

УДК 628.4.08:621.928.21/.24

О. В. Березюк, д. т. н., доц.; М. С. Лемешев, к. т. н., доц.

ДИНАМІКА ПОШИРЕНOSTІ ВИЛУЧЕННЯ ВІДСОРТОВАНИХ РЕСУРСОЦІННИХ КОМПОНЕНТІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ У ВІННИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ

Протягом 2013 – 2018 рр. поширеність переробки та повторного використання твердих побутових відходів в Україні збільшилася майже в півтора рази. Один із пунктів Угоди про асоціацію між Європейським Союзом та Україною обумовлює актуальність дослідження системи управління твердими побутовими відходами. Тому визначення регресійної залежності, що описує динаміку поширеності вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів твердих побутових відходів у Вінницькій області для вирішення проблеми поводження з твердими побутовими відходами є актуальною науково-технічною задачею.

Метою дослідження є визначення за допомогою регресійного аналізу залежності, що описує динаміку поширеності вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів твердих побутових відходів у Вінницькій області для вирішення проблеми поводження з твердими побутовими відходами. Під час дослідження використано метод регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей із вибором найбільш адекватного виду функції із 16-ти 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 поширеності вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів твердих побутових відходів у Вінницькій області. Побудовано графічну залежність, що описує динаміку поширеності вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів 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 вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів твердих побутових відходів у Вінницькій області зростала за степеневою залежністю. Спрогнозовано, що поширеність вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів твердих побутових відходів у Вінницькій області за наявних темпів зростання може досягти рівня 70% у 2027 році.

Ключові слова: динаміка, статистичні дані, поширеність, сортування, ресурсоцінні компоненти, тверді побутові відходи, регресійний аналіз.

Вступ

На відміну від твердих промислових відходів, 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]. Проте протягом 2013 – 2018 рр. поширеність переробки та повторного використання твердих побутових відходів в Україні збільшилася майже в півтора рази. Підвищення поширеності переробки та повторного використання досягається сортуванням ТПВ [7], яке дозволяє вилучити певні компоненти: макулатуру, скло, чорні і кольорові метали та полімерні матеріали. Технологічний процес сортування ТПВ являє собою послідовність технологічних операцій, які виконуються основним технологічним і допоміжним технологічним устаткуванням відповідно до етапів сортувального процесу, що дозволяє досягти розділення загальної маси ТПВ на компоненти, що перероблюють і

Наукові праці ВНТУ, 2022, № 2

залишок, що не перероблюється. Технологія сортування може бути впроваджена як попередня обробка сировини перед застосуванням одного з методів знешкодження ТПВ. Це дозволить значно зменшити негативний вплив на довкілля та отримати прибуток від реалізації вторинної сировини [8]. Для сортування і підготовки з метою подальшої переробки, знешкодження та утилізації нетоксичних ТПВ, що зібрані нероздільним способом, використовують смітесортувальні лінії [9]. Процес сортування ТПВ відбувається в такій послідовності [10]: ТПВ із сміттевозів засипають в бункер, далі конвеєр подає його в циліндричне сито-барабан, в якому відсортовується дрібна фракція та органіка. Після цього ТПВ потрапляють в приміщення для ручного або механізованого сортування. Відсортовані відходи підлягають пресуванню з метою зменшення його об'єму і утрамбовується в тюки. Сортування ТПВ поділяється на такі фракції: метал, скло, пластмасу, поліетилен, папір. Відсортовані відходи потрапляють на переробку, а залишок, який не підлягає переробці, захоронюється на полігоні ТПВ.

Постановка проблеми

Відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 265 серед пріоритетних напрямів поводження з ТПВ в Україні є організація роздільного збору окремих компонентів, забезпечення застосування сучасних вискоелективних сміттевозів, створення сучасних полігонів побутових відходів із знешкодженням фільтрату та утилізацією біогазу тощо [11]. 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 [12]. Тому визначення регресійної залежності, яка описує динаміку поширеності вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів ТПВ у Вінницькій області для вирішення проблеми поводження з твердими побутовими відходами, є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Схема удосконаленого пристрою для сортування ТПВ, який дозволяє не лише відсортовувати пружні складові від непружних, а і поділяти пружні складові пофракційно у багатосекційний контейнер, запатентована в роботі [13]. Стаття [14] містить аналітичні залежності основних кінематичних і геометричних параметрів пристрою для сортування пружних складових ТПВ у багатосекційний контейнер та раціональні значення основних кінематичних та геометричних параметрів пристрою для сортування пружних складових ТПВ із використанням багатосекційного контейнера. В роботах [15, 16] встановлено параметри, які впливають на процентні частки диференційовано зібраних ТПВ в різних країнах, за допомогою планування багатофакторного експерименту другого порядку побудовано математичну модель прогнозування процентних часток диференційовано зібраних ТПВ. Удосконалену прогностичну модель поширеності диференційованого збирання ТПВ в різних країнах, яка може бути поширена на ширше коло країн, включаючи Україну, наведено в статті [17]. В роботі [18] визначено регресійну залежність, що описує динаміку охоплення населених пунктів Вінницької області впровадженням роздільного збирання ТПВ та дозволяє прогнозувати кількість населених пунктів охоплених впровадженням роздільного збирання ТПВ.

В статті [9] під час вивчення роботи смітесортувальної лінії оцінювалась ефективність вилучення вторинної сировини, умови прибуткового її функціонування та склад ТПВ, що надходять на полігон після сортування. В результаті сортування кількість ТПВ, що надходить на полігон, значно зменшилася. Завдяки цьому термін експлуатації полігону може

бути збільшено, що призведе до економного використання земельних ресурсів. Через зміну складу відходів (основним складником стали органічні відходи) навантаження на навколишнє природне середовище значно зменшилося. Завдяки цьому знижується забруднення ґрунтів, вод, підземних водоносних горизонтів та атмосферного повітря шкідливими для здоров'я людей та для довкілля речовинами.

Різновиди технічних засобів сортування ТПВ відображено в роботі [19]. Робота [20] описує дослідження застосування обробки зображень при розробці ефективної автоматизованої механічної системи сортування змішаних ТПВ. Першочерговим етапом переробки є розподіл пластикових та паперових відходів. Інтелектуальна система розроблена за допомогою комп'ютерно-оптичного розпізнавання деталей із особливостями на сміттесортувальній лінії (конвеєрній стрічці). Система працює без будь-якого втручання людини, а ефективність правильної класифікації становить щонайменше 80%. Під час проведення експерименту використовувались паперові та пластикові предмети різної форми та розміру. Запропонований алгоритм був експериментально перевірений за допомогою виготовленого прототипу паперово-пластикової системи.

В роботах [21, 22] наведено статистичні дані щодо поширеності вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів ТПВ у Вінницькій області в 2014 – 2020 роки. Однак конкретних математичних залежностей, що описують динаміку поширеності вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів ТПВ у Вінницькій області, 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 вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів ТПВ у Вінницькій області для вирішення проблеми поводження з твердими побутовими відходами.

Методи і матеріали

Для визначення регресійної залежності, яка описує динаміку поширеності вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів ТПВ у Вінницькій області використано такі методи: регресійний аналіз результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей, комп'ютерне моделювання.

Результати досліджень

У таблиці 1 показана динаміка поширеності вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів ТПВ у Вінницькій області. На основі даних таблиці 1 планувалось отримати парну регресійну залежність, яка описує динаміку збільшення кількості сміттесортувальних ліній в Україні. 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 прийняти рік, який передує початку досліджуваного діапазону ($x = t - 2013$).

Таблиця 1

Поширеність вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів ТПВ у Вінницькій області в різні роки [21, 22]

Рік	2014	2015	2016	2017	2018	2020
Маса зібраних та перевезених ТПВ, т	201656	259975	277269	234783	239079	271786
Маса вилучених відсортованих ресурсоцінних компонентів ТПВ, т	192	197	264	278	935	6071
Поширеність вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів ТПВ, %	0,0952	0,0758	0,0952	0,1184	0,3911	2,2338

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" [23], яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір, і детально описана в роботах [24, 25].

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 Bitmap.

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

Таблиця 2

Результати регресійного аналізу динаміки поширеності вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів ТПВ у Вінницькій області

№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R	№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R
1	$y = a + bx$	0,81718	9	$y = ax^b$	0,75365
2	$y = 1 / (a + bx)$	0,91094	10	$y = a + b \cdot \lg x$	0,64292
3	$y = a + b / x$	0,46008	11	$y = a + b \cdot \ln x$	0,64292
4	$y = x / (a + bx)$	0,39967	12	$y = a / (b + x)$	0,91094
5	$y = ab^x$	0,90801	13	$y = ax / (b + x)$	0,60792
6	$y = ae^{bx}$	0,90801	14	$y = ae^{b/x}$	0,56262
7	$y = a \cdot 10^{bx}$	0,90801	15	$y = a \cdot 10^{b/x}$	0,56262
8	$y = 1 / (a + be^{-x})$	0,54594	16	$y = a + bx^n$	0,99855

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

$$P_{ВРЦК.ТПВ} = 0,04326 + 1,295 \cdot 10^{-4} (t - 2013)^5 \quad [\%], \quad (1)$$

де $P_{ВРЦК.ТПВ}$ – поширеність вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів ТПВ у Вінницькій області, %; t – рік.

На рис. 1 показано фактичну та теоретичну графічну залежність, яка описує динаміку поширеності вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів ТПВ у Вінницькій області.

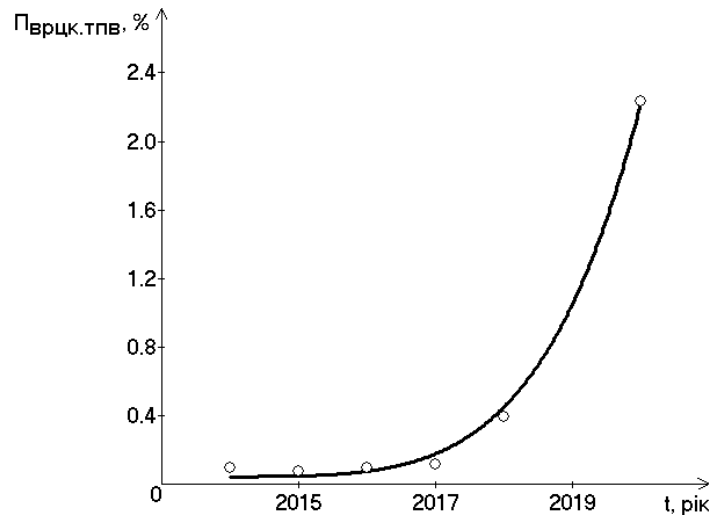


Рис. 1. Залежність, яка описує динаміку поширеності вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів ТПВ у Вінницькій області протягом 2014-2020 рр.: фактична \circ , теоретична —

Порівняння фактичних та теоретичних даних показало, що теоретична динаміка поширеності вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів ТПВ у Вінницькій області, розрахована за допомогою рівняння регресії (1), несуттєво відрізняється від даних, наведених в роботах [21, 22], що підтверджує визначену раніше достатню точність отриманої залежності.

Використовуючи залежність (1) можна спрогнозувати, що поширеність вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів ТПВ у Вінницькій області в 2027 році за наявних темпів зростання може збільшитись до 70%.

Висновки

1. Визначено регресійну залежність, яка описує динаміку поширеності вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів ТПВ у Вінницькій області та дозволяє прогнозувати цю динаміку, що необхідно для вирішення проблеми поводження з твердими побутовими відходами.

2. Побудовано графічну залежність, що описує динаміку поширеності вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів ТПВ у Вінницькій області та дозволяє наочно проілюструвати цю динаміку та показати достатню збіжність теоретичних результатів з фактичними.

3. Встановлено, що в Україні протягом 2014 – 2020 рр. поширеність вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів ТПВ у Вінницькій області зростала за степеневою залежністю.

4. Спрогнозовано, що поширеність вилучення відсортованих ресурсоцінних компонентів ТПВ у Вінницькій області за наявних темпів зростання може досягти рівня 70% у 2027 році.

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. 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.
3. Ковальський В. П. Шламозолокарбонатний прес-бетон на основі відходів промисловості / В. П. Ковальський, А. В. Бондар // Тези доповідей ХХІV міжнародної науково-практичної конференції, Харків, 18-20 травня 2015 р. – Харків, НТУ «ХП», 2015. – С. 209.
4. Лемешев М. С. В'яжучі з використанням промислових відходів Вінниччини / М. С. Лемешев // Тези Наукові праці ВНТУ, 2022, № 2

- 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.
5. Лемішко К. К. Жаростійке в'язуче з використанням відходів промисловості / К. К. Лемішко, М. С. Лемешев // Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених science on civil protection as a way of becoming young scientists. - 2019. – С. 154.
 6. 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.
 7. Попович В. В. Особливості використання транспортних засобів під час транспортування, сортування, утилізації та фітомеліорації твердих побутових відходів / В. В. Попович / Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.10. – С. 90 – 96.
 8. Ісяєв С. Д. Досвід сортування твердих побутових відходів у місті Києві / С. Д. Ісяєв, В. В. Янишпольська, І. С. Петухов // Наукові записки. – 2000. – Т. 18. Біологія та екологія. – С. 73 – 76.
 9. Тихонова К. Ю. Система роздільного збору та сортування ТПВ. Функціонування сортувальної лінії сміття у Золочівському районі Львівської області / К. Ю. Тихонова // Инновационные пути модернизации базовых отраслей промышленности, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей природной среды : сборник научных трудов VI Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, 22-23 марта 2017 г., г. Харьков. – Х. : ГП «УкрНТЦ «Энергосталь», 2017. – С. 258 – 261.
 10. Блюй О. Проблеми сортування твердих побутових відходів на прикладі міста Тернополя / О. Блюй // Магістерські студії географічного факультету ТНПУ ім. В. Гнатюка : збірник наукових праць. – Тернопіль : ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2020. Вип. 1 (3). – С. 130 – 134.
 11. 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>.
 12. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» // Відомості Верховної Ради України. – 2011. – № 26. – С. 218.
 13. Пат. 92719 U Україна, МПК (2014.01) В 07 В 13/00. Пристрій для сортування твердих побутових відходів / Березюк О. В. ; заявник та патентовласник Березюк О. В. – № u201404117 ; заявл. 16.04.2014 ; опубл. 26.08.2014, Бюл. № 16.
 14. Березюк О. В. Дослідження кінематики пристрою для сортування твердих побутових відходів / О. В. Березюк // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – 2010. – № 65. – С. 49 – 55.
 15. Березюк О. В. Визначення параметрів впливу на частку диференційовано зібраних твердих побутових відходів / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 5. – С. 154 – 156.
 16. Березюк О. В. Техніко-економічні показники машин та процесів в сфері менеджменту твердими побутовими відходами / О. В. Березюк // Розвиток фінансового менеджменту в умовах хаотичного структурування економіки : колективна монографія / за заг. наук. ред. С. А. Кузнецової. – Дніпропетровськ : Акцент ПП, 2015. – 277 с. – С. 109 – 120.
 17. Березюк О. В. Усовершенствование прогностической модели распространенности дифференцированного сбора твердых бытовых отходов / О. В. Березюк // Стратегические направления развития АПК стран СНГ : материалы XVI Междунар. научно-практ. конф. Барнаул, 27-28 февр. 2017 г. В 3 т. Т. 1. – Новосибирск : СФНЦА РАН, 2017. – С. 193 – 195.
 18. Березюк О. В. Динаміка охоплення населених пунктів Вінницької області впровадженням роздільного збирання твердих побутових відходів / О. В. Березюк, М. С. Лемешев // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2021. – № 2. – С. 32 – 36.
 19. Ключниченко Л. М. Сортировка отходов: инновации компании TERRA SELECT GMBH / Л. М. Ключниченко // Твердые бытовые отходы. – 2010. – № 4. – С. 52 – 55.
 20. Razali Z. B. An application of image processing for automated mixed household waste sorting system / Z. B. Razali, S. Madasamy // International Conference on Man-Machine System (ICoMMS2012), Penang. – 2012. – Т. 27. – С. 28 – 32.
 21. Регіональний план управління відходами Вінницької області на період до 2030 року [Електронний ресурс]. – Вінницька обласна державна адміністрація, 2018. – Режим доступу: http://www.vin.gov.ua/images/UPRTER/oholoshennia/20200715_2.pdf.
 22. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2020 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/terretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za-2020-rik/>
 23. Березюк О. В. Комп'ютерна програма "Регресійний аналіз" ("RegAnaliz") / О. В. Березюк // Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 49486. – К.: Державна служба інтелектуальної власності України. – Дата реєстрації: 03.06.2013.

24. 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.
25. 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 14.06.2022.

Стаття пройшла рецензування 28.06.2022.

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

Лемешев Михайло Степанович – к. т. н., доцент, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури.

Вінницький національний технічний університет.