

ДИНАМІКА ПОШИРНОСТІ ПЕРЕРОБКИ ТА УТИЛІЗАЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ У ВІННИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ

¹Вінницький національний технічний університет

Лише протягом 1995—2014 рр. поширеність переробки та утилізації твердих побутових відходів у Європейському Союзі збільшилася більше ніж удвічі. Один з пунктів Угоди про асоціацію між Європейським Союзом та Україною підтверджує актуальність дослідження системи управління твердими побутовими відходами. Тому визначення регресійної залежності, що описує динаміку поширеності переробки та утилізації твердих побутових відходів у Вінницькій області, для вирішення проблеми поводження з ТПВ є актуальною науково-технічною задачею. Метою дослідження є визначення за допомогою регресійного аналізу залежності, що характеризує динаміку поширеності переробки та утилізації твердих побутових відходів у Вінницькій області. Під час дослідження використано метод регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей з вибором найадекватнішого 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 та побудовано графічну залежність, що описує динаміку поширеності переробки та утилізації твердих побутових відходів у Вінницькій області, та дозволяє наочно проілюструвати цю динаміку, показати достатню збіжність теоретичних та фактичних результатів. Встановлено, що протягом 2014—2020 рр. поширеність переробки та утилізації твердих побутових відходів у Вінницькій області зростала за степеневою залежністю. Спрогнозовано, що поширеність переробки та утилізації твердих побутових відходів у Вінницькій області за існуючих темпів зростання може досягти середньоєвропейського рівня 74,51 % у 2030 році.

Ключові слова: динаміка, статистичні дані, поширеність, переробка, утилізація, тверді побутові відходи, регресійний аналіз.

Вступ

У багатьох публікаціях досліджуються питання забруднення твердими побутовими та промисловими відходами навколишнього середовища [1]—[8]. Щорічно у містах і селищах міського типу України утворюється понад 54 млн м³ твердих побутових відходів (ТПВ), 93,8 % яких вивозяться на полігони і сміттєзвалища площею майже 7700 га, 4,2 % ТПВ потрапляє на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні заводи, а 2 % спалюється на сміттєспалювальних заводах [9]. Протягом 1999—2014 рр. в 3 рази збільшилась сумарна площа полігонів та сміттєзвалищ в Україні. Майже в 2 рази зросла площа перевантажених та більше ніж в 3,1 рази тих полігонів і сміттєзвалищ, що порушують норми екологічної безпеки. Отже, ТПВ загрожують охороні здоров'я та безпеці навколишнього середовища. Урядова постанова № 265 [10] сформувала основу для розробки Національної стратегії поводження з ТПВ в Україні. Лише протягом 1995—2014 рр. поширеність переробки та утилізації ТПВ у ЄС збільшилася більше ніж удвічі [11]. Один із пунктів Угоди про асоціацію між ЄС та Україною підтверджує актуальність дослідження системи

управління ТПВ [12]. Згідно зі статистичними даними [13], у 2020 р. Вінницька область є однією з областей України з найбільшим обсягом надходження ТПВ на переробку та утилізацію. Тому визначення регресійної залежності, що описує динаміку поширеності переробки та утилізації ТПВ у Вінницькій області для вирішення проблеми поводження з твердими побутовими відходами є актуальною науково-технічною задачею.

У роботах [14], [15] наводяться статистичні дані щодо поширеності шляхів поводження з ТПВ в різних країнах світу, зокрема зазначається, що метод компостування в Нідерландах та Данії досягає третини від загальної сукупності шляхів поводження з ТПВ. Роботи [16], [17] містять статистичні дані щодо поширеності шляхів поводження з ТПВ в ЄС та США відповідно. У статті [18] наведені регресійні моделі поширеності таких способів поводження з ТПВ як захоронення та спалювання. Поширеність компостування як методу поводження з ТПВ досліджено у роботі [19]. В статті [20] моделюється поширеність способів утилізації звалищного газу.

У роботі [11] визначено регресійні залежності, що описують динаміку поширеності методів поводження з ТПВ (захоронення, спалювання, переробка, компостування) в країнах ЄС та дозволяють прогнозувати поширеність цих методів, за допомогою чого встановлено, що поширеність захоронення ТПВ спадає лінійно, спалювання — зростає гіперболічно, переробки та компостування — зростає лінійно. При цьому найінтенсивніше зростає поширеність спалювання ТПВ.

В статті [21] визначено регресійні залежності, які описують динаміку поширеності методів поводження з ТПВ (захоронення, спалювання, переробка + повторне використання, компостування) в Україні й можуть бути використані для визначення необхідної кількості сміттєвозів для їхнього збирання та транспортування. Встановлено, що протягом 2013—2018 рр. поширеність захоронення ТПВ спадала гіперболічно, спалювання змінювалось за квадратичною залежністю, переробки та повторного використання зростало гіперболічно, а компостування зростало за степеневою залежністю. При цьому найінтенсивніше зростала поширеність компостування ТПВ.

Залежність поширеності спалювання ТПВ з утилізацією енергії в розвинутих країнах від факторів впливу (густота населення країни, величина валового внутрішнього продукту на душу населення, індекс розвитку людського потенціалу, середня географічна широта країни) досліджена в статті [22].

В роботі [7] розглянуто способи вирішення науково-технічної проблеми проектування ресурсозбережного обладнання для екологічно чистої переробки полімерних відходів у виробі легкої промисловості, що дозволяє поліпшити їхні експлуатаційні властивості такі, як: міцність на розрив; кількість циклів згину, що передують руйнуванню від втоми тощо. В роботах [13], [23] наведено статистичні дані щодо поширеності переробки та утилізації ТПВ у Вінницькій області в 2014—2020 роки. Однак конкретних математичних залежностей, що описують динаміку поширеності переробки та утилізації ТПВ у Вінницькій області, в результаті аналізу відомих публікацій, авторами не виявлено.

Метою дослідження є визначення за допомогою регресійного аналізу залежності, що описує динаміку поширеності переробки та утилізації ТПВ у Вінницькій області для вирішення проблеми поводження з твердими побутовими відходами.

Результати досліджень

В табл. 1 подано статистичні дані щодо поширеності переробки та утилізації ТПВ у Вінницькій області в 2014—2020 роки, які є офіційними статистичними даними органів державної влади України: Вінницької обласної державної адміністрації [23] та Міністерства розвитку громад і територій України [13] відповідно.

Таблиця 1

Статистичні дані щодо поширеності переробки та утилізації ТПВ у Вінницькій області [23, 13]

Рік	2014	2015	2016	2017	2018	2020
Літературне джерело	[23]	[23]	[23]	[23]	[23]	[13]
Маса зібраних та перевезених ТПВ, т	201656	259975	277269	234783	239079	271786
Маса надходження ТПВ на переробку та/або утилізацію, т	225	222	329	327	982	23514
Поширеність переробки та/або утилізації ТПВ, %	0,1116	0,0854	0,1187	0,1393	0,4107	8,6517

На основі даних табл. 1 планувалось отримати математичну модель у вигляді парної регресійної залежності поширеності переробки та утилізації ТПВ у Вінницькій області. 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 ($x = t - 2013$).

Регресія проводилась на основі лінеаризувальних перетворень, які дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Для дослідження використано метод регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей з вибором найадекватнішого виду функції з 16 найпоширеніших варіантів за критерієм максимального значення коефіцієнта кореляції зі збереженням результатів в форматі MS Excel та Vitmar. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювалось 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 регресійного аналізу наведені в табл. 2, де сірим кольором позначено комірку з видом регресії № 16 (степенева) з максимальним значенням коефіцієнта кореляції R .

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

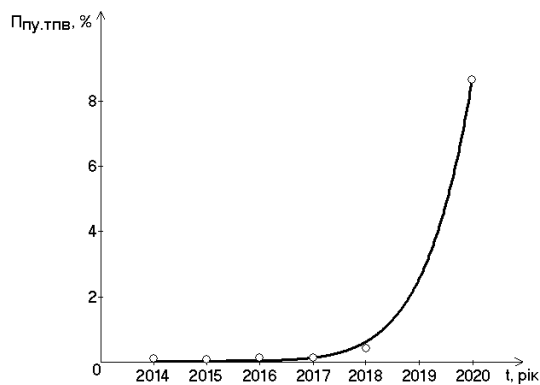
$$P_{ПВ.ТПВ} = 0,03783 + 1,492 \cdot 10^{-6} (t - 2013)^8 [\%], \quad (1)$$

де $P_{ПВ.ТПВ}$ — поширеність переробки та утилізації ТПВ у Вінницькій області, %; t — рік.

Таблиця 2

Результати регресійного аналізу динаміки поширеності переробки та утилізації ТПВ у Вінницькій області

№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R	№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R
1	$y = a + bx$	0,77291	9	$y = ax^b$	0,71788
2	$y = 1/(a + bx)$	0,91510	10	$y = a + b \cdot \lg x$	0,59631
3	$y = a + b/x$	0,41908	11	$y = a + b \cdot \ln x$	0,59631
4	$y = x/(a + bx)$	0,43488	12	$y = a/(b + x)$	0,91510
5	$y = ab^x$	0,88213	13	$y = ax/(b + x)$	0,61205
6	$y = ae^{bx}$	0,88213	14	$y = ae^{b/x}$	0,52766
7	$y = a \cdot 10^{bx}$	0,88213	15	$y = a \cdot 10^{b/x}$	0,52766
8	$y = 1/(a + be^{-x})$	0,55156	16	$y = a + bx^n$	0,99952



Залежність, що описує \circ — фактичну та — теоретичну динаміку поширеності переробки та утилізації ТПВ у Вінницькій області протягом 2014—2020 рр.

На рисунку показано графічну залежність, що описує динаміку поширеності переробки та утилізації ТПВ у Вінницькій області, побудовану за допомогою рівняння регресії (1), яка підтверджує визначену раніше достатню збіжність отриманої теоретичної залежності порівняно з даними, наведеними в роботах [13], [23].

Аналіз графічної залежності на рис. показав, що протягом 2014—2020 рр. поширеність переробки та утилізації ТПВ у Вінницькій області зростала за степеневу залежністю.

Використовуючи залежність (1), можна спрогнозувати, що поширеність переробки та утилізації ТПВ у Вінницькій області за існуючих темпів зростання може досягти середньоєвропейського рівня 74,51 % [11] у 2030 році:

$$t = \sqrt[8]{\frac{P_{ПВ.ТПВ} - 0,03783}{1,492 \cdot 10^{-6}}} + 2013 = \sqrt[8]{\frac{74,51 - 0,03783}{1,492 \cdot 10^{-6}}} + 2013 \approx 2030 \text{ (рік)}.$$

Висновки

1. Визначено регресійну залежність, яка описує динаміку поширеності переробки та утилізації ТПВ у Вінницькій області та дозволяє прогнозувати цю динаміку, що необхідно для вирішення проблеми поводження з твердими побутовими відходами.
2. Побудовано графічну залежність, яка описує динаміку поширеності переробки та утилізації твердих побутових відходів у Вінницькій області та дозволяє наочно проілюструвати цю динаміку, показати достатню збіжність теоретичних та фактичних результатів.
3. Встановлено, що протягом 2014—2020 рр. поширеність переробки та утилізації твердих побутових відходів у Вінницькій області зростала за степеневу залежністю.
4. Спрогнозовано, що поширеність переробки та утилізації твердих побутових відходів у Вінницькій області за існуючих темпів зростання може досягти середньоєвропейського рівня 74,51 % у 2030 році.
5. Врахування впливу чинників на поширеність переробки та утилізації ТПВ у Вінницькій області вимагають проведення подальших досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] О. А. Сагдєєва, Г. В. Крусір, і А. Л. Цикало, «Оцінка рівня екологічної небезпеки звалищ твердих муніципальних відходів», *Екологічна безпека*, № 1, с. 75-83, 2018.
- [6] О. В. Березюк, С. М. Горбатюк, і Л. Л. Березюк, «Моделювання динаміки санітарно-бактеріологічного складу твердих побутових відходів під час літнього компостування», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 4, с. 17-20, 2013.
- [7] О. М. Синюк, «Наукові основи проектування обладнання для переробки полімерних відходів у виробі легкої промисловості.» дис. д-ра техн. наук, Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна, 2018, 485 с.
- [8] 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> .
- [9] Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України (2018). *Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2018 рік* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/teretory/stan-sferi-povodzhennya-z-pobutovimi-vidhodami-v-ukrayini-za-2018-rik/>
- [10] Кабінет Міністрів України (2004, Берез. 4). *Постанова № 265 «Про затвердження Програми поводження з твердими побутовими відходами»*. Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/265-2004-%D0%BF>
- [11] О. В. Березюк, В. О. Краєвський, і Л. Л. Березюк, «Динаміка поширеності методів поводження з твердими побутовими відходами в ЄС», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 1, с. 104-109, 2020. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-148-1-104-109> .
- [12] 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 .
- [13] 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-1-2020_oblasti.pdf .
- [14] А. Ю. Масленников, «Характеристика твердых бытовых отходов», *Отраслевой портал. Вторичное сырье*. [Електронний ресурс]. Режим доступа: <http://www.recyclers.ru> .
- [15] Т. А. Орлова, «Экологическая оценка земельных участков, занятых объектами обращения с отходами», *Місто-будування та територіальне планування*, наук.-техн. збірник, вип. 25, с. 167-181, 2006.
- [16] Н. Ю. Павлюк, «Перспективи використання ТПВ для генерації теплової енергії в Україні», на *XXVI Міжнародній конференції «Проблеми екології і експлуатації об'єктів енергетики»*, 20–24 вересня 2016 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://engecology.com/wp-content/uploads/2015/08/19-pavljuk_tpv-v-teplo_odesa_2016.pdf .
- [17] US Environmental Protection Agency, *Municipal solid waste in the United States: 2017 facts and figures*, 2017, 168 p.
- [18] О. В. Березюк, «Визначення параметрів впливу на шляхи поведінки з твердими побутовими відходами», *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві*, наук.-техн. зб., № 2 (10), с. 64-66, 2011.
- [19] О. В. Березюк, і Л. Л. Березюк, «Моделювання поширеності компостування як методу поводження з твердими побутовими відходами», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 1, с. 33-38, 2016.
- [20] О. В. Березюк, «Моделювання поширеності способів утилізації звалищного газу для розробки обладнання та стратегії поводження з твердими побутовими відходами», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 5, с. 65-68, 2014.
- [21] О. В. Березюк, «Дослідження динаміки поширеності методів поводження з твердими побутовими відходами в Україні», *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*, № 3, 2020, 6 с. [Електронний ресурс].

Режим доступу до журналу: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/609/572> .

[22] О. В. Березюк, і М. С. Лемешев, «Поширеність спалювання твердих побутових відходів з утилізацією енергії», *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві*, наук.-техн. зб., № 2(23) , с. 128-132, 2017.

[23] Вінницька обласна державна адміністрація (2018, Берез. 15), *Регіональний план управління відходами Вінницької області на період до 2030 року*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.vin.gov.ua/images/UPRTER/oholoshennia/20200715_2.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, «Встановлення регресій параметрів захоронення відходів та потреби в ущільнювальних машинах на основі комп'ютерної програми "RegAnaliz"», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 1, с. 40-45, 2014.

Рекомендована кафедрою будівництва, міського господарства та архітектури ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 16.05.2022

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

Prevalence Dynamics of MSW Recycling and Utilization in Vinnytsia Region

¹Vinnytsia National Technical University

During 1995—2014 alone, the prevalence of municipal solid waste recycling in the European Union more than doubled. One of the clauses of the Association Agreement between the European Union and Ukraine determines the relevance of the study of the municipal solid waste management system. Therefore, the definition of regression dependence, which describes the dynamics of the prevalence of recycling and utilization of municipal solid waste in Vinnytsia region to solve 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 prevalence of recycling and utilization of municipal solid waste in Vinnytsia region to solve 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 dependences with the choice of the most 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 prevalence of recycling and utilization of municipal solid waste in Vinnytsia region. A graphical dependence is constructed, which describes the dynamics of the prevalence of recycling and utilization of municipal solid waste in Vinnytsia region and allows to illustrate this dynamics, to show sufficient convergence of theoretical and actual results. It is established that during 2014—2020 the prevalence of recycling and utilization of municipal solid waste in Vinnytsia region increased by the degree of dependence. It is predicted that the prevalence of recycling and utilization of municipal solid waste in Vinnytsia region at the current growth rate may reach the European average of 74.51 % in 2030.

Keywords: dynamics, statistics, prevalence, recycling, utilization, municipal solid waste, regression analysis.

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

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