежать концентрації забруднювальних речовин у фільтраті полігонів твердих побутових відходів. Удосконалено математичну модель концентрацій забруднювальних речовин у фільтраті полігонів твердих побутових відходів.

Ключові слова: математичне моделювання, планування експерименту, концентрація, фільтрат, забруднювальні речовини, тверді побутові відходи.

Вступ

Об'єм твердих побутових відходів (ТПВ), що утворюються в українських населених пунктах, перевищує 46 млн. м³ на рік, основна частина яких захоронюється на 4530 полігонах та сміттєзвалищах площею майже 7,7 тис. гектарів та лише частково переробляються або утилізуються на сміттєспалювальних заводах [1]. Тільки протягом 1999—2007 рр. загальна площа полігонів та сміттєзвалищ в Україні збільшилась в 2,5 рази. Також більше ніж в 2,5 рази зросла площа перевантажених та тих полігонів і сміттєзвалищ, що не відповідають нормам екологічної безпеки. Полігони ТПВ є джерелами тривалого негативного впливу на навколишнє середовище високотоксичним фільтратом [2, 3] та звалищним газом, що містить парникові гази та токсичні речовини [4]. Фільтрат — це дренажні води, які утворюються за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, біохімічних і хімічних процесів розкладання ТПВ та характеризуються високим вмістом токсичних органічних і неорганічних речовин [5, 6]. Протягом всього терміну функціонування сміттєзвалища фільтрат залишається постійним джерелом забруднення поверхневих і підземних вод, а також ґрунтів. Вибір методу очищення фільтрату від забруднень здійснюється в залежності від його складу [7]. Постанова Кабміну України № 265 [8] стала основою для розробки Національної стратегії поводження з ТПВ на території України. Тому удосконалення математичної моделі концентрацій забруднювальних речовин у фільтраті полігонів твердих побутових відходів, є актуальною науково-технічною задачею.

У статті [9] авторів Т. В. Воронкової та С. Ю. Чудінова розглянуто проблему утворення фільтраційних вод, що утворюються під час експлуатації полігонів захоронення ТПВ. В роботі [10] В. В. Поповича розглянуто екологічну небезпеку фільтрату сміттєзвалищ. В статті [11] наведено хімічний склад фільтрату одного із полігонів ТПВ. Технології очищення фільтрату від забруднювальних речовин розглянуті в роботах [6, 12—14]. В статті [15] визначено регресійну залежність питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів ТПВ через забруднення компонентами фільтрату від їхніх фактичних та гранично допустимих концентрацій. В роботі [16] О. А. Тагілової наводяться однофакторні математичні моделі концентрацій для кожної окремої із пріоритетних забруднювальних речовин у фільтраті полігонів ТПВ. Однак багатофакторних математичних моделей концентрацій забруднювальних речовин у фільтраті полігонів ТПВ, в результаті аналізу відомих публікацій, автором не виявлено.

Метою дослідження є удосконалення математичної моделі концентрацій забруднювальних речовин у фільтраті полігонів твердих побутових відходів для розробки стратегії, комплексу машин та обладнання для поводження з ними.

Аналіз результатів дослідження

Згідно з дослідженнями, проведеними в роботі [16], однофакторна залежність концентрацій пріоритетних забруднювальних речовин (ПЗР) $C_{ПЗР}$ від концентрації органічного вуглецю C_C в

складі фільтрату є логарифмічною

$$C_{\text{ПЗР}} = a \lg C_C - b, \quad (1)$$

де a, b — коефіцієнти регресії, значення яких для кожної з досліджуваних ПЗР наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів регресії для кожної із досліджуваних ПЗР [16, 17]

ПЗР	N	P	S	Fe	Cu
a	427,47	1,0172	76,538	48,862	0,0224
b	1817,4	2,2335	331,31	281,08	0,0793

На думку автора коефіцієнти регресії a, b можна записати як функції від додаткових параметрів впливу, серед яких, розглядались такі: атомна маса Ar та гранично допустима концентрація ГДК забруднювальних речовин у воді

$$g(a, b) = f(Ar, \text{ГДК}). \quad (2)$$

Значення додаткових параметрів впливу для кожної з ПЗР наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Значення додаткових параметрів впливу для кожної із ПЗР [18, 19]

ПЗР	N	P	S	Fe	Cu
$Ar, \text{г/моль}$ [18]	14	31	32	56	64
ГДК, мг/л [19]	0,5	3,5	10	0,3	1

За даними табл. 1 та табл. 2, використовуючи планування експерименту за допомогою ротатбельного центрального композиційного планування другого порядку, застосовуючи розроблене програмне забезпечення, що захищене свідоцтвом на твір [20], отримано рівняння регресії, які після відкидання за критерієм Стьюдента незначущих факторів та ефектів взаємодії в логарифмічних координатах виглядають так:

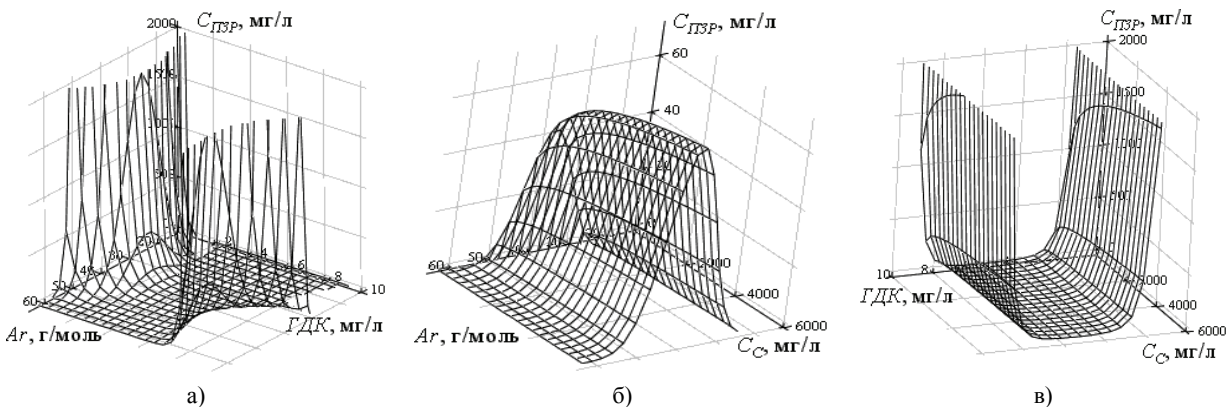
$$a = 10^{0,3697 Ar - 3,318 \text{ГДК} + 0,03271 Ar \cdot \text{ГДК} - 0,005926 Ar^2 + 0,1884 \text{ГДК}^2}; \quad (3)$$

$$b = 10^{0,9901 + 0,306 Ar - 2,247 \text{ГДК} - 0,004789 Ar^2 + 0,1912 \text{ГДК}^2}. \quad (4)$$

Встановлено, що за критерієм Фішера гіпотезу про адекватність регресійних моделей (3), (4) можна вважати правильною з 95 %-ю достовірністю.

Підставивши рівняння (3), (4) в математичну модель (1), отримаємо удосконалену математичну модель концентрацій забруднювальних речовин у фільтраті полігонів ТПВ:

$$C_{\text{ПЗР}} = 10^{0,3697 Ar - 3,318 \text{ГДК} + 0,03271 Ar \cdot \text{ГДК} - 0,005926 Ar^2 + 0,1884 \text{ГДК}^2} \times \ln C_C - 10^{0,9901 + 0,306 Ar - 2,247 \text{ГДК} - 0,004789 Ar^2 + 0,1912 \text{ГДК}^2}. \quad (5)$$



Поверхні відгуків цільової функції — концентрацій забруднювальних речовин у фільтраті полігонів ТПВ та їх двомірні перерізи в площинах параметрів впливу: а) $C_{\text{ПЗР}} = f(Ar, \text{ГДК})$; б) $C_{\text{ПЗР}} = f(Ar, C_C)$; в) $C_{\text{ПЗР}} = f(\text{ГДК}, C_C)$

На рисунку показано поверхні відгуків цільової функції — концентрацій забруднювальних речовин у фільтраті полігонів ТПВ та їх двомірні перерізи в площинах параметрів впливу, які дозво-

ляють наочно відобразити залежність (5) та характер одночасного впливу декількох факторів на цільову функцію.

За критерієм Стьюдента виявлено, що найбільше концентрації забруднювальних речовин у фільтраті полігонів ТПВ залежать від концентрації органічного вуглецю в складі фільтрату і найменше — від ГДК забруднювальних речовин у воді.

Використовуючи залежність (5), можна визначити концентрацію ПЗР, в тому числі важких металів, в складі фільтрату як забруднювача ґрунтів, на основі яких за допомогою математичної моделі, наведеної в роботі [15], розрахувати питомі енерговитрати очищення ґрунтів полігонів ТПВ — одного із основних параметрів обладнання для електрохімічної ремедіації ґрунтів, як складової комплексу машин та обладнання для поводження з твердими побутовими відходами.

Висновки

Отримано удосконалену математичну модель концентрації забруднювальних речовин у фільтраті полігонів твердих побутових відходів, яка може бути використана для розробки стратегії, комплексу машин та обладнання для поводження з твердими побутовими відходами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Березюк О. В. Математичне моделювання прогнозування об'ємів утворення твердих побутових відходів та площ полігонів і сміттєзвалищ в Україні / О. В. Березюк // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві : наук.-техн. зб. — 2009. — № 2 (7). — С. 88—91.
2. Воронкова Т. В. Система управління образованием фильтрата полигонов ТБО / Т. В. Воронкова, С. Ю. Чудинов // Твердые бытовые отходы. — 2013. — № 8. — С. 36—40.
3. Adhikari K. Assessment of Pollution Potential of Soil and Groundwater in a Non-Engineered MSW Landfill Site / K. Adhikari, S. Pal // International Journal of Environmental Science and Development. — 2016 — No. 7 (3). — P. 207.
4. Березюк О. В. Виявлення параметрів впливу на питомий об'єм видобування звалищного газу / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2012. — № 3. — С. 20—23.
5. Гончарук В. В. Очищення фільтратів звалищ твердих побутових відходів від амонійних сполук / В. В. Гончарук, М. М. Балакіна, Д. Д. Кучерук // Доповіді Національної академії наук України. — 2010. — № 4. — С. 193—197.
6. Saarela J. Hydraulic Approximation of Infiltration Characteristics of Surface Structures on Closed Landfills / J. Saarela, T. Karvonen // Proceedings of the International Symposium on High Altitude & Sensitive Ecological Environmental Geotechnology. — Nanjing University Press, 1999. — P. 56—63.
7. Комплексная переработка фильтрата твердых бытовых отходов [Электронный ресурс] / В. И. Кашковский, В. Н. Горбенко, Ю. Б. Синяков, Д. Г. Вальчук // II-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю : зб. матер. — Вінниця, 2012. — Режим доступу : <http://eco.com.ua/content/kompleksnaya-pererabotkafiltrata-tverdykh-bytovykh-otkhodov>.
8. Постанова Кабінету Міністрів України від 4 березня 2004 року № 265 «Про затвердження Програми поводження з твердими побутовими відходами» [Електронний ресурс] / Кабінет Міністрів України. — Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/265-2004-%D0%BF>.
9. Воронкова Т. В. Теоретические аспекты водного баланса полигонов захоронения твердых бытовых отходов с системой рециркуляции фильтрата / Т. В. Воронкова, С. Ю. Чудинов // Теоретическая и прикладная экология. — 2013. — № 1. — С. 13—16.
10. Попович В. В. Екологічна безпека фільтрату сміттєзвалищ / В. В. Попович // Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи : II Міжнародна наук.-практ. конф. (4—6 листопада 2015 р.) : матеріали. — Львів, 2015. — С. 165—166.
11. Хімічний склад фільтрату Львівського полігону твердих побутових відходів / [А. М. Гайдін, В. О. Дяків, В. Д. Погребенник, А. В. Пашук] // Природа Західного Полісся та прилеглих територій. — 2013. — № 10. — С. 43—49.
12. Діденко Г. С. Методи очищення фільтрату полігонів / Г. С. Діденко, В. С. Жукова // Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти : III Міжнародна наук.-практ. конф. (28—30 жовтня 2015 р.) : матеріали. — К., 2015. — С. 83—85.
13. Пат. Україна 75837 МПК (2006) С 02 F 9/02; С 02 F 1/44; С 02 F 1/46; С 02 F 1/52; С 02 F 9/04; С 02 F 9/08. Спосіб комплексної переробки дренажних вод звалищ твердих побутових відходів / В. В. Гончарук, М. М. Балакіна, Д. Д. Кучерук та ін. — Опубл. 15.05.2006; Бюл. № 5.
14. Анфимова Ю. В. Фильтрат : технологии очистки / Ю. В. Анфимова, И. С. Глушанкова // Твердые бытовые отходы. — 2008. — № 2. — С. 26—31.
15. Березюк О. В. Моделювання питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів твердих побутових відходів від забруднення важкими металами / О. В. Березюк // Комунальне господарство міст. — 2015. — № 1 (120). — С. 240—242. — (Безпека життєдіяльності людини — освіта, наука, практика).
16. Тагилова О. А. Повышение экологической безопасности полигонов твердых бытовых отходов на основе анализа потоков органического углерода : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 25.00.36 «Геоэкология» / О. А. Тагилова. — Пермь, 2006. — 23 с.
17. Phosphorus removal using Ca-rich hydrated oil shale ash as filter material — the effect of different phosphorus loadings and wastewater compositions / M. Kõiv, M. Liira, Ü. Mander, R. Mõtlep, C. Vohla, K. Kirsimäe // Water Research. — Elsevier, 2010. — No. 44 (18). — P. 5232—5239.
18. Кузьмичев В. Е. Законы и формулы физики : справ. / В. Е. Кузьмичев. — К. : Наукова думка, 1989. — 864 с.

19. Тарасова В. В. Екологічна стандартизація і нормування антропогенного навантаження на природне середовище / В. В. Тарасова, А. С. Малиновський, М. Ф. Рибак. — К., 2007. — 276 с.

20. Березюк О. В. Комп'ютерна програма «Планування експерименту» («PlanExp») / Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 46876 // власник свідectва О. В. Березюк. — К. : Державна служба інтелектуальної власності України. — Дата реєстрації : 21.12.2012.

Рекомендована кафедрою безпеки життєдіяльності ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 22.02.2016

Березюк Олег Володимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності, e-mail: berezyukoleg@yandex.ru.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

O. V. Bereziuk¹

Improvement of Mathematical Model of Pollutant Concentrations in Filtrate Polygon of Hard Domestic Wastes

¹Vinnitsia National Technical University

There have been exposed the parameters on which the concentration of pollutants in filtrate polygon of hard domestic wastes depends. The mathematical model of pollutant concentration in filtrate polygon of hard domestic wastes has been improved.

Keywords: mathematical modeling, planning experiment, concentration, filtrate, pollutant, hard domestic wastes.

Bereziuk Oleh V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Security of Life, e-mail: berezyukoleg@yandex.ru

О. В. Березюк¹

Усовершенствование математической модели концентраций загрязняющих веществ в фильтрате полигонов твердых бытовых отходов

¹Вінницький національний технічний університет

Выявлены параметры, от которых зависят концентрации загрязняющих веществ в фильтрате полигонов твердых бытовых отходов. Усовершенствована математическая модель концентраций загрязняющих веществ в фильтрате полигонов твердых бытовых отходов.

Ключевые слова: математическое моделирование, планирование эксперимента, концентрация, фильтрат, загрязняющие вещества, твердые бытовые отходы.

Березюк Олег Владимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, e-mail: berezyukoleg@yandex.ru