

О. В. Березюк, к. т. н., доц.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ПОШИРНОСТІ МЕТОДІВ ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ В УКРАЇНІ

Метою дослідження є визначення регресійних залежностей, що описують динаміку поширеності методів поводження з твердими побутовими відходами в Україні. Серед основних методів поводження з твердими побутовими відходами розглянуто такі: захоронення, спалювання, переробку та повторне використання, компостування. Під час дослідження використано метод регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей із вибором кращого виду функції із найпоширеніших варіантів за критерієм максимального коефіцієнта кореляції. Регресію проводили на основі лінеаризувальних перетворень, які дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювали методом найменших квадратів за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz", захищеної свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір. Отримано адекватні регресійні залежності, що описують динаміку поширеності методів поводження з твердими побутовими відходами в Україні та дозволяють прогнозувати поширеність таких методів поводження з відходами як захоронення, спалювання, переробка та повторне використання, компостування. Побудовано графічні залежності, що описують динаміку поширеності методів поводження з твердими побутовими відходами та дозволяють наочно проілюструвати цю динаміку та показати достатню збіжність теоретичних і фактичних результатів. Установлено, що в Україні поширеність захоронення твердих побутових відходів спадає гіперболічно, спалювання змінюється за квадратичною залежністю, переробка та повторне використання зростає гіперболічно, а компостування зростає за степеневою залежністю. А найінтенсивніше зростає поширеність компостування твердих побутових відходів. Спрогнозовано таку поширеність методів поводження з твердими побутовими відходами в Україні у 2021 році: захоронення – 93,68%, спалювання – 0,41%, переробка та повторне використання – 4,02%, компостування – 0,121%.

Ключові слова: сміттєвоз, тверді побутові відходи, захоронення, спалювання, переробка, повторне використання, компостування, динаміка, регресійний аналіз.

Вступ

На сьогодні важливою є проблема твердих побутових відходів (ТПВ) [1], щорічний об'єм яких у населених пунктах України перевищує 54 млн. м³, переважну більшість яких вивозять на полігони й сміттєзвалища [2] площею майже 7700 га, що становить серйозну загрозу для охорони здоров'я та безпеки навколишнього середовища [3]. Решту частково переробляють й утилізують на сміттєспалювальних заводах [4]. Протягом 1999 - 2014 рр. у три рази збільшилась сумарна площа полігонів і сміттєзвалищ в Україні. Також майже у два рази зросла площа перевантажених та більше ніж у 3,1 рази тих полігонів і сміттєзвалищ, що порушують норми екологічної безпеки. Тільки на транспортування ТПВ 4000 сміттєвозами до місця утилізації за межі санітарної зони в 30 км в Україні щороку витрачають більше 45 тис. т пального [5, 6]. Зношеність автопарку сміттєвозів комунальних підприємств України сягає майже 70 %. Постанова Кабінету Міністрів України № 265 [7] стала основою для розробки Національної стратегії поводження з ТПВ на території України. У таких розвинутих країнах ЄС, як Швеція та Данія поширеність спалювання ТПВ із використанням енергії сягає більше 50% від загальної сукупності шляхів поводження з ТПВ [8, 9]. Актуальність дослідження системи управління ТПВ зумовлює один із пунктів Угоди про асоціацію між ЄС та Україною [10].

Постановка проблеми

Серед пріоритетних напрямів поводження з ТПВ в Україні, відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 265, є забезпечення застосування сучасних високоефективних сміттевозів [7], тому визначення регресійних залежностей, які описують поширеності методів поводження з ТПВ в Україні і можуть бути використані під час визначення необхідної кількості сміттевозів для збирання та транспортування твердих побутових відходів, є актуальним науково-технічним завданням як одним зі складників для розв'язання проблеми створення науково-технічних основ проєктування високоефективних робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботах [8, 9, 11] наводять статистичні дані щодо поширеності шляхів поводження з ТПВ у різних країнах. У статті [12] наведено регресійні моделі поширеності таких способів поводження з ТПВ, як захоронення та спалювання. Поширеність компостування як методу поводження з ТПВ змодельована в роботі [13]. У статті [14] описано моделювання поширеності способів утилізації звалищного газу. Оцінка утворення небезпечних побутових відходів у Східній Європі наведена у статті [15]. У роботі [16] досліджено динаміку поширеності методів поводження з ТПВ в ЄС, визначено відповідні регресійні залежності, які дозволяють прогнозувати динаміку поширеності цих методів. У статті [17] запропоновано регресійні залежності, що описують динаміку зменшення кількості сміттєзвалищ у США та в Україні, а також наведено порівняння динаміки зменшення кількості сміттєзвалищ у цих країнах. Поширеність спалювання ТПВ з утилізацією енергії досліджено в роботі [18]. Статистичні дані щодо поширеності шляхів поводження з ТПВ в Україні наведено на сайті [19]. Однак у результаті аналізу відомих публікацій не виявлено конкретні математичні залежності, що описують динаміку поширеності методів поводження з ТПВ в Україні.

Мета і завдання статті

Метою цієї статті є побудова за допомогою регресійного аналізу регресійних залежностей, які описують динаміку поширеності методів поводження з ТПВ в Україні та можуть бути використані під час визначення необхідної кількості сміттевозів для збирання та транспортування твердих побутових відходів.

Методи й матеріали

Для визначення регресійних залежностей, які описують динаміку поширеності методів поводження з ТПВ в Україні використано такі методи: метод регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей, метод комп'ютерного моделювання.

Результати досліджень

У таблиці 1 показано динаміку поширеності методів поводження з ТПВ в Україні [19]. На основі даних таблиці 1 планували отримати парні регресійні залежності, які описують динаміку поширеності методів поводження з ТПВ в Україні.

Регресії проводили на основі лінеаризувальних перетворень, які дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювали методом найменших квадратів за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz", захищеної свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір і детально описаної в роботі [20].

Результати регресійного аналізу наведено в таблиці 2, де сірим кольором позначено

комірку з максимальним значенням коефіцієнта кореляції R .

Таблиця 1

Поширеність методів поводження з ТПВ в Україні в різні роки [19]

Рік	Поширеність методів поводження з ТПВ в Україні, %			
	захоронення	спалювання	переробка + повторне використання	компостування
2013	96,34	1,15	2,51	0,00000
2014	95,80	1,66	2,54	0,00000
2015	93,46	2,98	3,52	0,00390
2016	94,20	2,71	3,09	0,00410
2017	93,35	2,48	4,17	0,00721
2018	94,23	2,02	3,72	0,02457

Отже, за результатами регресійного аналізу, на основі даних таблиці 1 як найбільш адекватні остаточно прийнято такі регресійні залежності:

$$P_{зах} = \frac{t - 2012}{0,01071(t - 2012) - 0,0003134} [\%]; \quad (1)$$

$$P_{спал} = -0,3302 + 1,569(t - 2012) - 0,1974(t - 2012)^2 [\%]; \quad (2)$$

$$P_{пне} = \frac{t - 2012}{0,2496 + 0,2212(t - 2012)} [\%]; \quad (3)$$

$$P_{коми} = 3,934 \cdot 10^{-6} + 1,479 \cdot 10^{-5}(t - 2012)^{4,1} [\%], \quad (4)$$

де $P_{зах}$, $P_{спал}$, $P_{пне}$, $P_{коми}$ – поширеність захоронення, спалювання, переробки та повторного використання, компостування ТПВ відповідно, %; t – рік.

Таблиця 2

Результати регресійного аналізу динаміки поширеності методів поводження з ТПВ в Україні

№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R			
		$P_{зах} = f(t - 2012)$	$P_{спал} = f(t - 2012)$	$P_{пне} = f(t - 2012)$	$P_{коми} = f(t - 2012)$
1	$y = a + bx$	0,74292	0,50802	0,84480	0,83975
2	$y = 1 / (a + bx)$	0,73975	0,65219	0,86505	0,90697
3	$y = a + b / x$	0,84724	0,76506	0,77090	0,58082
4	$y = x / (a + bx)$	0,99992	0,90912	0,96185	0,81876
5	$y = ab^x$	0,74134	0,59024	0,85708	0,82835
6	$y = ae^{bx}$	0,74134	0,59024	0,85708	0,82871
7	$y = a \cdot 10^{bx}$	0,74134	0,59024	0,85708	0,82835
8	$y = 1 / (a + be^{-x})$	0,85500	0,92793	0,80227	0,84954
9	$y = ax^b$	0,83180	0,75370	0,85907	0,87685
10	$y = a + b \cdot \lg x$	0,83347	0,67414	0,83991	0,72019
11	$y = a + b \cdot \ln x$	0,83347	0,67414	0,83991	0,72019
12	$y = a / (b + x)$	0,73975	0,65219	0,86505	0,90697
13	$y = ax / (b + x)$	0,84371	0,90241	0,81474	0,85946
14	$y = ae^{b/x}$	0,84548	0,84297	0,79473	0,84476
15	$y = a \cdot 10^{b/x}$	0,84548	0,84297	0,79473	0,84465
16	$y = a + bx^n$	0,62171	0,33742	0,79728	0,97284
17	$y = a + bx + cx^2$	–	0,93322	–	–

На рис. 1 показані фактичні та теоретичні графічні залежності, які описують динаміку поширеності методів поводження з ТПВ в Україні.

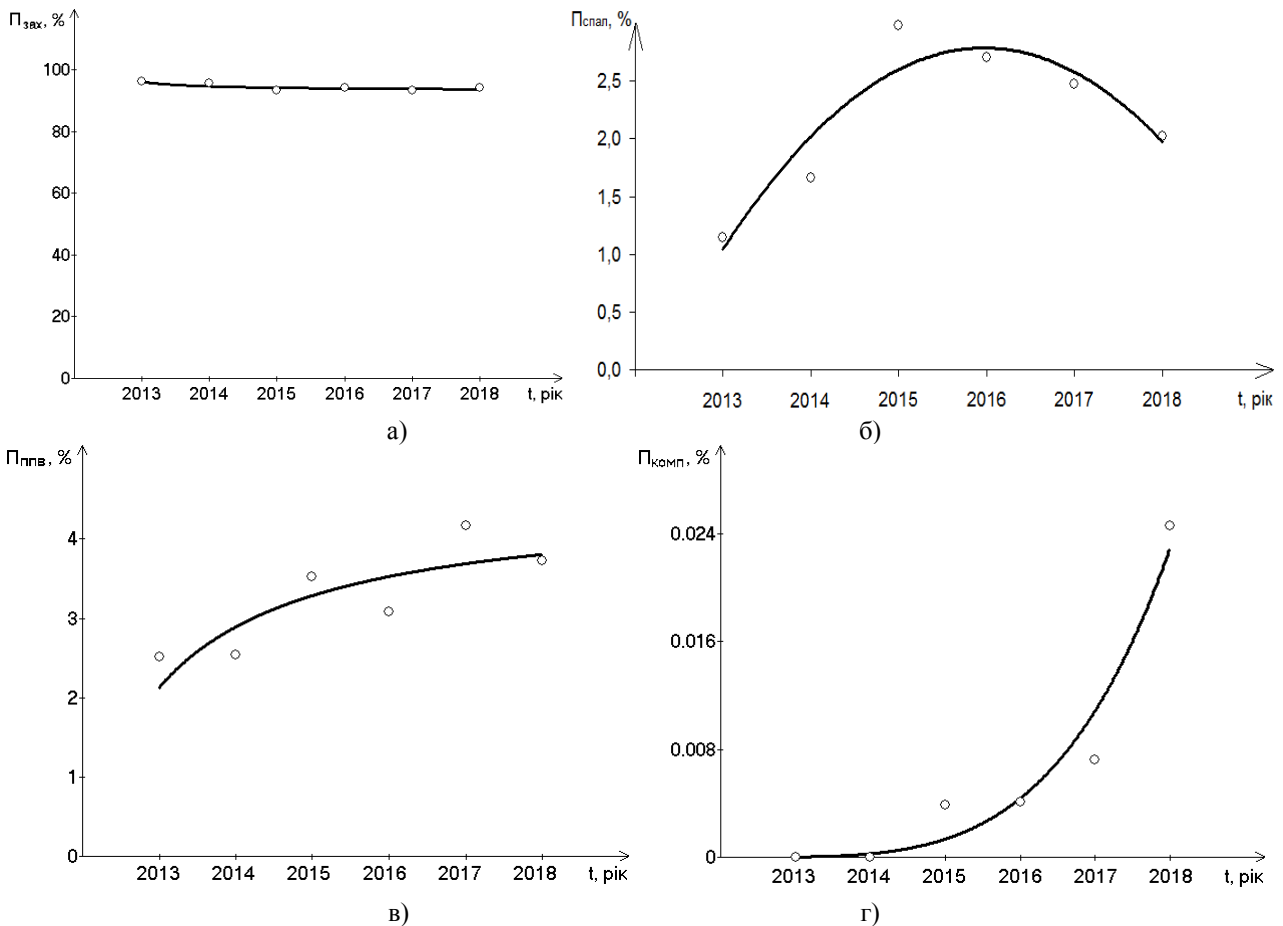


Рис. 1. Залежності, які описують динаміку поширеності методів поводження з ТПВ: (а) захоронення, (б) спалювання, (в) переробка та повторне використання, (г) компостування в Україні протягом 2013 - 2018 рр.: фактична \circ , теоретична —

Порівняння фактичних і теоретичних даних показало, що теоретична динаміка поширеності методів поводження з ТПВ в Україні, розрахована за допомогою рівнянь регресії (1) – (4), несуттєво відрізняється від даних, наведених у [19], що підтверджує визначену раніше достатню точність отриманих залежностей.

Як видно із рис. 1, в Україні протягом 2013 - 2018 рр. поширеність захоронення ТПВ спадає гіперболічно, спалювання змінюється за квадратичною залежністю, переробки та повторного використання зростає гіперболічно, а компостування зростає за степеневою залежністю. А найінтенсивніше зростає поширеність компостування ТПВ.

Використовуючи залежності (1) – (4), можна спрогнозувати таку поширеність методів поводження з ТПВ в Україні у 2021 році: захоронення – 93,68%, спалювання – 0,41%, переробка та повторне використання – 4,02%, компостування – 0,121%. Навіть за такого зростання поширеності компостування ТПВ в Україні можливо, згідно із залежністю (4), дорівнятись до сучасної поширеності компостування в ЄС лише у 2043 році, що підтверджує необхідність широкого впровадження в нашій державі сучасних технологій переробки та утилізації ТПВ.

Висновки

1. Визначено регресійні залежності, які описують динаміку поширеності методів поводження з твердих побутових відходів в Україні й можуть бути використані під час визначення необхідної кількості сміттєвозів для їхнього збирання та транспортування.

2. Побудовано графічні залежності, що описують динаміку поширеності методів

поводження з твердими побутовими відходами в Україні та дозволяють наочно проілюструвати цю динаміку та показати достатню збіжність теоретичних результатів із фактичними.

3. Результати застосування запропонованої прогностичної моделі поширеності методів поводження з твердими побутовими відходами в Україні підтверджують необхідність широкого впровадження в нашій країні сучасних технологій переробки та утилізації твердих побутових відходів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мороз О. В. Економічні аспекти вирішення екологічних проблем утилізації твердих побутових відходів : монографія / О. В. Мороз, А. О. Свентух, О. Т. Свентух. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 110 с.
2. Попович В. В. Ефективність експлуатації сміттєвозів у середовищі "місто-сміттєзвалище" / В. В. Попович, О. В. Придатко, М. І. Сичевський // Науковий вісник НЛТУ України. – 2017. – Т. 27, № 10. – С. 111 – 116.
3. Hamer G. Solid waste treatment and disposal : effects on public health and environmental safety / G. Hamer // *Biotechnology advances*. – 2003. – Vol. 22, № 1 – 2. – P. 71 – 79. – <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2003.08.007>.
4. 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 : науково-технічний збірник*. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – № 2. – С. 88 – 91.
5. Berezyuk O. Approximated mathematical model of hydraulic drive of container upturning during loading of solid domestic wastes into a dustcart / O. Berezyuk, V. Savulyak // *Technical Sciences*. – 2017. – № 20 (3). – P. 259 – 273.
6. Савуляк В. І. Технічне забезпечення збирання, перевезення та підготовки до переробки твердих побутових відходів : монографія / В. І. Савуляк, О. В. Березюк. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 217 с.
7. Кабінет Міністрів України. Постанова № 265 "Про затвердження Програми поводження з твердими побутовими відходами" [Електронний ресурс] 4 березня 2004. Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/265-2004-%D0%BF>.
8. Масленников А. Ю. Характеристика твердых бытовых отходов / А. Ю. Масленников // *Твердые бытовые отходы*. – 2005. – № 1. – С. 1 – 3.
9. Орлова Т. А. Экологическая оценка земельных участков, занятых объектами обращения с отходами / Т. А. Орлова // *Містобудування та територіальне планування : наук.-техн. збірник*. – К. : КНУБА, 2006. – Вип. 25. – С. 167 – 181.
10. Верховна Рада України. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом та його державами-членами, з іншої сторони [Електронний ресурс] 30 листопада 2015. Режим доступу : http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/984_011/page.
11. Перспективи використання ТПВ для генерації теплової енергії в Україні [Електронний ресурс] / Н. Ю. Павлюк // *Матеріали XXVI міжнародної конференції «Проблеми екології і експлуатації об'єктів енергетики», 20 - 24 вересня 2016 р.* – Одеса : Інститут промислової екології, 2016. – Режим доступу : http://engecology.com/wp-content/uploads/2015/08/19-pavljuk_tpv-v-teplo_odesa_2016.pdf.
12. Березюк О. В. Визначення параметрів впливу на шляхи поведінки з твердими побутовими відходами / О. В. Березюк // *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві : науково-технічний збірник*. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2011. – № 2 (10). – С. 64 – 66.
13. Березюк О. В. Моделювання поширеності компостування як методу поводження з твердими побутовими відходами / О. В. Березюк, Л. Л. Березюк // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2016. – № 1. – С. 33 – 38.
14. Березюк О. В. Моделювання поширеності способів утилізації звалищного газу для розробки обладнання та стратегії поводження з твердими побутовими відходами / О. В. Березюк // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2014. – № 5. – С. 65 – 68.
15. Ishchenko V. Assessment of hazardous household waste generation in Eastern Europe / V. Ishchenko, V. Pohrebennyk, R. Kochan, O. Mitryasova, S. Zawislak // *Conference proceedings 19th International Multidisciplinary Scientific Geosconference SGEM 2019, Albena, Bulgaria. 30 June – 6 July 2019*. – Issue 6.1. – Vol. 19. – Nano, Bio and Green-Technologies. – P. 559 – 566.
16. Березюк О. В. Динаміка поширеності методів поводження з твердими побутовими відходами в ЄС / О. В. Березюк, В. О. Краєвський, Л. Л. Березюк // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2020. – № 1. – С. 104 – 109.
17. Світові тенденції зменшення кількості сміттєзвалищ на прикладі США [Електронний ресурс] / О. В. Березюк, В. О. Краєвський, Л. Л. Березюк // *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. – 2020. – № 1. – Режим доступу до журналу : <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/587/554>.
18. Березюк О. В. Поширеність спалювання твердих побутових відходів з утилізацією енергії / *Наукові праці ВНТУ, 2020, № 3*

О. В. Березюк, М. С. Лемешев // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві : науково-технічний збірник. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2017. – № 2 (23). – С. 128 – 132.

19. Мінрегіон. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2018 рік [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/terretory/stan-sferi-povodzhennya-z-robotovimi-vidhodami-v-ukrayini-za-2018-rik/>.

20. Березюк О. В. Встановлення регресій параметрів захоронення відходів та потреби в ущільнювальних машинах на основі комп'ютерної програми "RegAnaliz" / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 1. – С. 40 – 45.

Стаття надійшла до редакції 15.09.2020.

Стаття пройшла рецензування 22.09.2020.

Березюк Олег Володимирович – к. т. н., доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки.