

Л. Л. Березюк; В. П. Ковальський, канд. техн. наук, доц.; І. В. Фінік

ДИНАМІКА ПОТОЧНИХ ВИТРАТ НА ПОВОДЖЕННЯ З ПРОМИСЛОВИМИ ТА ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ В УКРАЇНІ

Щорічно в Україні загальний обсяг промислових відходів збільшується на 175 млн. м³, а побутових відходів – на близько 50 млн.м³, що пов'язано зі значними фінансовими витратами на поводження з ними. Тому, визначення регресійної залежності, яка описує динаміку поточних витрат на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні є актуальною науково-технічною задачею. Метою дослідження є визначення регресійної залежності, яка описує динаміку поточних витрат на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні. Метою дослідження є побудова за допомогою регресійного аналізу регресійної залежності яка описує динаміку поточних витрат на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні, що може бути використана для прогнозування таких витрат. Під час проведення дослідження використано метод регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей із вибором найбільш адекватного 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". Отримано регресійну залежність, яка описує динаміку поточних витрат на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні, що може бути використана для прогнозування таких витрат. Побудовано графічну інтерпретацію поточних витрат на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні, яка дозволяє наочно проілюструвати ці залежності та показати достатню збіжність теоретичних результатів з фактичними. Встановлено, що поточні витрати на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні зростають за степеневою залежністю. Спрогнозовано, що за наявних темпів зростання поточні витрати на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні в 2027 році складатимуть 18,5 млрд. грн.

Ключові слова: динаміка, поточні витрати, поводження з відходами, промислові відходи, тверді побутові відходи, математичне моделювання, регресійний аналіз, регресійна залежність.

Вступ

Зростання економіки, населення й сфери споживання супроводжується наростанням негативного антропогенного впливу на навколишнє середовище шляхом збільшення як обсягів відходів, так і їх видів. Економічні потреби людства виявилися більш сильним визначальним фактором для генерування відходів, ніж ініціативи й заходи щодо його попередження. Проблема переробки відходів стає все гострішою з ростом населення Землі і частки людей, які живуть в містах. У випадку збереження поточної системи споживання і формування відходів, до 2050 р. людству, яке до того часу зросте приблизно на 2 млрд. чол., буде необхідно підвищити виробництво продовольства на 60 % [1]. Якщо темпи росту кількості побутових відходів не зменшаться, виробництво сміття в світі до 2100 р., внаслідок зростання чисельності населення до 9,5 млрд. чол. та урбанізації до 80 %, зросте втричі порівняно з нинішнім рівнем і досягне 11 млн. т в день [2]. Під відходами розуміють будь-які речовини, матеріали і предмети, які утворюються у процесі людської діяльності і не мають подальшого використання за місцем утворення чи виявлення та яких їхній власник повинен позбутися шляхом утилізації чи видалення. Тверді відходи поділяються на промислові відходи та побутові відходи. Під промисловими відходами розуміють непридатні для виробництва певної продукції види сировини, її залишки, що не вживаються, або речовини, які виникають в результаті технологічних процесів, які не підлягають утилізації у цьому

виробництві [3]. На цю групу припадає 90 % обсягу твердих відходів. Інші 10 % складають побутові відходи, за іншою класифікацією вони є твердими побутовими відходами (ТПВ). Побутові відходи – тип відходів, що створюються у житлово-комунальному господарстві (побуті). ТПВ є одним з найбільш вагомих факторів забруднення довкілля і негативного впливу фактично на всі його компоненти. Інфільтрація сховищ, горіння териконів, пилоутворення, інші фактори, що зумовлюють міграцію токсичних речовин, призводять до забруднення підземних та поверхневих вод, погіршення стану атмосферного повітря, земельних ресурсів тощо. Таким чином, збільшення ТПВ є першопричиною накопичення промислових відходів. Щорічно в Україні загальний обсяг промислових відходів збільшується на 175 млн. м³, а ТПВ – на близько 50 млн.м³, що пов'язано зі значними фінансовими витратами на поводження з ними [4].

Постановка проблеми

Відповідно до [5] кількість промислових відходів, які накопичуються в місцях їхньої утилізації, не повинна перевищувати двотижневої потужності виробничого устаткування з переробки відходів. Постанова Кабінету Міністрів України № 265 [6] сформулила основу для розробки Національної стратегії поводження з ТПВ в Україні. Тому визначення регресійної залежності, яка описує динаміку поточних витрат на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В матеріалах статті [7] встановлено, що формування сучасної системи фінансово-інвестиційного забезпечення сфери поводження з відходами має базуватися на врахуванні того, що потоки відходів утворюються у публічному (державному та муніципальному) та корпоративному секторах, а також у секторі домашніх господарств, які відзначаються виробничо-технічною та матеріально-речовою неоднорідністю в частині використання ресурсної цінності вторинної сировини. Виявлено, що у 2007 – 2020 роках має місце чітко виражений тренд домінування поточної спрямованості фінансово-інвестиційного забезпечення сфери поводження з відходами, оскільки частка капітальних інвестицій в загальних витратах у поводження з відходами за всіма джерелами фінансування є меншою 50 %. Зазначено, що сума капітальних інвестицій у поводження з відходами у номінальному вираженні за всіма джерелами фінансування у 2020 році порівняно з 2007 роком зросла у 7,5 рази. У той же час питома вага капітальних інвестицій в загальних витратах у поводження з відходами за всіма джерелами фінансування у 2007 – 2020 роках за винятком 2019 року не перевищувала 25 %. Така динаміка питомої ваги капітальних інвестицій в загальних витратах у поводження з відходами за всіма джерелами фінансування свідчить про те, що в середньому 2/3 витрат у поводження з відходами спрямовувалося на фінансування поточних витрат, тобто на утримання персоналу полігонів, оплату комунальних платежів, енергоносіїв тощо.

На думку автора роботи [8] низький рівень використання ресурсної цінності промислових та побутових відходів, а також мляве їхнє застосування для нарощення сировинної, зокрема енергетичної бази розвитку національної економіки вимагають принципової перебудови економічного механізму залучення відходів у господарський обіг. Тому й необхідним є поєднання комплексу стимулюючих інструментів та важелів, які будуть зацікавлювати суб'єктів виробничо-господарської діяльності та домогосподарства максимальною мірою забезпечувати утилізацію корисної частини відходів, в першу чергу задля нарощення обсягів виробництва біологічного палива і зміцнення тим самим енергетичної самодостатності країни та об'єднаних територіальних громад.

В роботі [9] зазначено, що необхідним є впровадження фінансових механізмів регулювання збалансованості бюджетних коштів, недержавних джерел фінансування

поводження з відходами. Тому широке застосування економічних інструментів дозволить створити фінансове підґрунтя вторинного ресурсокористування в Україні та сприятиме структурній перебудові сфери матеріального виробництва.

Домінуючим способом поводження з ТПВ в Україні залишається їх вивезення та захоронення на полігонах і сміттєзвалищах, а це, як показує досвід розвинутих країн, є тупиковим варіантом із значними витратами на тривалий строк (особливо в умовах очікуваної євроінтеграції) [10]. Встановлено, що механізоване сортування ТПВ дозволяє відмовитися від ручного сортування та характеризується високими капітальними витратами на обладнання та більш повним вилученням вторинних матеріалів. Визначено, що в Україні основним фактором при виборі методу поводження з ТПВ є вартість: найдешевший спосіб – це захоронення, особливо нелегальне. Так, витрати на захоронення відходів менші, ніж на організацію збору відходів (за даними Мінрегіону України, у 2021 р. середній тариф на переробку ТПВ (фактично, це вивезення відходів на захоронення) становив 4,24 євро/м³, у тому числі 1,31 євро/м³ за захоронення).

Автор роботи [11] наводить статистичні дані щодо витрати на управління ТПВ для груп жителів з низькими, середніми та високими річними доходами. В матеріалах статті [12] виявлено параметри, від яких залежать витрати на управління ТПВ. Визначено регресійні залежності витрат на управління ТПВ від рівня доходів населення. Встановлено, що при збільшенні річних доходів населення витрати на управління ТПВ зростають таким чином: на збирання ТПВ – гіперболічно, на транспортування ТПВ – логарифмічно, на захоронення ТПВ – лінійно, а відсоток від доходів населення, який витрачається на управління ТПВ зменшується за степеневу залежністю [13].

В роботі [14] визначено логарифмічні регресійні залежності питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів ТПВ через забруднення важкими металами від зменшення концентрацій кадмію, свинцю та цинку. Запропоновано математичну модель питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів ТПВ від забруднення важкими металами.

В статті [15] встановлено, що витрати на анаеробне розкладання ТПВ в різних країнах залежать від таких факторів: густина населення країни, величина валового внутрішнього продукту на душу населення, середня географічна широта країни. При цьому, найбільше витрати на анаеробне розкладання ТПВ залежать від ВВП на душу населення, а найменше – від густоти населення. Отримано адекватну математичну модель прогнозування витрат на анаеробне розкладання ТПВ в різних країнах, яка може бути використана під час розробки стратегії, комплексу машин та обладнання для поводження з ТПВ.

Однак конкретних математичних залежностей, які описують динаміку поточних витрат на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні, авторами не виявлено.

Мета і завдання статті

Метою цієї статті є визначення регресійної залежності, яка описує динаміку поточних витрат на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні, що може бути використана для прогнозування таких витрат.

Методи і матеріали

Для визначення регресійної залежності, яка описує динаміку поточних витрат на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні використано такі методи: регресійний аналіз результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей, комп'ютерне моделювання.

Результати досліджень

У таблиці 1 показані значення поточних витрат на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні в 2010 – 2020 рр. [16].

Таблиця 1

Значення поточних витрат на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні в 2010 – 2020 рр. [22]

Рік	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Поточні витрати на поводження з відходами в Україні, млрд. грн	2,5996233	3,8659097	4,7561821	4,8443048	5,4169756	6,8019311
Рік	2016	2017	2018	2019	2020	
Поточні витрати на поводження з відходами в Україні, млрд. грн	6,719578	7,508214	8,820204	9,910613	11,10789	

Регресія проводилась на основі лінеаризувальних перетворень, що дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювалась методом найменших квадратів [17] за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz", яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір [18] і детально описана в роботах [19, 20].

Програма "RegAnaliz" дозволяє проводити регресійний аналіз результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей із вибором кращого виду функції із шістнадцяти 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 комірки з видом регресії з максимальним значенням коефіцієнта кореляції R.

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

$$B_{пв} = 2,825 + 0,3043(t - 2009)^{1,363} \quad [\text{млрд. грн}], \quad (1)$$

де $B_{пв}$ – поточні витрати на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні, млрд. грн; t – рік.

Таблиця 2

Результати регресійного аналізу регресійної залежності, яка описує динаміку поточних витрат на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні

№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R	№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R
1	$y = a + bx$	0,98586	9	$y = ax^b$	0,97854
2	$y = 1 / (a + bx)$	0,91100	10	$y = a + b \cdot \lg x$	0,91982
3	$y = a + b / x$	0,76979	11	$y = a + b \cdot \ln x$	0,91982
4	$y = x / (a + bx)$	0,87810	12	$y = a / (b + x)$	0,91100
5	$y = ab^x$	0,97688	13	$y = ax / (b + x)$	0,96781
6	$y = ae^{bx}$	0,97688	14	$y = ae^{b/x}$	0,88662
7	$y = a \cdot 10^{bx}$	0,97688	15	$y = a \cdot 10^{b/x}$	0,88662
8	$y = 1 / (a + be^{-x})$	0,91938	16	$y = a + bx^n$	0,98943

На рис. 1 показано фактичну та теоретичну графічні залежності, які описують динаміку поточних витрат на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні.

Порівняння фактичних та теоретичних даних показало, що теоретичні поточні витрати на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні, розраховані за допомогою рівняння регресії (1) несуттєво відрізняються від даних, наведених в роботі [22], що підтверджує визначену раніше точність отриманої залежності на рівні 0,98943.

З рис. 1 видно, що поточні витрати на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні в 2010 – 2020 рр. зростали за степеневу залежністю.

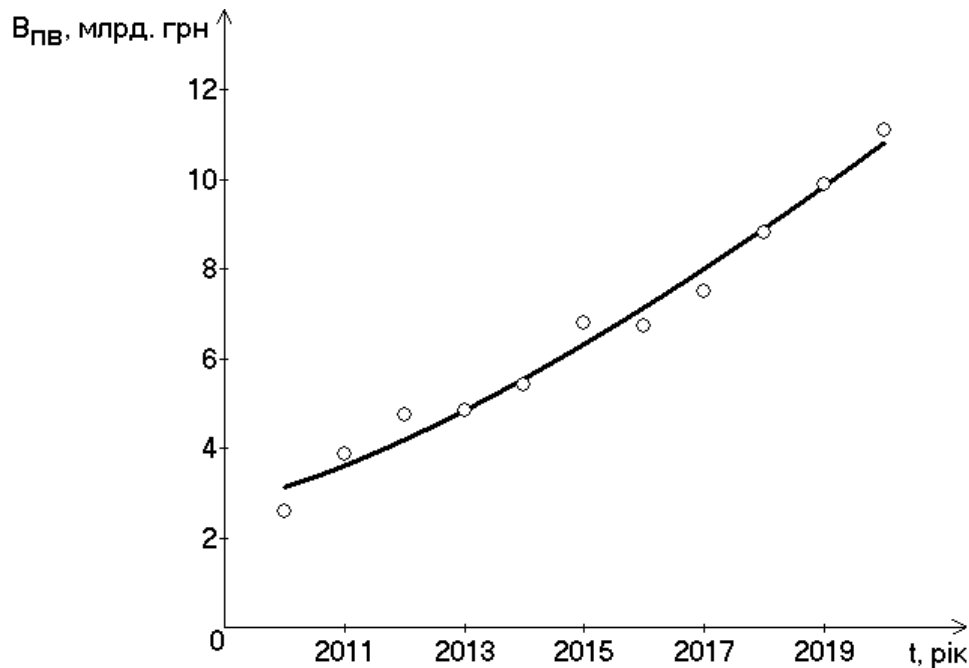


Рис. 1. Залежності, які описують динаміку поточних витрат на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні в 2010 - 2020 рр.: фактична $\circ$, теоретична —

За допомогою отриманої регресійної залежності (1) можна спрогнозувати, що за наявних темпів зростання поточні витрати на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні в 2027 році складатимуть

$$B_{\text{пв}} = 2,825 + 0,3043(2027 - 2009)^{1,363} \approx 18,5 \text{ (млрд. грн)}.$$

Висновки

1. Визначено регресійну залежність, яка описує динаміку поточних витрат на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні, що може бути використана для прогнозування таких витрат.
2. Побудовано графічну інтерпретацію поточних витрат на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні, яка дозволяє наглядно проілюструвати дані залежності та показати достатню збіжність теоретичних результатів з фактичними на рівні 0,98943.
3. Встановлено, що поточні витрати на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні в 2010 – 2020 рр. зростали за степеневу залежністю.
4. Спрогнозовано, що за наявних темпів зростання поточні витрати на поводження з промисловими та побутовими відходами в Україні в 2027 році складатимуть 18,5 млрд. грн.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ishchenko V., Pohrebennyk V., Kochanek A., Przydatek G. Comparative environmental analysis of waste processing methods in paper recycling. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management*. SGEM. 2017. № 17 (51). P. 227–234.
2. Березюк О., Лемешев М. Особливості поводження та управління твердими побутовими та промисловими відходами на території України. *Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали V міжнар. наук.-практ. конф.*, 5-7 квіт. 2021 р. Івано-Франківськ: Видавець Кушнір Г. М., 2021. С. 110–112.
3. Ковальський В. П., Бондарь А. В. Шламосолокарбонатний прес-бетон на основі відходів промисловості. *Інформаційні технології : наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : матеріали XXIV міжнар. наук.-практ. конф.* Харків, 2015. С. 209.
4. Обґрунтування доцільності використання золошламового в'язучого для приготування сухих будівельних

сумішей / В. П. Ковальський та ін. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Випуск 26, 2013. С. 186–193.

5. ДСанПіИ 2.2.7.029-99. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення. 1 липня 1999. URL: <https://www.mcl.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/09/%D0%94%D0%A1%D0%B0%D0%BD%D0%9F%D1%96%D0%9D-2.2.7.029-99.pdf>.

6. Кабінету Міністрів України. Постанова № 265 "Про затвердження Програми поводження з твердими побутовими відходами" 4 березня 2004 . URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/265-2004-%D0%BF> (дата звернення: 10.09.2025)

7. Фінансово-інвестиційне забезпечення сфери поводження з відходами: напрями формування інституціонального середовища / В. А. Голян та ін. *Інвестиції: практика та досвід*. 2022. № 17-18. С. 5–12.

8. Губанова О. Р. Теоретико-методологічні засади формування організаційно-економічного механізму стимулювання вторинного ресурсокористування. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2012. Вип. 13. С. 29–37.

9. Андрєєва Н. М., Барун М. В. Організаційно-економічний інструментарій забезпечення перспективи розвитку механізму використання вторинних ресурсів в Україні. *Економічні проблеми сталого розвитку: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої пам'яті проф. Балацького О. Ф.*, 24-26 квітня 2013 р. Суми. СумДУ, 2013. Т. 1. С. 17–18.

10. Приходько В. Ю., Сафранов Т. А. Ресурсоцінна складова твердих побутових відходів окремих регіонів України: монографія. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2024. 101 с.

11. Cointreau S. Solid Waste Collection Systems in Developing countries. *Seminar on Solid Waste Primers and Lessons Learned from World Bank Projects*, March 7, 2005. The World Bank, 2005. 90 p.

12. Березюк О. В. Визначення регресійних залежностей витрат на управління твердими побутовими відходами від рівня доходів населення. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2012. № 5. С. 24–26.

13. Березюк О.В. Математичне моделювання економічних витрат на управління твердими побутовими відходами. *Актуальні проблеми соціально-економічного розвитку: регіональні особливості та світові тенденції: Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів та молодих вчених*, 23 жовтня 2019 р. Івано-Франківськ: ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», 2019. С. 138–140.

14. Березюк О. В. Моделювання питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів твердих побутових відходів від забруднення важкими металами. *Комунальне господарство міст. Серія: безпека життєдіяльності людини – освіта, наука, практика*. 2015. № 1 (120). С. 240–242.

15. Березюк О. В., Березюк Л. Л. Моделювання витрат на анаеробне розкладання твердих побутових відходів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2015. № 3. С. 57–60.

16. Держстат України. Економічна статистика. Навколишнє природне середовище. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/ns.htm (дата звернення: 10.09.2025).

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

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

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

20. Bereziuk O. V. Determination of the regression of the solid waste compaction factor on the height of the polygon on the base of the computer program "RegAnaliz". *Automation of technologies and productions*. 2015. № 2 (8). P. 43–45.

Стаття надійшла до редакції 15.09.2025.

Стаття пройшла рецензування 25.09.2025.

Березюк Людмила Леонідівна – секретар деканату факультету машинобудування та транспорту.

Ковальський Віктор Павлович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури.

Фінік Ірина Валеріївна – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури. Вінницький національний технічний університет.