

ДИНАМІКА ПОТРЕБИ У НОВИХ ПОЛІГОНАХ ЗАХОРОНЕННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ В УКРАЇНІ

¹Вінницький національний технічний університет

Згідно зі статистичними даними, протягом 2013—2021 років в Україні поступово зменшувалась потреба у нових полігонах твердих побутових відходів. Тому визначення регресійної залежності, що описує динаміку потреби у нових полігонах твердих побутових відходів у нашій країні, з метою вирішення проблеми поводження з такими відходами є актуальною науково-технічною задачею. Мета дослідження — визначення з використанням регресійного аналізу залежності, яка описує динаміку потреби у нових полігонах твердих побутових відходів у нашій країні, для вирішення проблеми поводження з такими відходами. Для дослідження використано відомий метод регресійного аналізу отриманих результатів проведених однофакторних експериментів та інших парних закономірностей з вибором найадекватнішого виду функції із шістнадцяти найпоширеніших варіантів за допомогою критерію максимального значення коефіцієнта кореляції. Ця регресія проводилась з використанням лінеаризувальних перетворень, що дають змогу звести нелінійну залежність до лінійної. Встановлення значень коефіцієнтів рівняння регресії здійснене методом найменших квадратів за використанням розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz", захищеної свідоцтвом, яке засвідчує реєстрацію авторського права на твір. Отримано адекватну регресійну залежність, яка здатна описати динаміку потреби у нових полігонах твердих побутових відходів у нашій країні. Побудовано графічну залежність, яка описує динаміку потреби у нових полігонах твердих побутових відходів у нашій країні та дозволяє наочно проілюструвати таку динаміку, довести достатню збіжність фактичних і теоретичних результатів. Встановлено, що в Україні потреба у нових полігонах твердих побутових відходів у 2013—2021 рр. спадала за степеневою залежністю. Спрогнозовано, що, за існуючих темпів спадання, потреба у нових полігонах твердих побутових відходів в Україні може зникнути до 2031 року.

Ключові слова: динаміка, тверді побутові відходи, потреба у нових полігонах, сміттєзвалище, регресійний аналіз.

Вступ

Проблема забруднення навколишнього природного середовища у нашій країні твердими побутовими, а також промисловими відходами висвітлена в багатьох роботах [1], [2]. Усім населеним пунктам нашої країни, а особливо великим містам притаманна проблема інтенсивного росту об'ємів накопичених відходів, що супроводжується великою небезпекою для стану довкілля, здоров'я та життя населення, негативним впливом на його санітарно-епідеміологічний стан. Не зважаючи на той факт, що частка твердих побутових відходів (ТПВ) складає лише 1,5 % від загальної об'єму відходів, утворених на території України, проблема поводження з такими відходами, що є гетерогенною сумішшю, є дуже складною. Це пов'язано з численною номенклатурою морфологічного складу ТПВ (кольорові та чорні метали, пластмаси, папір, текстиль, скло, рослинні та харчові залишки, кістки, каміння, гума тощо), наявністю небезпечних компонентів, великою кількістю джерел утворення та значною їхньою розосередженістю. Найпоширенішим методом поводження з ТПВ в Україні є їхнє захоронення на полігонах та сміттєзвалищах. Період 1999—2014 років в Україні характеризувався зростанням площ перевантажених сміттєзвалищ з пору-

шенням проектних показників щодо обсягів накопичення ТПВ, та тих сміттєзвалищ та полігонів, які не відповідають чинним нормам екобезпеки (відсутність дренажної системи, системи відведення фільтрату тощо). Це загрожувало безпосереднім впливом на стан навколишнього природного середовища поряд із житловими районами та загрожувало забрудненням твердими, газоподібними, рідкими шкідливими речовинами суміжних земельних ділянок, створюючи загрозу для безпеки життєдіяльності людини. В 2015—2021 роках, навпаки, поступово зменшувалась потреба у нових полігонах ТПВ, зокрема завдяки використанню первинної переробки ТПВ під час завантаження у сміттєвоз шляхом виконання технологічних операцій ущільнення, зневоднення та подрібнення. Тому визначення регресійної закономірності, що описує динаміку потреби у нових полігонах захоронення відходів у нашій країні з метою вирішення проблеми поводження з ТПВ становить актуальну науково-технічну задачу.

В роботі [3] досліджено забруднення важкими металами ґрунтів у місцях захоронення ТПВ, як одних із пріоритетних забруднювачів земельних ділянок. В матеріалах статті [4] запропоновано адекватну математичну модель, яка описує питомі енерговитрати очищення ґрунтів полігонів від забруднення важкими металами на базі визначених логарифмічних регресійних закономірностей питомих енерговитрат очищення ґрунтів прилеглих до полігонів захоронення ТПВ від концентрацій кадмію, свинцю та цинку.

Утворення фільтрату під час експлуатації полігонів ТПВ досліджується в статті [5]. Екологічна небезпека, яку становлять фільтраційні води, що утворюються на сміттєзвалищах, висвітлена в роботі [6]. В статті [7] опубліковано хімічний склад фільтрату на одному з полігонів захоронення ТПВ. В статті [8] удосконалено математичну модель, що описує концентрації забруднювальних речовин у фільтраті полігонів ТПВ на основі виявлених параметрів, які впливають на концентрації забруднювальних речовин, що містяться у цих фільтратах.

Дослідження, проведені в роботі [9], дозволили встановити гіперболічну регресійну залежність, яка описує динаміку кількості полігонів ТПВ у нашій країні, що не відповідають чинним нормам, а також спрогнозувати скорочення кількості полігонів ТПВ в Україні до 2030 року. В статті [10] встановлено, що у нашій країні кількість перевантажених полігонів захоронення ТПВ у 2015—2020 рр. знижувалась за експоненціальною залежністю.

В роботах [11], [12] наведено статистичні дані щодо потреби у нових полігонах ТПВ в Україні в 2013—2016 рр., відповідно в статті [13] — в 2017—2019 роки, а в роботах [14], [15] містяться аналогічні дані за 2020 р. та 2021 р. Однак конкретних математичних залежностей, що описують динаміку потреби у нових полігонах ТПВ в 2013—2021 рр. у нашій країні, в результаті аналізу відомих літературних джерел, авторами не виявлено.

Метою дослідження є визначення за використання регресійного аналізу залежності, яка описує динаміку потреби у нових полігонах захоронення відходів у нашій країні для вирішення проблеми поводження з ТПВ

Методи досліджень

Для визначення регресійної закономірності, яка описує динаміку потреби у нових полігонах ТПВ у нашій країні, використано такі відомі методи: регресійного аналізу отриманих результатів проведених однофакторних експериментів та інших парних закономірностей, а також комп'ютерного моделювання.

Регресія проводилась за використання лінеаризувальних перетворень, що дають змогу звести нелінійну залежність до лінійної. В дослідженні використано відомий метод регресійного аналізу отриманих результатів проведених однофакторних експериментів та інших парних закономірностей з вибором найадекватнішого виду функції із шістнадцяти найпоширеніших варіантів за критерієм максимального значення коефіцієнта кореляції, зі збереженням одержаних результатів в форматах Microsoft Excel та Bitmap. Встановлення значень коефіцієнтів рівняння регресії здійснено методом найменших квадратів, використовуючи розроблену комп'ютерну програму "RegAnaliz", що захищена свідоцтвом, яке засвідчує реєстрацію авторського права на твір [16]. Ця програма детально описана в роботі [17].

Результати досліджень

У табл. 1 показано офіційні статистичні дані, наведені Міністерством розвитку громад та територій України за 2013—2021 рр. щодо динаміки потреби у нових полігонах ТПВ в Україні в різні

роки [11]—[15]. Протягом зазначеного періоду зменшення потреби у нових полігонах ТПВ в Україні пояснюється періодичним ущільненням відходів в місцях їхнього захоронення [16], поступовим зростанням поширеності переробки та утилізації, вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів ТПВ, що є одним з основних пунктів тексту Угоди про асоціацію, підписаною між ЄС з однієї сторони та Україною з іншої [18].

Таблиця 1

Статистичні дані за 2013–2021 рр. щодо динаміки потреби у нових полігонах ТПВ в Україні [11]—[15]

Рік	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Потреба у нових полігонах ТПВ в Україні, од.	626	576	524	464	424	421	384	318	288

На основі даних, поданих в табл. 1, планувалось отримати математичну модель у вигляді парної регресійної закономірності потреби у нових полігонах захоронення ТПВ у нашій країні. Оскільки аргументом регресійної закономірності є рік, порядок значень якого на 3 порядки є більшим за порядок ширини діапазону його варіювання, то для підвищення точності регресійної закономірності пропонується за початок координат взяти рік, що передусє початку досліджуваного інтервалу часу ($x = t - 2012$).

Результати проведеного регресійного аналізу показані в табл. 2, де сірим фоном позначено комірки з видом регресії, що має максимальне значення коефіцієнта кореляції R .

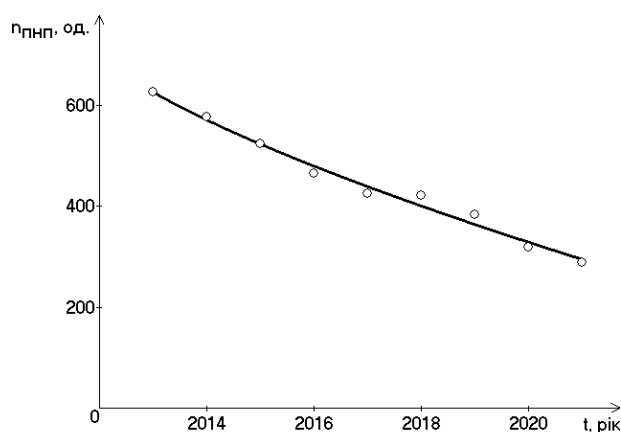
Таблиця 2

Результати проведеного регресійного аналізу щодо динаміки потреби у нових полігонах ТПВ у нашій країні

№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R	№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R
1	$y = a + bx$	0,98997	9	$y = ax^b$	0,93536
2	$y = 1 / (a + bx)$	0,97352	10	$y = a + b \cdot \lg x$	0,96823
3	$y = a + b / x$	0,85820	11	$y = a + b \cdot \ln x$	0,96823
4	$y = x / (a + bx)$	0,97629	12	$y = a / (b + x)$	0,97352
5	$y = ab^x$	0,98902	13	$y = ax / (b + x)$	0,73794
6	$y = ae^{bx}$	0,98902	14	$y = ae^{b/x}$	0,80192
7	$y = a \cdot 10^{bx}$	0,98902	15	$y = a \cdot 10^{b/x}$	0,80192
8	$y = 1 / (a + be^{-x})$	0,65230	16	$y = a + bx^a$	0,99276

Отже, за результатами проведеного регресійного аналізу на базі даних табл. 1, як найадекватнішу за критерієм максимального значення коефіцієнта кореляції, остаточно взято таку регресійну закономірність

$$n_{\text{ПНП}} = 710,8 - 84,89(t - 2012)^{0,7236} \text{ [од.]}, \quad (1)$$



Залежність, що описує \circ — фактичну та
— теоретичну динаміку потреби у нових
полігонах ТПВ в Україні в 2013—2021 рр.

де t — рік; $n_{\text{ПНП}}$ — потреба у нових полігонах ТПВ в Україні, од.

На рисунку зображено графічну залежність, що ілюструє динаміку потреби у нових полігонах ТПВ в Україні, побудовану з використанням рівняння регресії (1), яка підтверджує раніше визначену прийнятну збіжність отриманої теоретичної закономірності порівняно з даними, наведеними в роботах [11]—[15]. Аналіз цієї графічної залежності показав, що в Україні потреба у нових полігонах ТПВ у 2013—2021 рр. спадала за степеневу залежністю.

Використовуючи залежність (1), можна спрогнозувати, що, за існуючих темпів спадання, потреба у нових полігонах ТПВ в Україні може зникнути ($n_{\text{ПНП}} = 0$) до 2031 року.

$$t = \left(\frac{710,8 - n_{\text{ПНП}}}{84,89} \right)^{\frac{1}{0,7236}} + 2012 = \left(\frac{710,8 - 0}{84,89} \right)^{\frac{1}{0,7236}} + 2012 \approx 2031 \text{ (рік)}.$$

Висновки

1. Визначено регресійну залежність, що описує динаміку потреби у нових полігонах ТПВ у нашій країні та дозволяє спрогнозувати цю потребу. Це потрібно для вирішення проблеми поводження з твердими побутовими відходами.

2. Побудовано графічну інтерпретацію залежності, яка ілюструє динаміку потреби у нових полігонах захоронення твердих побутових відходів у нашій країні та дозволяє наглядно проілюструвати таку динаміку, а також показати достатню збіжність теоретичних результатів з фактичними значеннями.

3. Встановлено, що в Україні потреба у нових полігонах твердих побутових відходів у 2013—2021 рр. спадала за степеневу залежністю.

4. Спрогнозовано, що за наявних темпів спадання, потреба у нових полігонах твердих побутових відходів в Україні може зникнути до 2031 року.

5. Врахування впливу чинників на потребу у нових полігонах твердих побутових відходів в Україні вимагає проведення подальших досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] О. М. Синюк, «Наукові основи проектування обладнання для переробки полімерних відходів у виробі легкої промисловості.» дис. д-ра техн. наук, фак-т інформ., Хмельн. нац. ун-т, Хмельницький, 2018.
- [2] О. В. Березюк, «Динаміка зношеності сміттєвозів у Вінницькій області.» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 5, с. 16-21, 2022. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-164-5-16-21>.
- [3] 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.
- [4] О. В. Березюк, «Моделювання 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.
- [5] 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.
- [6] В. В. Попович, «Екологічна небезпека фільтрату сміттєзвалищ.» *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.
- [7] 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.
- [8] О. В. Березюк, «Удосконалення математичної моделі концентрацій забруднювальних речовин у фільтраті полігонів твердих побутових відходів.» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 4, с. 28-31, 2016.
- [9] 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>.
- [10] О. В. Березюк, і М. С. Лемешев, «Динаміка кількості перевантажених полігонів твердих побутових відходів в Україні.» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 6, с. 13-17, 2022. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-165-6-13-17>.
- [11] Мінрегіон, *Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2013 рік*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2016/01/rozdil-4_oblasti.pdf.
- [12] 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>.
- [13] 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>.
- [14] 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.
- [15] Мінрегіон, *Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2021 рік*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/05/rozdil-4_oblasti-2021.xls.
- [16] О. В. Березюк, «Комп'ютерна програма "Регресійний аналіз" ("RegAnaliz").» *Свідчення про реєстрацію авторського права на твір № 49486*, Київ: Державна служба інтелектуальної власності України, дата реєстрації: 03.06.2013.
- [17] 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.
- [18] 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 02.03.2023

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

Dynamics of the Need for New SMW Disposal Landfills in Ukraine

¹Vinnytsia National Technical University

According to statistical data, during 2013—2021, the need for new municipal solid waste landfills in Ukraine gradually decreased. Therefore, the determination of the regression dependence, which describes the dynamics of the need for new landfills for solid municipal waste in our country, in order to solve the problem of handling solid municipal waste, is an urgent scientific and technical task. The purpose of the study is to determine, using regression analysis, the dependence that describes the dynamics of the need for new solid waste landfills in our country in order to solve the problem of solid waste management. The well-known method of regression analysis of the results of single-factor experiments and other paired regularities with the selection of the most adequate type of function from the sixteen most common options using the criterion of the maximum value of the correlation coefficient was used in the research. This regression was carried out based on linearizing transformations, which make it possible to reduce a nonlinear dependence to a linear one. The determination of the values of the coefficients of the regression equation was carried out by the method of least squares using the developed computer program "RegAnalyz", which is protected by a Certificate of the state registration of the rights to the copyright object. An adequate regression dependence was obtained, which enables to describe the dynamics of the need for new solid municipal waste landfills in our country. A graphical dependence has been constructed that describes the dynamics of the need for new solid municipal waste landfills in our country and allows to visually illustrate such dynamics, to prove a sufficient convergence of actual and theoretical results. It was established that in our country the need for new solid waste landfills in 2013—2021 decreased exponentially. It is predicted that, at the current rates of decline, the need for new municipal solid waste landfills in Ukraine may disappear by 2031.

Keywords: dynamics, solid municipal waste, need for new landfills, landfill, regression analysis.

Bereziuk Oleg 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