

ДИНАМІКА КІЛЬКОСТІ ПЕРЕВАНТАЖЕНИХ ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ В УКРАЇНІ

¹Вінницький національний технічний університет

Протягом 1999—2014 років в Україні спостерігалось зростання перевантажених площ та тих полігонів і сміттєзвалищ, які не відповідають нормам екологічної безпеки, а в 2015—2020 роках кількість таких полігонів і сміттєзвалищ навпаки спадала. Тому визначення регресійної залежності, що описує динаміку кількості перевантажених полігонів твердих побутових відходів в Україні для вирішення проблеми поводження з твердими побутовими відходами є актуальною науково-технічною задачею. Метою дослідження є визначення за допомогою регресійного аналізу залежності, яка описує динаміку кількості перевантажених полігонів твердих побутових відходів в Україні для вирішення проблеми поводження з твердими побутовими відходами. Під час дослідження використано метод регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей з вибором адекватнішого виду функції з 16 найпоширеніших варіантів за критерієм максимального коефіцієнта кореляції. Регресія проводилась на основі лінеаризувальних перетворень, які дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Визначення коефіцієнтів рівняння регресії здійснювалось методом найменших квадратів за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz", яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір. Отримано адекватну регресійну залежність, що описує динаміку кількості полігонів твердих побутових відходів в Україні, які не відповідають нормам. Побудовано графічну залежність, що описує динаміку кількості перевантажених полігонів твердих побутових відходів в Україні та дозволяє наочно проілюструвати цю динаміку, показати достатню збіжність теоретичних та фактичних результатів. Встановлено, що в Україні кількість перевантажених полігонів твердих побутових відходів у 2015—2020 роках спадала за експоненціальною залежністю. Спрогнозовано, що до 2030 року кількість перевантажених полігонів твердих побутових відходів в Україні, за існуючих темпів спадання, скоротиться до 255 одиниць.

Ключові слова: динаміка, тверді побутові відходи, перевантажений полігон, сміттєзвалище, регресійний аналіз.

Вступ

Проблема забруднення твердими побутовими та промисловими відходами навколишнього середовища висвітлена в багатьох публікаціях [1]—[10]. Усім українським населеним пунктам, особливо великим містам, властива проблема інтенсивного зростання об'ємів та накопичення відходів, що становлять велику небезпеку для стану довкілля, здоров'я та життя населення багатьох країн, негативно впливають на санітарно-епідеміологічне благополуччя населених пунктів. Не дивлячись на те, що частка твердих побутових відходів (ТПВ) становить лише близько півтора відсотки від загального обсягу відходів, що продукуються на території України, проблема поводження з таким різновидом відходів, які є гетерогенною сумішшю складного морфологічного складу, є вкрай складною, що пов'язано з великою номенклатурою складових ТПВ (чорні і кольорові метали, папір, пластмаси, текстиль, скло, харчові та рослинні залишки, кістки, каміння, гума й інші компоненти), наявністю небезпечних компонентів, великою кількістю джерел виникнення та значною їхньою розосередженістю. Домінуючим за поширеністю методом поводження з ТПВ в нашій країні є їхнє депонування на полігонах та сміттєзвалищах. Протягом 1999—2014 років в Україні спостерігалось зростання площ перевантажених, тобто з порушенням проектних показників щодо обсягів накопичення відходів, та тих полігонів і сміттєзвалищ, які не відповідають нормам екологічної безпеки (споруджених без дренажної системи, відведення транзитних вод тощо). Безпосередньо впливаючи на стан навколишнього середовища поблизу житлових районів, таке

зростання становить небезпеку забруднення твердими [1], газоподібними [10], рідкими шкідливими речовинами прилеглих земельних ділянок, загрожуючи життєдіяльності людини. В 2015—2020 роках кількість таких полігонів і сміттєзвалищ навпаки спадала, зокрема завдяки первинній переробці ТПВ під час завантаження у сміттєвоз шляхом ущільнення [6], зневоднення [7] та подрібнення [8]. Тому визначення регресійної залежності, що описує динаміку кількості перевантажених полігонів ТПВ в Україні для вирішення проблеми поводження з твердими побутовими відходами є актуальною науково-технічною задачею.

В роботах [11]—[14] досліджено забруднення важкими металами ґрунтів в місцях депонування ТПВ, які є одними з пріоритетних забруднювачів земельних ресурсів. В статті [15] побудовано математичну модель питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів від забруднення на основі визначених логарифмічних регресійних залежностей питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів ТПВ від концентрацій таких важких металів, як кадмій, свинець та цинк.

В статті [16] досліджено утворення фільтрату під час експлуатації полігонів захоронення ТПВ. Екологічна небезпека фільтраційних вод сміттєзвалищ висвітлена в роботі [17]. Хімічний склад фільтрату одного з полігонів захоронення ТПВ подано в статті [18]. В роботі [19] удосконалено математичну модель концентрацій забруднювальних речовин у фільтраті полігонів на основі виявлених параметрів, від яких залежать такі концентрації у фільтраті полігонів ТПВ.

В статті [20] отримано регресійні залежності, які описують динаміку зміни площ полігонів та сміттєзвалищ в Україні в 1999—2007 рр. При цьому встановлено, що за досліджений період часу загальна площа полігонів та сміттєзвалищ, а також тих, що не відповідають нормам екологічної безпеки збільшувалась з часом приблизно за експоненціальним законом, тоді як площа перевантажених полігонів та сміттєзвалищ, як тих що відповідають, так і тих, що не відповідають нормам екологічної безпеки зростала щорічно майже лінійно.

В роботі [21] отримано гіперболічну регресійну залежність, що описує динаміку кількості полігонів ТПВ в Україні, які не відповідають нормам, що дозволило спрогнозувати скорочення кількості полігонів ТПВ в Україні до 2030 року.

В роботах [22], [23] подано статистичні дані стосовно кількості перевантажених полігонів ТПВ в Україні в 2015 та 2016 рр., в статті [24] — в 2017—2019 роки, а в роботі [25] містяться аналогічні дані за 2020 р. Однак конкретних математичних залежностей, що описують в 2015—2020 рр. динаміку кількості перевантажених полігонів ТПВ в Україні, в результаті аналізу відомих публікацій авторами не виявлено.

Метою дослідження є визначення за допомогою регресійного аналізу залежності, що описує динаміку кількості перевантажених полігонів ТПВ в Україні, для вирішення проблеми поводження з твердими побутовими відходами.

Для визначення регресійної залежності, що описує динаміку кількості перевантажених полігонів ТПВ в Україні використано такі *методи*: регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей, комп'ютерного моделювання.

Результати досліджень

У табл. 1 наведено офіційні статистичні дані Міністерства розвитку громад та територій України за 2015—2020 рр. щодо динаміки кількості перевантажених полігонів ТПВ в Україні в різні роки [22]—[25]. Зменшення протягом зазначеного періоду часу кількості перевантажених полігонів ТПВ в Україні пояснюється поступовим закриттям перевантажених полігонів [29] як елемента системи управління ТПВ, що є одним з пунктів Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом [30].

На основі даних табл. 1 планувалось отримати математичну модель у вигляді парної регресійної залежності кількості перевантажених полігонів ТПВ в Україні. Оскільки аргументом регресійної залежності є рік, порядок значень якого на три порядки перевищує порядок ширини діапазону його зміни, то з метою підвищення точності регресійної залежності пропонується за початок координат взяти рік, який передує початку досліджуваного діапазону ($x = t - 2014$).

Таблиця 1

Статистичні дані за 2015—2020 рр. щодо динаміки кількості перевантажених полігонів ТПВ в Україні [22]—[25]

Рік	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Кількість перевантажених полігонів ТПВ в Україні	967	305	309	256	258	261

Регресія проводилась на основі лінеаризувальних перетворень, які дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Під час дослідження використано метод регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей з вибором адекватнішого виду функції з 16 найпоширеніших варіантів за критерієм максимального значення коефіцієнта кореляції зі збереженням результатів в форматах MS Excel та Vitmar. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювалась методом найменших квадратів [26] за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz" яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір [27] і детально описана в роботі [28].

Результати регресійного аналізу подані в табл. 2, де сірим кольором позначено комірки з видом регресії з максимальним значенням коефіцієнта кореляції R .

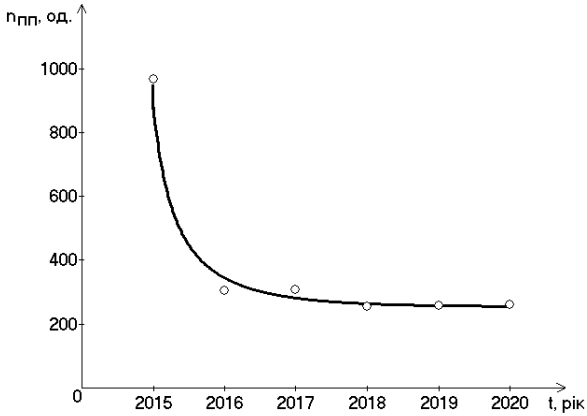
Таблиця 2

Результати регресійного аналізу динаміки кількості перевантажених полігонів ТПВ в Україні

№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R	№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R
1	$y = a + bx$	0,70492	9	$y = ax^b$	0,88042
2	$y = 1/(a + bx)$	0,79909	10	$y = a + b \cdot \lg x$	0,84952
3	$y = a + b/x$	0,94832	11	$y = a + b \cdot \ln x$	0,84952
4	$y = x/(a + bx)$	0,97681	12	$y = a/(b + x)$	0,79909
5	$y = ab^x$	0,74738	13	$y = ax/(b + x)$	0,97584
6	$y = ae^{bx}$	0,74738	14	$y = ae^{b/x}$	0,96407
7	$y = a \cdot 10^{bx}$	0,74738	15	$y = a \cdot 10^{b/x}$	0,96407
8	$y = 1/(a + be^{-x})$	0,97732	16	$y = a + bx^t$	0,57299

Отже, за результатами регресійного аналізу на основі даних табл. 1, як найадекватнішу, остаточно вважатимемо таку регресійну модель:

$$n_{III} = \frac{1}{0,003928 - 0,00759e^{-(t-2014)}} \text{ [од.]}, \quad (1)$$



Залежність, що описує: \circ — фактичну;
 — теоретичну динаміку кількості перевантажених полігонів ТПВ в Україні в 2015—2020 рр.

де n_{III} — кількість перевантажених полігонів ТПВ в Україні, од.; t — рік.

На рисунку показана графічна залежність, яка описує динаміку кількості перевантажених полігонів ТПВ в Україні, побудовану за допомогою рівняння регресії (1), що підтверджує визначену раніше достатню збіжність отриманої теоретичної залежності порівняно з даними, наведеними в роботах [22]—[25].

Аналіз графічної залежності (див. рис.) показав, що в Україні кількість перевантажених полігонів ТПВ у 2015—2020 рр. спадала за експоненціальною залежністю.

Використовуючи залежність (1), можна спрогнозувати, що до 2030 року кількість перевантажених полігонів ТПВ в Україні за наявних темпів спадання скоротиться до 255 од.

Висновки

1. Визначено регресійну залежність, що описує динаміку кількості перевантажених полігонів ТПВ в Україні та дозволяє її прогнозувати, що необхідно для вирішення проблеми поведження з твердими побутовими відходами.

2. Побудовано графічну залежність, що описує динаміку кількості перевантажених полігонів ТПВ в Україні та наочно ілюструє цю динаміку і показує достатню збіжність теоретичних та фактичних результатів.

3. Встановлено, що в Україні кількість перевантажених полігонів ТПВ у 2015—2020 рр. спадала за експоненціальною залежністю.

4. Спрогнозовано, що до 2030 року кількість перевантажених полігонів ТПВ в Україні за наявних темпів спадання скоротиться до 255 одиниць.

5. Врахування впливу чинників на кількість перевантажених полігонів ТПВ в Україні вимагають проведення подальших досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] В. И. Колесников, К. Ш. Казеев, и В. Ф. Вальков, «Влияние загрязнения тяжелыми металлами на эколого-биологические свойства чернозема обыкновенного,» *Экология*, № 3, с. 193-201, 2000.
- [2] В. П. Ковальський, і А. В. Бондарь, «Шламоволокарбонатний прес-бетон на основі відходів промисловості,» на *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*, XXIV Міжнар. наук.-практ. конф., Харків, 2015, с. 209.
- [3] В. В. Попович, О. В. Придатко, М. І. Сичевський, Н. П. Попович, і М. А. Панасюк, «Ефективність експлуатації сміттєвозів у середовищі "місто-сміттєзвалище",» *Науковий вісник НЛТУ України*, т. 27, № 10, с. 111-116, 2017.
- [4] O. Bereziuk, M. Lemeshev, V. Bogachuk, W. Wójcik, K. Nurseitova, and A. Bugubayeva, "Ultrasonic microcontroller device for distance measuring between dustcart and container of municipal solid wastes," *Przegląd Elektrotechniczny*, no. 4, pp. 146-150, 2019. <http://dx.doi.org/10.15199/48.2019.04.26>.
- [5] Т. А. Орлова, «Экологическая оценка земельных участков, занятых объектами обращения с отходами,» *Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник*, вип. 25, с. 167-181, 2006.
- [6] О. В. Березюк, «Аналитичне дослідження вдосконаленої математичної моделі вібраційного приводу доушільнення ТПВ у сміттєвозі,» *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*, № 1, 11 с., 2020. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/590/557>.
- [7] О. В. Березюк, «Експериментальне дослідження процесів зневоднення твердих побутових відходів шнековим пресом,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 5, с. 18-24, 2018. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2018-140-5-18-24>.
- [8] О. В. Березюк, «Експериментальне дослідження процесу подрібнення твердих побутових відходів під час зневоднення шнековим пресом,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 5, с. 75-80, 2019. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-146-5-75-80>.
- [9] О. А. Сагдеева, Г. В. Крусір, та А. Л. Цикало, «Оцінка рівня екологічної небезпеки звалищ твердих муніципальних відходів,» *Екологічна безпека*, № 1, с. 75-83, 2018.
- [10] О. В. Березюк, «Моделирование состава биогаза при анаэробном разложении твердых бытовых отходов,» *Автоматизированные технологии и производства*, № 4 (10), с. 44-47, 2015.
- [11] D. S. Buteh, I. Y. Chindo, E. O. Ekanem, and E. M. Williams, "Impact Assessment of Contamination Pattern of Solid Waste Dumpsites Soil: A Comparative Study of Bauchi Metropolis," *World Journal of Analytical Chemistry*, vol. 1, no. 4, pp. 59-62, 2013.
- [12] S. Chao, L. Q. Jiang, and W. J. Zhang, "A review on heavy metal contamination in the soil worldwide: Situation, impact and remediation techniques," *Environmental Skeptics and Critics*, no. 3 (2), pp. 24-38, 2014.
- [13] F. Ayari, H. Hamdi, N. Jedidi, N. Gharbi, and R. Kossai, "Heavy metal distribution in soil and plant in municipal solid waste compost amended plots," *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, no. 7 (3), pp. 465-472, 2010.
- [14] A. Tripathi, and D. R. Misra, "A study of physico-chemical properties and heavy metals in contaminated soils of municipal waste dumpsites at Allahabad India," *International Journal of Environmental Sciences*, vol. 2, no. 4, pp. 1-10, 2012.
- [15] О. В. Березюк, «Модельовання питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів твердих побутових відходів від забруднення важкими металами,» *Комунальне господарство міст. Серія: безпека життєдіяльності людини – освіта, наука, практика*, № 1 (120), с. 240-242, 2015.
- [16] Т. В. Воронкова, и С. Ю. Чудинов, «Теоретические аспекты водного баланса полигонов захоронения твердых бытовых отходов с системой рециркуляции фильтрата,» *Теоретическая и прикладная экология*, № 1, с. 13-16, 2013.
- [17] В. В. Попович, «Екологічна безпека фільтрату сміттєзвалищ,» на *Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи*, II Міжнародна науково-практична конференція, 4-6 листопада 2015 р., Львів, 2015, с. 165-166.
- [18] А. М. Гайдін, В. О. Дяків, В. Д. Погребенник, і А. В. Пашук, «Хімічний склад фільтрату Львівського полігону твердих побутових відходів,» *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*, № 10, с. 43-49, 2013.
- [16] О. В. Березюк, «Удосконалення математичної моделі концентрацій забруднювальних речовин у фільтраті полігонів твердих побутових відходів,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 4, с. 28-31, 2016.
- [20] О. В. Березюк, «Математичне моделювання прогнозування об'ємів утворення твердих побутових відходів та площ полігонів і сміттєзвалищ в Україні,» *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві*, наук.-техн. зб., № 2, с. 88-91, 2009.
- [21] О. В. Березюк, і М. С. Лемешев, «Динаміка кількості полігонів твердих побутових відходів в Україні, які не відповідають нормам,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 2, с. 18-22, 2022. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-161-2-18-22>.
- [22] Мінрегіон, *Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2015 рік*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2016/04/Zbortpv4-oblasti1.pdf>.
- [23] Мінрегіон, *Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2016 рік*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/03/TPV-4-20161.pdf>.
- [24] О. М. Климчик, і О. В. Горобець, *Сфера поводження з твердими побутовими відходами в Україні: проблеми та перспективи*, Publishing House "Baltija Publishing", 2021, с. 18-36. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-086-5-15>.
- [25] Мінрегіон, *Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2020 рік*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2021/06/rozdil-4-2020_oblasti.pdf.

[26] В. М. Михалевич, О. І. Шевчук, і Н. Л. Буга, «Математичні системи комп'ютерної алгебри як засіб підвищення ефективності і якості освітнього процесу з вищої математики.» *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методи-ки навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*, зб. наук. пр., вип. 14, с. 357-360, 2007.

[27] О. В. Березюк, «Комп'ютерна програма "Регресійний аналіз" ("RegAnaliz"),» *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 49486*, Київ: Державна служба інтелектуальної власності України, дата реєстрації: 03.06.2013.

[28] О. В. Березюк, «Определение регрессии коэффициента уплотнения твердых бытовых отходов от высоты полигона на основе компьютерной программы "RegAnaliz",» *Автоматизированные технологии и производства*, № 2 (8), с. 43-45, 2015.

[29] В. В. Попович, «Полігони твердих побутових відходів у вироблених кар'єрах, ярах, траншеях і особливості їх фітомеліорації,» *Науковий вісник НЛТУ України*, т. 22, № 11, с. 119-128, 2012.

[30] Верховна Рада України, *Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом та його державами-членами, з іншої сторони*, 2015, Лист. 30. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/984_011/page.

Рекомендована кафедрою будівництва, міського господарства та архітектури ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 15.11.2022

Березюк Олег Володимирович — д-р техн. наук, доцент, професор кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, e-mail: berezyukoleg@i.ua ;

Лемешев Михайло Степанович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

O. V. Bereziuk¹
M. S. Lemeshev¹

Number dynamics of overloaded MSW landfills in Ukraine

¹Vinnitsia National Technical University

Over the years 1999—2014, Ukraine saw an increase in the area of overloaded landfills and landfills that do not meet environmental safety standards, and in 2015—2020, the number of such landfills and landfills, on the contrary, decreased. Therefore, the determination of the regression dependence describing the dynamics of the number of overloaded landfills of municipal solid waste in Ukraine to solve the problem of handling municipal solid waste is an urgent scientific and technical task. The purpose of the study is to determine with the help of regression analysis of dependence, which describes the dynamics of the number of overloaded landfills of municipal solid waste in Ukraine to solve the problem of handling municipal solid waste. During the study, the method of regression analysis of the results of one-factor experiments and other paired dependencies was used with the selection of a more adequate type of function from the 16 most common options according to the criterion of the maximum correlation coefficient. Regression was carried out on the basis of linearizing transformations, which allow to reduce the non-linear dependence to a linear one. The coefficients of the regression equation were determined by the method of least squares using the developed computer program "RegAnaliz", which is protected by a certificate of copyright registration for the work. An adequate regression dependence was obtained, which describes the dynamics of the number of municipal solid waste landfills in Ukraine that do not meet the standards. A graphical dependence was constructed that describes the dynamics of the number of overloaded municipal solid waste landfills in Ukraine and allows to visually illustrate this dynamic, to show a sufficient convergence of theoretical and actual results. It was established that the number of overloaded municipal solid waste landfills in Ukraine decreased exponentially in 2015—2020. It is predicted that by 2030, the number of overloaded municipal solid waste landfills in Ukraine, at the current rate of decline, will decrease to 255 units.

Keywords: dynamics, municipal solid waste, overloaded landfill, landfill, regression analysis.

Bereziuk Oleh V. — Dr. Sc. (Eng.), Associated Professor, Professor of the Chair of Security of Life and Pedagogic of Security, e-mail: berezyukoleg@i.ua ;

Lemeshev Mykhailo S. — Cand. Sc. (Eng.), Associated Professor, Associated Professor of the Chair of Construction, Urban Economy and Architecture