

О. В. Березюк, д. т. н., доц.; В. О. Красівський, к. т. н., доц.; Л. Л. Березюк

ДИНАМІКА ПОШИРЕНOSTІ СИСТЕМИ КОМПOSTУВАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ В УКРАЇНІ

Компостування є технологією переробки твердих побутових відходів, яка заснована на їхньому природному біорозкладанні, кінцевим продуктом якого є компост, що застосовується в міському та сільському господарстві. Визначення регресійної залежності, яка описує динаміку поширеності компостування твердих побутових відходів в Україні є актуальною науково-технічною задачею. Метою дослідження є визначення регресійної залежності, яка описує динаміку поширеності компостування твердих побутових відходів в Україні і може бути використана під час прогнозування поширеності методів поводження з твердими побутовими відходами. Під час проведення дослідження використано метод регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей із вибором раціонального виду функції із шістнадцяти найпоширеніших варіантів за критерієм максимального значення коефіцієнта кореляції. Регресія проводилась на основі лінеаризувальних перетворень, які дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювалась методом найменших квадратів за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz", яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір. Отримано адекватну регресійну степеневу залежність, яка описує динаміку поширеності компостування твердих побутових відходів в Україні і може бути використана під час прогнозування поширеності методів поводження з твердими побутовими відходами. Побудовано графічну залежність, що описує динаміку поширеності методів поводження з твердими побутовими відходами в Україні та дозволяє наочно проілюструвати цю динаміку та показати достатню збіжність теоретичних результатів з фактичними даними. Використовуючи отриману залежність спрогнозовано, що в Україні досягнення рівня поширеності компостування твердих побутових відходів такого, як в передових країнах ЄС за наявних темпів зростання може бути забезпечене до 2035 року.

Ключові слова: *тверді побутові відходи, методи поводження, компостування, динаміка, регресійний аналіз.*

Вступ

На противагу твердим промисловим відходам, що підлягають переробці [1 – 5], тверді побутові відходи (ТПВ) в Україні, в основному, захоронюються на полігонах та сміттєзвалищах, забруднюючи навколишнє середовище, і лише незначна їхня частина підлягає переробці та повторному використанню [6]. В таких високорозвинутих країнах ЄС, як Данія та Нідерланди, поширеність компостування досягає третини від загальної сукупності шляхів поводження з ТПВ [7, 8]. Компостування є технологією переробки ТПВ, яка заснована на їхньому природному біорозкладанні, кінцевим продуктом якого є компост, що застосовується в міському та сільському господарстві. В українських індивідуальних будинках та на садових ділянках часто використовується компостування за допомогою компостних ям. Поряд із тим, процес компостування можна централізувати і проводити на спеціальних майданчиках.

Постановка проблеми

Згідно Постанови Кабінету Міністрів України № 265 серед пріоритетних напрямів поводження з ТПВ в Україні є організація роздільного збору окремих компонентів, забезпечення застосування сучасних вискоелективних сміттєвозів, створення сучасних полігонів побутових відходів із знешкодженням фільтрату та утилізацією біогазу тощо [9]. В законі України від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII "Про Основні засади (стратегію)

державної екологічної політики України на період до 2030 року” серед завдань стратегії зазначено: повернення у господарський обіг ресурсоцінних матеріалів, а також заплановано до 2030 року частку відходів, що захоронюються, зменшити до 35% від загального обсягу утворених відходів [10]. Таке зменшення поширеності захоронення ТПВ може бути досягнуте, зокрема, і за рахунок зростання поширеності компостування ТПВ. Тому визначення регресійної залежності, яка описує динаміку поширеності компостування твердих побутових відходів в Україні і може бути використана під час прогнозування поширеності методів поводження з ТПВ, є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В роботах авторів [7, 8] Т. А. Орлової та А. Ю. Масленнікова, відповідно, наводяться статистичні дані щодо шляхів поводження з ТПВ в різних країнах світу, зокрема компостування. В статті [11] зроблено висновок про доцільність компостування рослинних відходів з мікробіологічною добавкою як у випадку термофільного, так і у випадку мезофільного компостування. Також показано, що бактеріальний комплекс прискорює процес компостування органічної складової ТПВ в 3,3 рази за термофільного режиму та в 2,1 рази за мезофільних умов проведення процесу компостування. Це свідчить про ефективність його використання в процесах переробки твердих побутових відходів з метою підвищення загального рівня екологічної безпеки. В роботі [12] досліджено компостування харчової складової ТПВ закладів громадського харчування. В статті [13] методом регресійного аналізу визначено регресійну залежність необхідної площі під обладнання для компостування ТПВ від його продуктивності. В роботах [14 – 16] досліджена динаміка санітарно-бактеріологічного складу ТПВ під час компостування. Встановлено, що на відміну від літнього компостування, тривалість весняного є на порядок довшою (242 дня проти 21 дня) за рахунок відмінності природних показників даних пір року. Виявлено ширшу номенклатуру санітарно-бактеріологічного складу ТПВ навесні завдяки наявності стафілококів та аскарид, відсутніх у ТПВ під час літнього компостування. В статті [17] порівнюється досвід різних країн у компостуванні ТПВ. Результати санітарно-бактеріологічних досліджень [18] свідчать про значне забруднення ТПВ мікрофлорою, що є збудниками гепатиту, туберкульозу, дизентерії, аскаридозу, респіраторних, алергічних, шкірних та інших хвороб. Таким чином, забезпечення санітарно-епідеміологічного благополуччя населення, яке проживає на територіях, наближених до місць компостування ТПВ, є однією з великих невирішених екологічних і соціальних проблем. В роботі [19, 20] розглянута можливість використання добрив, отриманих компостуванням ТПВ. Стефеном Варро запатентовано одну із технологій компостування ТПВ, яка отримала назву Варро-Конверсія і характеризується значною інтенсифікацією процесу [21]. В статті [22] наведені математичні моделі поширеності лише таких способів поводження з ТПВ як захоронення та спалювання з використанням енергії. В роботі [23] виявлено параметри (густота населення країни, величина валового внутрішнього продукту на душу населення, індекс розвитку людського потенціалу, середня географічна широта країни та частка сільського населення країни), від яких залежить поширеність компостування як методу поводження з ТПВ в різних країнах, розроблено математичну модель поширеності компостування ТПВ. Однак конкретних математичних залежностей, що описують динаміку поширеності компостування ТПВ в Україні, в результаті аналізу відомих публікацій, авторами не виявлено.

Мета і завдання статті

Метою цієї статті є побудова за допомогою регресійного аналізу регресійної залежності, яка описує динаміку поширеності компостування твердих побутових відходів в Україні і

може бути використана під час прогнозування поширеності методів поводження з ТПВ.

Методи і матеріали

Для визначення регресійної залежності, яка описує динаміку поширеності компостування твердих побутових відходів в Україні використано такі методи: регресійний аналіз результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей, комп'ютерне моделювання.

Результати досліджень

У таблиці 1 показана динаміка поширеності компостування ТПВ в Україні [24] в 2016 - 2020 рр. На основі даних таблиці 1 планувалось отримати парну регресійну залежність, яка описує динаміку поширеності компостування ТПВ в Україні.

Таблиця 1

Динаміка поширеності компостування ТПВ в Україні [24]

Рік	2016	2017	2018	2019	2020
Об'єм зібраних ТПВ, м ³	49573034,55	52048874,87	53788662,12	52920120,57	54119219,54
Об'єм компостованих ТПВ, м ³	2032	3750,2	13216	10261	37873
Поширеність компостування ТПВ в Україні, %	0,004099	0,007205	0,02457	0,01939	0,06998

Регресія проводилась на основі лінеаризувальних перетворень, які дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювалась методом найменших квадратів [25] за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz" [26], яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір, і детально описана в роботах [27, 28]. Програма "RegAnaliz" дозволяє проводити регресійний аналіз результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей із вибором раціонального виду функції із 16-ти найпоширеніших варіантів за критерієм максимального коефіцієнту кореляції зі збереженням результатів в форматі MS Excel та Vitmar.

Результати регресійного аналізу наведені в таблиці 2, де сірим кольором позначено комірку з максимальним значенням коефіцієнта кореляції R.

Отже, за результатами регресійного аналізу на основі даних таблиці 1, як найбільш адекватну остаточно прийнято таку регресійну залежність:

$$P_{\text{ком.}} = 0,007141 + 4,318 \cdot 10^{-5} (t - 2015)^{4,5} \quad [\%], \tag{1}$$

де $P_{\text{ком.}}$ – поширеність компостування ТПВ в Україні, %; t – рік.

На рис. 1 показано фактичну та теоретичну графічну залежності, які описують динаміку поширеності компостування ТПВ в Україні.

Таблиця 2

Результати регресійного аналізу динаміки поширеності компостування ТПВ в Україні

№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R	№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R
1	$y = a + bx$	0,85896	9	$y = ax^b$	0,93222
2	$y = 1 / (a + bx)$	0,91843	10	$y = a + b \cdot \lg x$	0,76570
3	$y = a + b / x$	0,65327	11	$y = a + b \cdot \ln x$	0,76570
4	$y = x / (a + bx)$	0,76846	12	$y = a / (b + x)$	0,91843
5	$y = ab^x$	0,95323	13	$y = ax / (b + x)$	0,94651
6	$y = ae^{bx}$	0,95323	14	$y = ae^{b/x}$	0,86854
7	$y = a \cdot 10^{bx}$	0,95323	15	$y = a \cdot 10^{b/x}$	0,86854
8	$y = 1 / (a + be^{-x})$	0,94644	16	$y = a + bx^n$	0,95574

Порівняння фактичних та теоретичних даних показало, що теоретична динаміка поширеності компостування ТПВ в Україні, розрахована за допомогою рівняння регресії (1), несуттєво відрізняється від даних, наведених в роботах [21 – 24], що підтверджує визначену раніше достатню точність отриманої залежності.

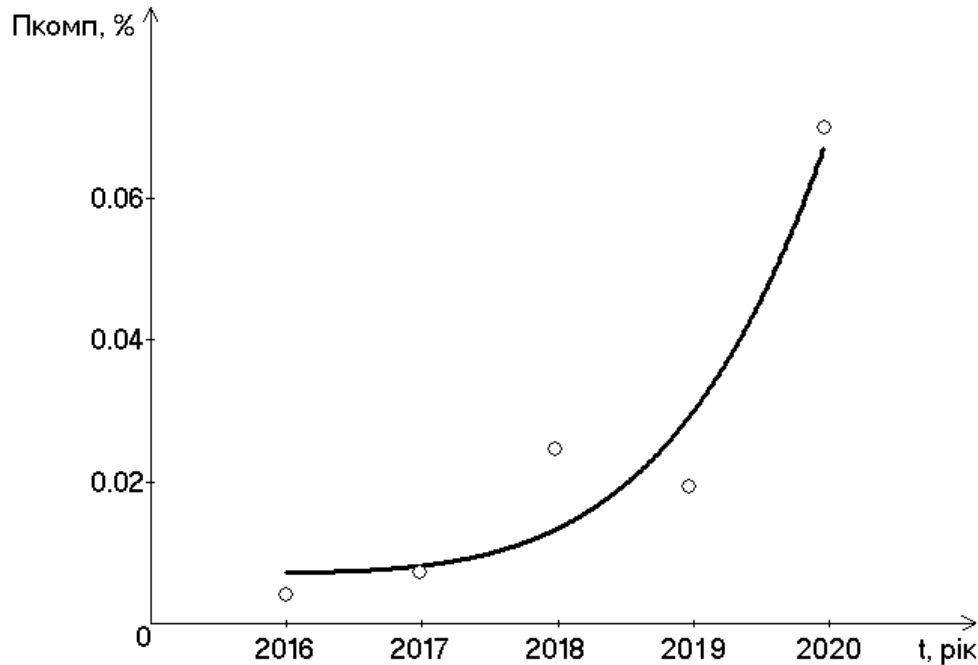


Рис. 1. Залежність, яка описує динаміку поширеності компостування ТПВ в Україні протягом 2016 - 2020 рр.: фактична о, теоретична —

Серед країн ЄС найбільша поширеність компостування ТПВ спостерігається в Нідерландах, і досягає 33% [7, 8]. За допомогою залежності (1) можна спрогнозувати, що така поширеність компостування ТПВ в Україні за наявних темпів зростання може бути досягнута до 2035 року:

$$t = \left(\frac{P_{\text{комп.}} - 0,007141}{4,318 \cdot 10^{-5}} \right)^{1/4,5} + 2015 = \left(\frac{33 - 0,007141}{4,318 \cdot 10^{-5}} \right)^{1/4,5} + 2015 \approx 2035 \text{ [рік]}.$$

Висновки

1. Визначено регресійну залежність, яка описує динаміку поширеності компостування твердих побутових відходів в Україні і може бути використана під час прогнозування поширеності методів поводження з ТПВ.

2. Побудовано графічну залежність, що описує динаміку поширеності компостування твердих побутових відходів в Україні та дозволяє наочно проілюструвати цю динаміку та показати достатню збіжність теоретичних результатів з фактичними.

3. Встановлено, що в Україні протягом 2016 – 2020 рр. поширеність компостування твердих побутових відходів зростала за степеневою залежністю.

4. Спрогнозовано, що в Україні досягнення рівня поширеності компостування твердих побутових відходів такого, як в передових країнах ЄС за наявних темпів зростання може бути забезпечене до 2035 року.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Очеретний В. П. Використання відходів вапняку та промислових відходів у виробництві сухих будівельних сумішей /

- В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, А. В. Бондар // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2009. – № 1. – С. 36 – 40.
2. Лемешев М. С. В'язучі з використанням промислових відходів Вінниччини / М. С. Лемешев // Тези доповідей XXIV міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційні технології : наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я", Харків, 18-20 травня 2016 р. – Харків : НТУ "ХПІ". – С. 381.
3. Лемішко К. К. Використання промислових відходів енергетичної та хімічної галузі в технології виготовлення будівельних виробів / К. К. Лемішко, М. Ю. Стаднійчук, М. С. Лемешев // Матеріали науково-практичної конференції "Енергія. Бізнес. Комфорт", 26 грудня 2018 р. – Одеса : ОНАХТ, 2019. – С. 23 – 25.
4. Ковальський В. П. Шламосолокарбонатий прес-бетон на основі відходів промисловості / В. П. Ковальський, А. В. Бондар // Тези доповідей XXIV міжнародної науково-практичної конференції, Харків, 18-20 травня 2015 р. – Харків, НТУ «ХПІ», 2015. – С. 209.
5. В'язуче на основі промислових відходів [Електронний ресурс] / М. С. Лемешев // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2017 : материалы международной научно-практической Интернет-конференции, 10-17 октября 2017 г. – Москва (Россия) : SWorld, 2017. – 6 с. – Режим доступа : <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/artsarchitecture-and-construction-317/modern-construction-technologies-317/29547-317-027>.
6. Березюк О. В. Системи приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів / О. В. Березюк // Промислова гідравліка і пневматика. – 2017. – № 3 (57). – С. 65 – 72.
7. 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.
8. Масленников А. Ю. Характеристика твердых бытовых отходов [Електронний ресурс] / А. Ю. Масленников // Отраслевой портал. Вторичное сырье. – Режим доступа: <http://www.recyclers.ru>.
9. Постанова Кабінету Міністрів України від 4 березня 2004 року № 265 «Про затвердження Програми поводження з твердими побутовими відходами» [Електронний ресурс] / Кабінет Міністрів України : <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/265-2004-%D0%BF>.
10. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» // Відомості Верховної Ради України. – 2011. – № 26. – С. 218.
11. Сагдеева О. А. Дослідження впливу температурного режиму на перебіг процесів компостування органічного компоненту твердих муніципальних відходів / О. А. Сагдеева, Г. В. Крусір, А. Л. Цикало // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені СЗ Гжицького. Серія: Харчові технології. – 2018. – № 20 (85). – С. 155 – 161.
12. Крусір Г. В. Дослідження компостування харчової складової твердих побутових відходів закладів громадського харчування / Г. В. Крусір, В. І. Соколова // Збірник тез доповідей 79 наукової конференції викладачів Одеської національної академії харчових технологій, 16-19 квітня 2019 р. – Одеса : ОНАХТ, 2019. – С. 312 – 313.
13. Березюк О. В. Визначення регресійної залежності необхідної площі під обладнання для компостування твердих побутових відходів від його продуктивності / О. В. Березюк, М. С. Лемешев // Инновационное развитие территорий: Материалы 2-й Междунар. науч.-практ. конф. (25–27 февраля 2014 г.) // Отв. за вып. Е.В. Белановская. – Череповец : ЧГУ, 2014. – С. 55 – 58.
14. Microbial disinfection capacity of municipal solid waste (MSW) composting / I. Deportes, J.-L. Benoit-Guyod, D. Zmirou [et al.] // Journal of Applied Microbiology. – 1998. – №85. – P. 238 – 246.
15. Березюк О. В. Моделювання динаміки санітарно-бактеріологічного складу твердих побутових відходів під час літнього компостування / О. В. Березюк, С. М. Горбатюк, Л. Л. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – № 4. – С. 17 – 20.
16. Березюк О. В. Порівняння динаміки санітарно-бактеріологічного складу твердих побутових відходів під час компостування / О. В. Березюк, Л. Л. Березюк // Техногенно-екологічна безпека України: стан та перспективи розвитку: матеріали V всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. студ., аспір. та молод. вчених, 10-20 лист. 2015 р. – Ірпінь: НУДПСУ, 2015. – С. 218 – 220.
17. Крейндин Л. М. Опыт некоторых стран в компостировании бытовых отходов / Л. М. Крейндин // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – 1989. – № 2. – С. 51 – 56.
18. Щербо А. П. Гигиенические вопросы обезвреживания бытовых отходов / А. П. Щербо // Хлопинские чтения : XXIII Научная конференция : доклад, 16 января 1991 года. – Л. : Изд-е ин-та усовершенствования врачей им. С. М. Кирова, 1990. – 25 с.
19. Березюк О. В. Возможность использования удобрений, полученных компостированием твердых бытовых отходов / О. В. Березюк, Л. Л. Березюк // Стратегия научно-технологического развития сельского хозяйства и природопользования : взгляд в будущее : сборник материалов международной научно-практической конференции, 15-16 февраля 2017 г. – Екатеринбург : Уральский ГАУ, 2017. – Т. 2. Актуальные направления технологического, экономического и экологического развития сельского хозяйства. – С. 16 – 19.
20. Березюк О. В. Компостування твердих побутових відходів як метод отримання добрив / О. В. Березюк, Л. Л. Березюк // Прикладні науково-технічні дослідження : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., 5-7 квіт. 2017 р. – Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2017. – С. 12.
21. U.S. Patent 4050917, C 05 F 11/08. Process of conversion of solid waste into workable material with predetermined characteristics and/or into fertilizers or soil improving agents / Stephen Varro – 05/609697 ; Filed 02.09.1975. Received 27.09.1977.
22. 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, Наукові праці ВНТУ, 2021, № 3

2011. – № 2(10). – С. 64 – 66.

23. Березюк О. В. Моделивання поширеності компостування як методу поводження з твердими побутовими відходами / О. В. Березюк, Л. Л. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2016. – № 1. – С. 33 – 38.

24. 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-pobutovimi-vidhodami-v-ukrayini-za-2018-rik/>.

25. Михалевич В. М. Математичні системи комп'ютерної алгебри як засіб підвищення ефективності і якості освітнього процесу з вищої математики / В. М. Михалевич, О. І. Шевчук, Н. Л. Буга // Збірник наукових праць. Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми. – Київ-Вінниця : ДОВ «Вінниця», 2007. – Випуск 14. – С.357 – 360.

26. Березюк О. В. Комп'ютерна програма "Регресійний аналіз" ("RegAnaliz") / О. В. Березюк // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 49486. – К.: Державна служба інтелектуальної власності України. – Дата реєстрації: 03.06.2013.

27. 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.

28. Березюк О. В. Определение регрессии коэффициента уплотнения твердых бытовых отходов от высоты полигона на основе компьютерной программы "RegAnaliz" / О. В. Березюк // Автоматизированные технологии и производства. – 2015. – № 2 (8). – С. 43 – 45.

Стаття надійшла до редакції 20.09.2021.

Стаття пройшла рецензування 24.09.2021.

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

Краєвський Володимир Олександрович – к. т. н., доцент, доцент кафедри вищої математики.

Березюк Людмила Леонідівна – секретар деканату факультету машинобудування та транспорту. Вінницький національний технічний університет.