

ДИНАМІКА КІЛЬКОСТІ ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ В УКРАЇНІ, ЯКІ НЕ ВІДПОВІДАЮТЬ НОРМАМ

¹Вінницький національний технічний університет

Лише протягом 1999—2014 років в Україні майже в 2 рази зросла площа перевантажених та більше ніж в 3,1 рази полігонів і сміттєзвалищ, які не відповідають нормам екологічної безпеки. Тому визначення регресійної залежності, що описує динаміку кількості полігонів твердих побутових відходів в Україні, які не відповідають нормам, для вирішення проблеми поводження з твердими побутовими відходами є актуальною науково-технічною задачею. Розв'язання цієї задачі і є метою дослідження. Під час дослідження використано метод регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей з вибором адекватнішого виду функції із 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 полігонів твердих побутових відходів в Україні, які не відповідають нормам, та дозволяє наглядно проілюструвати цю динаміку, показати достатню збіжність теоретичних та фактичних результатів. Встановлено, що в Україні кількість полігонів твердих побутових відходів, які не відповідають нормам у 2016—2020 роках спадала за гіперболічною залежністю. Спрогнозовано, що до 2030 року кількість полігонів твердих побутових відходів в Україні, які не відповідають нормам, за існуючих темпів спадання, скоротиться до 759 одиниць.

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

Вступ

Багато публікацій висвітлює проблему забруднення твердими побутовими та промисловими відходами навколишнього середовища [1]—[10]. Проблема інтенсивного росту і накопичення відходів притаманна усім населеним пунктам України, особливо великим містам. Незважаючи на те, що частка твердих побутових відходів (ТПВ) у загальному об'ємі відходів, які утворюються в Україні, становить лише близько 1,5 %, проблема поводження з такими відходами є надзвичайно складною. Це, зокрема, пов'язано з великою різноманітністю компонентів, що входять до складу ТПВ, наявністю небезпечних складників, великою кількістю джерел утворення побутових відходів та значною їх розосередженістю. Основним методом поводження з ТПВ в Україні є їх захоронення на полігонах та сміттєзвалищах. Лише протягом 1999—2014 рр. в Україні майже в 2 рази зросла площа перевантажених та більше ніж в 3,1 рази тих полігонів і сміттєзвалищ, які не відповідають нормам екологічної безпеки, а тому безпосередньо впливають на стан навколишнього середовища поблизу житлових районів і можуть становити небезпеку забруднення шкідливими речовинами (твердими [1], газоподібними [10], рідкими) суміжних земельних ділянок, що становить загрозу для безпеки життя і діяльності людини. З метою зменшення темпів зростання площ земельних ділянок під захоронення ТПВ, вони підлягають первинній переробці під час завантаження у сміт-

тєвоз шляхом ущільнення [7], зневоднення [8] та подрібнення. Тому визначення регресійної залежності, що описує динаміку кількості полігонів ТПВ в Україні, які не відповідають нормам для вирішення проблеми поводження з твердими побутовими відходами є актуальною науково-технічною задачею.

В роботах [11]—[14] вказано про значне забруднення важкими металами ґрунтів через захоронення ТПВ. В статті [15] визначено логарифмічні регресійні залежності питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів ТПВ через забруднення важкими металами від зменшення концентрацій кадмію, свинцю та цинку, які використані для побудови математичної моделі питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів від забруднення важкими металами.

В статті [16] розглянуто проблему утворення фільтраційних вод, що утворюються під час експлуатації полігонів захоронення ТПВ. Робота [17] розглядає екологічну небезпеку фільтрату сміттєзвалищ. В статті [18] наведено хімічний склад фільтрату одного з полігонів ТПВ. В роботі [19] виявлено параметри, від яких залежать концентрації забруднюючих речовин у фільтраті полігонів ТПВ, а також удосконалено математичну модель концентрацій забруднювальних речовин у фільтраті полігонів.

В статті [20] отримано регресійні залежності, які дозволяють описувати динаміку зміни площ полігонів та сміттєзвалищ в Україні в 1999—2007 рр. При цьому встановлено, що за досліджений період загальна площа полігонів та сміттєзвалищ, а також тих, що не відповідають нормам екобезпеки, 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 екобезпеки зростала щорічно майже лінійно.

В роботі [21] наведено статистичні дані щодо кількості полігонів ТПВ в Україні, які не відповідають нормам в 2016 р., в статті [22] — в 2017—2019 роки, а в роботі [23] містяться аналогічні дані за 2020 р. Однак конкретних математичних залежностей, що описують динаміку в 2016—2020 рр. кількості полігонів ТПВ в Україні, які не відповідають нормам, в результаті аналізу відомих публікацій, авторами не виявлено.

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

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

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 із 16 найпоширеніших варіантів за критерієм максимального значення коефіцієнта кореляції зі збереженням результатів в форматі MS Excel та Bitmap. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювалась методом найменших квадратів [24] за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz", яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір [25] і детально описана в роботі [26].

Результати досліджень

В табл. 1 наведено офіційні статистичні дані Міністерства розвитку громад та територій України за 2016—2020 рр. щодо динаміки кількості полігонів ТПВ в Україні, які не відповідають нормам в різні роки [21]—[23]. Зменшення протягом зазначеного періоду часу кількості полігонів ТПВ в Україні, які не відповідають нормам, пояснюється поступовим закриттям перевантажених полігонів та приведенням до екологічних норм наявних шляхом рекультивациі, фітомеліорації тощо [27] як елемента системи управління ТПВ, що є одним із пунктів Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом [28].

Таблиця 1

Статистичні дані за 2016—2020 рр. щодо динаміки кількості полігонів ТПВ в Україні, які не відповідають нормам [21]—[23]

Рік	2016	2017	2018	2019	2020
Кількість полігонів ТПВ в Україні, які не відповідають нормам	1646	1347	984	905	868

На основі даних табл. 1 планувалось отримати математичну модель у вигляді парної регресійної залежності кількості полігонів ТПВ в Україні, які не відповідають нормам. Оскільки аргумен-

том 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 ($x = t - 2015$).

Результати регресійного аналізу наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати регресійного аналізу динаміки кількості полігонів ТПВ в Україні, які не відповідають нормам

№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R	№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R
1	$y = a + bx$	0,93985	9	$y = axb$	0,98076
2	$y = 1/(a + bx)$	0,96475	10	$y = a + b \cdot \lg x$	0,96229
3	$y = a + b/x$	0,96649	11	$y = a + b \cdot \ln x$	0,96229
4	$y = x/(a + bx)$	0,95701	12	$y = a/(b + x)$	0,96475
5	$y = abx$	0,95384	13	$y = ax/(b + x)$	0,93015
6	$y = aebx$	0,95384	14	$y = aeb/x$	0,94962
7	$y = a \cdot 10bx$	0,95384	15	$y = a \cdot 10b/x$	0,94962
8	$y = 1/(a + be^{-x})$	0,92585	16	$y = a + bxn$	0,85994

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

$$n_{\text{ПНВН}} = 692,7 + \frac{1001}{t - 2015} \text{ [од.]} \quad (1)$$

де $n_{\text{ПНВН}}$ — кількість полігонів ТПВ в Україні, які не відповідають нормам, од.; t — рік.

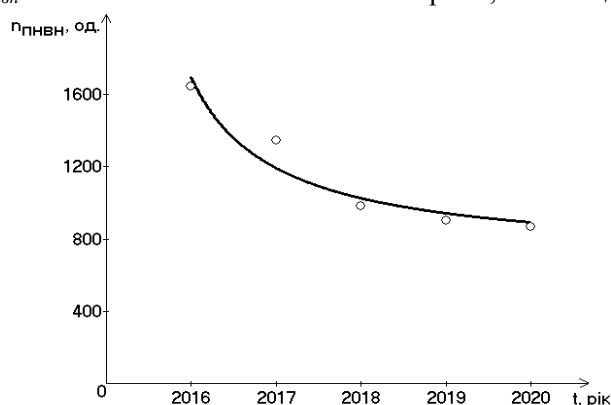


Рис. 1. Залежність, що описує: \circ — фактичну; — теоретичну динаміку кількості полігонів ТПВ в Україні в 2016—2020 рр., які не відповідають нормам

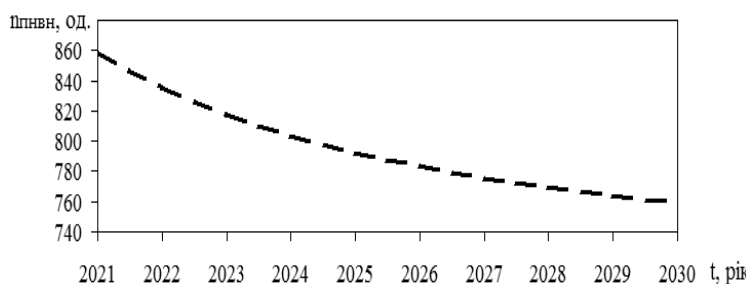


Рис. 2. Прогноз кількості полігонів ТПВ в Україні, які не відповідають нормам

На рис. 1 показано графічну залежність, що описує динаміку кількості полігонів ТПВ в Україні, які не відповідають нормам, побудовану за допомогою рівняння регресії (1), що підтверджує визначену раніше достатню збіжність отриманої теоретичної залежності порівняно з даними, наведеними в роботах [21], [22].

Аналіз графічної залежності (рис. 1) показав, що в Україні кількість полігонів ТПВ, які не відповідають нормам у 2016—2020 рр. спадала за гіперболічною залежністю. Результати прогнозу за допомогою (1) кількості полігонів ТПВ в Україні, які не відповідають нормам показані на рис. 2.

Використовуючи залежність (1) можна спрогнозувати, що до 2030 року кількість полігонів ТПВ в Україні, які не відповідають нормам, за існуючих темпів спадання, скоротиться до 759 од.

Висновки

1. Визначено регресійну залежність, що описує динаміку кількості полігонів ТПВ в Україні, які не відповідають нормам та дозволяє її прогнозувати, що необхідно для вирішення проблеми поведінки з твердими побутовими відходами.

2. Побудовано графічну залежність, що описує динаміку кількості полігонів ТПВ в Україні, які не відповідають нормам та дозволяє наглядно проілюструвати цю динаміку, показати достатню збіжність теоретичних та фактичних результатів.

3. Встановлено, що в Україні кількість полігонів ТПВ, які не відповідають нормам у

2016—2020 рр. спадала за гіперболічною залежністю.

4. Спрогнозовано, що до 2030 року кількість полігонів ТПВ в Україні, які не відповідають нормам, за існуючих темпів спадання, скоротиться до 759 одиниць.

5. Врахування впливу чинників на кількість полігонів ТПВ в Україні, які не відповідають нормам, 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 О. С. Сідлак, «Використання золи виносу ТЕС у будівельних матеріалах.» *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві*, № 1 (16), с. 35-40, 2014.
- [3] В. П. Ковальський, і А. В. Бондарь, «Шламозолокарбонатний прес-бетон на основі відходів промисловості.» на *XXIV Міжнар. наук.-практ. конф. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*, Харків, 2015, с. 209.
- [4] O. Berezyuk, and V. Savulyak, "Approximated mathematical model of hydraulic drive of container upturning during loading of solid domestic wastes into a dustcart," *Technical Sciences*, no. 20 (3), pp. 259-273, 2017.
- [5] В. В. Попович, О. В. Придатко, М. І. Сичевський, Н. П. Попович, і М. А. Панасюк, «Ефективність експлуатації сміттєвезів у середовищі "місто-сміттєзвалище",» *Науковий вісник НЛТУ України*, т. 27, № 10, с. 111-116, 2017.
- [6] 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. [Electronic resource]. Available: <http://dx.doi.org/10.15199/48.2019.04.26>.
- [7] 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.
- [8] O. V. Bereziuk, M. S. Lemeshev, V. V. Bohachuk, and M. Duk, "Means for measuring relative humidity of municipal solid wastes based on the microcontroller Arduino UNO R3," *Proc. SPIE, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2018*, vol. 10808, no. 108083G, 2018. <https://doi.org/10.1117/12.2501557>.
- [9] О. А. Сагдеева, Г. В. Крусір, і 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, «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.
- [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 як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи» (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: Науково-технічний збірник*, № 2, с. 88-91, 2009.
- [21] 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>.
- [22] О. М. Климчик, і О. В. Горобець, «Сфера поводження з твердими побутовими відходами в Україні: проблеми та перспективи.» *Publishing House "Baltija Publishing"*, с. 18-36, 2021. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-086-5-15>.
- [23] 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.
- [24] 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 навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*, зб. наук. праць, вип. 14, с. 357-360, 2007.
- [25] 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.

[26] 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.

[27] В. В. Попович, «Полигоны твердых побутовых відходів у вироблених кар'єрах, ярах, траншеях і особливості їх фітомеліорації», *Науковий вісник НЛТУ України*, т. 22, № 11, с. 119-128.

[28] Верховна Рада України. (2015, Лист. 30). *Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом та його державами-членами, з іншої сторони*. [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 14.01.2022

Березюк Олег Володимирович — д-р техн. наук, доцент, доцент 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 Number of Solid Waste Landfills in Ukraine, which do not Meet the Standards

¹Vinnitsia National Technical University

Only during 1999—2014 in Ukraine the area of overloaded and more than 3.1 times those municipal solid waste landfills and dumps that do not meet environmental safety standards increased almost 2 times. Therefore, the definition of regression dependence, which describes the dynamics of the number of landfills in Ukraine that do not meet the standards for solving the problem of municipal solid waste management is an urgent scientific and technical task. The aim of the study is to determine the dependence by regression analysis, which describes the dynamics of the number of municipal solid waste landfills in Ukraine that do not meet the standards for solving the problem of municipal solid waste management. The study used the method of regression analysis of the results of one-factor experiments and other pair dependencies with the choice of a more adequate type of function from the 16 most common options by the criterion of maximum correlation coefficient. The regression was performed on the basis of linearizing transformations, which allow to reduce the nonlinear dependence to the linear one. The coefficients of the regression equation were determined by the method of least squares with the help of the developed computer program "RegAnaliz", which is protected by a copyright registration certificate for the work. Adequate regression dependence is obtained, which describes the dynamics of the number of municipal solid waste landfills in Ukraine that do not meet the standards. A graphical dependence is constructed, which describes the dynamics of the number of municipal solid waste landfills in Ukraine that do not meet the standards and allows to clearly illustrate this dynamics, to show sufficient convergence of theoretical and actual results. It is established that in Ukraine the number of landfills for non-compliant municipal solid waste in 2016—2020 decreased by hyperbolic dependence. It is projected that by 2030 the number of landfills in Ukraine that do not meet the standards, at the current rate of decline, will be reduced to 759 units.

Keywords: dynamics, municipal solid waste, landfill, dump, compliance, regression analysis.

Bereziuk Oleg V. — Dr. Sc. (Eng.), Associated Professor, Associated 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