

УДК 622.457:519.6

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.140723.86.959

## ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ НАКОПИЧЕНИХ ВІДХОДІВ

РУСАКОВА Т. І.<sup>1\*</sup>, *докт. техн. наук, проф.*,

ДОЛЖЕНКОВА О. В.<sup>2</sup>, *канд. техн. наук, доц.*

<sup>1\*</sup>Дніпровський національний університет ім. Олесея Гончара, пр. Гагаріна, 72, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (066) 394-52-14, e-mail: [rusakovati1977@gmail.com](mailto:rusakovati1977@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-5526-3578

<sup>2</sup>Кафедра безпеки життєдіяльності, Дніпровський національний університет ім. Олесея Гончара, пр. Гагаріна, 72, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 908-59-89, e-mail: [dolena2017@gmail.com](mailto:dolena2017@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-4992-7953

**Анотація. Постановка проблеми.** Розглядається задача оцінювання обсягів накопичених відходів на території Дніпропетровської області, які постійно збільшуються, займають більшу площу та завдають шкоди навколишньому середовищу. Для розв'язання даної прогнозувальної задачі необхідно створити регресійну математичну модель для проведення статистичного оцінювання та аналізу впливу факторних змінних на загальні обсяги накопичених відходів. **Мета роботи** – створення математичної моделі для прогнозувального оцінювання можливих обсягів накопичених відходів на території Дніпропетровської області шляхом коригування обсягів факторних змінних. **Методика.** Аналіз динаміки зміни обсягів утворених, утилізованих, спалених, видалених відходів та капітальних інвестицій і витрат на поводження з відходами та встановлення тенденцій їх зміни на основі описової статистики. Застосування методів кореляційного аналізу для встановлення найбільш статистично значимих зв'язків між факторними змінними і результативною ознакою. Застосування методів регресійного аналізу для отримання коефіцієнтів регресійної математичної моделі і статистичних показників, що пояснюють імовірність значущості цих коефіцієнтів. **Наукова новизна.** Розроблена множинна регресійна математична модель, враховує факторні змінні, що впливають на процес накопичення відходів на території Дніпропетровської області. **Практична значущість.** Регресійна математична модель дозволяє оцінити необхідні обсяги залучення інвестицій та передбачити обсяги поточних витрат для коригування загальних обсягів накопичених відходів. **Висновки.** Створено математичну модель для аналізу обсягів накопичених відходів на території Дніпропетровської області. За даною моделлю проведено розрахунки обсягів накопичених відходів. Середнє значення відносної похибки розрахункових даних складає 1.03 %, тоді як максимальне значення похибки дорівнює 1.97 %, що підтверджує адекватність розробленої математичної моделі.

**Ключові слова:** накопичені відходи; математична модель; колінеарність; кореляційні методи; регресійний аналіз

## FORECASTING VOLUMES OF ACCUMULATED WASTE

RUSAKOVA T.I.<sup>1\*</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,

DOLZHENKOVA O.V.<sup>2</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

<sup>1\*</sup>Department of Life Safety, Oles Honchar Dnipro National University, 72, Haharina Ave., Dnipro, 49010, Ukraine, tel. +38 (066) 394-52-14, e-mail: [rusakovati1977@gmail.com](mailto:rusakovati1977@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-5526-3578

<sup>2</sup>Department of Life Safety, Oles Honchar Dnipro National University, 72, Haharina Ave., Dnipro, 49010, Ukraine, tel. +38 (050) 908-59-89, e-mail: [dolena2017@gmail.com](mailto:dolena2017@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-4992-7953

**Abstract. Problem statement.** The task of assessing the volume of accumulated waste in the territory of the Dnipropetrovsk region, which is constantly increasing, occupying a larger area and causing damage to the environment, is under consideration. To solve this forecasting problem, it is necessary to create a regression mathematical model for statistical evaluation and analysis of the factor variables' influence to the total volume of accumulated waste. **The purpose of the article.** Creation of a mathematical model for forecasting assessment of possible volumes of accumulated waste in the territory of the Dnipropetrovsk region by adjusting the volumes of factor variables. **Methodology.** Analysis of the dynamics of changes in the volumes of generated, utilized, incinerated, removed waste and capital investments and costs for waste management and establishment of trends in their changes based on descriptive statistics. Application of correlation analysis methods to establish the most statistically significant relationships between factor variables and the resulting feature. The use of regression analysis methods to obtain the coefficients of the regression mathematical model and statistical indicators that explain the probability of the significance of these coefficients. **Scientific novelty.** A multiple regression mathematical model was developed, which takes into account the factor variables affecting the process of waste accumulation in the territory of the Dnipropetrovsk

region. **Practical value.** The developed regression mathematical model makes it possible to estimate the required amount of investment and forecast the amount of current costs to adjust the total amount of accumulated waste. **Conclusions.** A mathematical model was created to analyze the volume of accumulated waste in the territory of the Dnipropetrovsk region. Based on this model, the volumes of accumulated waste were calculated. The average value of the relative error of the calculated data is 1.03 %, while the maximum value of the error is 1.97 %, which confirms the adequacy of the developed mathematical model.

**Keywords:** *accumulated waste; mathematical model; collinearity; correlation methods; regression analysis*

**Постановка проблеми.** Глобальною проблемою в усьому світі стало накопичення відходів, що пов'язано з урбанізацією, з розвитком економіки та промислового сектора країни, а також із соціальною свідомістю населення. З кожним роком збільшуються обсяги побутових та промислових відходів, які складаються на спеціально відведених місцях, займають значні площі та завдають шкоди навколишньому середовищу. Зростання міського населення, поширення моделі «розширеного споживання» спричинює неконтрольоване та необґрунтоване виробництво та споживання.

Для досягнення позитивного соціального та екологічного ефекту у поводженні з відходами необхідні поєднані дії з боку різних систем: державного та місцевого сектора управління, який приймає законодавчі проєкти, рішення і затверджує нормативні документи; бізнесу, який виступає головним інвестором і механізмом вирішення цього питання; суспільства, яке повинне свідомо ставитися до питань утворення та сортування відходів.

Розроблення управлінських рішень для ефективного поводження з відходами при збереженні високої якості життя ґрунтується на проведенні статистичного оцінення та аналізу обсягів утворених, спалених, утилізованих відходів з урахуванням їх зв'язку між собою та з інвестиціями і витратами, що впливають на обсяги накопичення відходів.

**Аналіз останніх досліджень.** Розроблення планування в управлінні відходами – досить складний процес. Важливою основою та передумовою ефективного планування в управлінні відходами виступає кількісна оцінка та прогнозування щодо утворення відходів. Процес прогнозування утворення відходів

залежить від багатьох факторів: швидкості утворення і складу відходів, навіть між містами всередині країни, індустріалізації, клімату і соціально-економічного розвитку.

Так, у праці [1] наведено оцінку утворення твердих відходів на основі різних соціально-економічних параметрів, таких як освіта, професія, дохід сім'ї, кількість членів сім'ї тощо. В дослідженні [2] показано, що зростання економічного розвитку та кількості населення поставило новий виклик у вирішенні проблеми вивезення, утилізації та зберігання відходів. У статті [3] наголошено на тому, що моделювання відносно прогнозування утворення відходів потребує достатньої кількості об'єктивних даних щодо утворення, вивезення та складування відходів.

В публікаціях [4–6] розглянуто різні джерела утворення відходів, методи переробки та повторного використання відходів.

В дослідженнях [7; 8] акцентовано увагу на застосуванні біоінженерних технологій для виробництва біовугілля, а також на використанні сільськогосподарських та лісових відходів у промисловості для заміни нафтопродуктів. У статті [9] висвітлено питання відносно обов'язкового знешкодження промислових відходів перед їх видаленням у спеціально відведені місця. Також наголошено на тому, що багато розвинутих країн експортують свої промислові відходи в країни, які розвиваються і не мають сучасних технологій для переробки, що створює екологічну небезпеку в цих країнах [10].

Перехід на ресурсозберігання стає передумовою до економії ресурсів. Використання відходів як ресурсу для виробництва товарів та енергії виступає важливим елементом економіки «замкнутого циклу», коли всі залишкові

матеріали розглядаються як ресурси та повертаються у виробничу систему, наскільки це можливо.

**Мета дослідження** – побудова математичної моделі щодо прогнозування накопичення відходів у Дніпропетровській області на основі встановлення взаємозв'язків між утвореними, утилізованими, спаленими і видаленими відходами та капітальними інвестиціями і поточними витратами на поводження з відходами.

**Опис об'єкта.** Для аналізу використано статистичні дані Головного управління статистики в Дніпропетровській області щодо утворення та поводження з відходами, які перебувають у відкритому доступі [11]. Ставиться задача дослідження динаміки зміни утворених, утилізованих, спалених, видалених та накопичених відходів упродовж 2010–2020 років, а також проведення статистичного аналізу взаємовпливу цих факторних величин та оцінення їх колінеарності як передумови для побудови математичної моделі накопичення відходів у Дніпропетровській області за вказаний період.

**Методи дослідження.** Методи множинного кореляційно-регресійного аналізу для дослідження статистичних показників і встановлення найбільш значимих факторних змінних, що є складовими побудованої математичної регресійної моделі та впливають на результативну ознаку, якою виступають обсяги накопичених відходів.

**Методика дослідження.** На основі описової статистики з використанням програми Microsoft Excel проаналізовано динаміку зміни обсягів утворених, утилізованих, спалених та видалених відходів (рис. 1–4) в Дніпропетровській області за 2010–2020 роки.

Динаміка розподілу утворених відходів (рис. 1) має такі показники: загальний обсяг утворених відходів за вказаний період складає 2 892 994.1 тис. т; максимальне значення 309 398.4 тис. т досягнуте у 2020 році; мінімальне значення – 205 850.1 тис. т – у 2016 році, середнє

значення – 262 999.5 тис. т; медіана – 259 353.9 тис. т; статистична дисперсія (розмах) ряду даних – 103 548.3 тис. т; середнє квадратичне відхилення – 32 293 тис. т; асиметрія від'ємна і складає -0.23, що показує незначне зміщення в бік максимального значення.

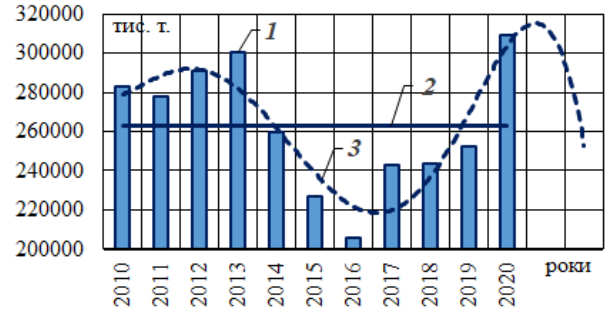


Рис. 1. Динаміка зміни обсягів утворених відходів за 2010–2020 роки: 1 – статистичні дані; 2 – середнє значення; 3 – лінія тренду

Для виявлення тенденції зміни утворених відходів за 2010–2020 роки, а також для отримання прогнозної поведінки на найближчі роки побудовано лінію тренду (рис. 1, лінія 3). Можна бачити, що спостерігається тенденція до спадання функціональної залежності. Оскільки періодичність повторення максимальних значень, які спостерігалися у 2013 та 2020 роках, складає 7 років, ймовірно отримання наступного максимального значення обсягів утворених відходів у 2027 році. Рівняння лінії тренду для зміни обсягів утворених відходів  $m_1(x)$  по Дніпропетровській області має вигляд:

$$m_1(x) = a_5x^5 + a_4x^4 + a_3x^3 + a_2x^2 + a_1x + a_0, \quad (1)$$

де  $x$  – роки,  $a_5 = -26.1$ ,  $a_4 = 738.7$ ,  $a_3 = -6700.7$ ,  $a_2 = 20755$ ,  $a_1 = -15864$ ,  $a_0 = 279869$ , величина достовірності апроксимації складає  $R^2 = 0.8288$ .

Функціональна залежність зміни обсягів утилізованих відходів за 2010–2020 роки в Дніпропетровській області показана на рисунку 2: загальний обсяг утилізованих відходів за вказаний період складає 953 478.6 тис. т; максимальне значення

102 195.5 тис. т досягнуте у 2013 році; мінімальне значення – 66 745.7 тис. т у 2016 році, середнє значення – 86 679.9 тис. т; медіана – 87 132.9 тис. т; розмах ряду даних – 35 449.8 тис. т; середнє квадратичне відхилення – 10 356.8 тис. т; від’ємна асиметрія складає -0.7, що показує значне зміщення в бік максимального значення.

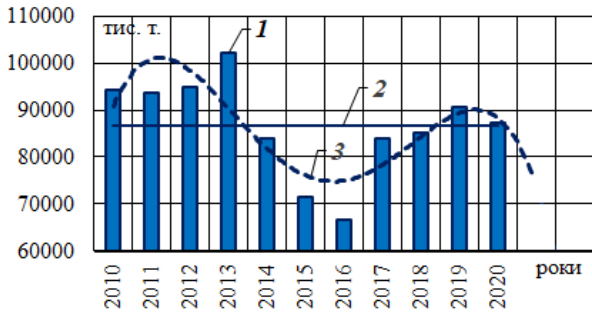


Рис. 2. Динаміка зміни обсягів утилізованих відходів за 2010–2020 роки: 1 – статистичні дані; 2 – середнє значення; 3 – лінія тренду

Відповідно до побудованої лінії тренду (рис. 2, лінія 3) можна бачити, що спостерігається зниження локальних максимумів і спадання поточних обсягів утилізованих відходів. Така тенденція продовжиться і в наступні 3–4 роки. Рівняння, що описує обсяги утилізованих відходів  $m_2(x)$ , має вигляд:

$$m_2(x) = b_4x^4 + b_3x^3 + b_2x^2 + b_1x + b_0, \quad (2)$$

де  $x$  – роки,  $b_4 = -72.6$ ,  $b_3 = 1875.2$ ,  $b_2 = -15719$ ,  $b_1 = 45292$ ,  $b_0 = 52296$ , величина достовірності апроксимації складає  $R^2 = 0.6782$ .

Динаміка розподілу спалених відходів (рис. 3) має такі показники: загальний обсяг спалених відходів за вказаний період складає 588.2 тис. т; максимальне значення 143.7 тис. т досягнуте у 2010 році; мінімальне значення – 23.4 тис. т у 2015 році, середнє значення – 53.5 тис. т; медіана – 27.4 тис. т; розмах ряду даних – 120.3 тис. т; середнє квадратичне відхилення – 44.6 тис. т; асиметрія складає 1.3, що показує значне зміщення в бік мінімального значення, оскільки з 2013 року обсяги спалених відходів коливаються в

середньому у межах мінімального значення  $\Delta \approx 5$  тис. т.

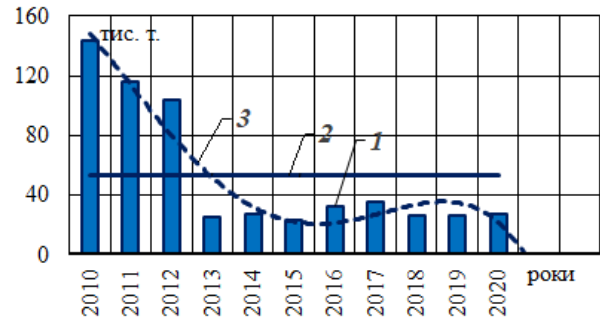


Рис. 3. Динаміка зміни маси спалених відходів за 2010–2020 роки: 1 – статистичні дані; 2 – середнє значення; 3 – лінія тренду

Тенденція зміни обсягів спалених відходів  $m_3(x)$  описується функціональною залежністю:

$$m_3(x) = c_4x^4 + c_3x^3 + c_2x^2 + c_1x + c_0, \quad (3)$$

де  $x$  – роки,  $c_4 = -0.084$ ,  $c_3 = 1.71$ ,  $c_2 = -7.97$ ,  $c_1 = 20.9$ ,  $c_0 = 175.4$ , величина достовірності апроксимації складає  $R^2 = 0.9155$ .

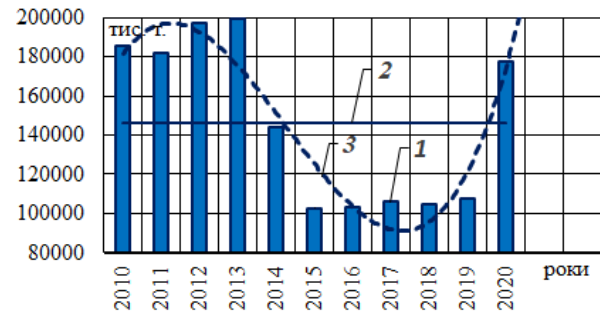


Рис. 4. Динаміка зміни маси видалених відходів за 2010–2020 роки: 1 – статистичні дані; 2 – середнє значення; 3 – лінія тренду

Аналіз зміни обсягів видалених відходів (рис. 4) включає такі показники: загальний обсяг видалених відходів за вказаний період складає 1 609 470.2 тис. т; максимальне значення 199 280.3 тис. т досягнуте у 2013 році; мінімальне значення – 102 670.6 тис. т у 2015 році, середнє значення – 146 315.5 тис. т; медіана – 144 104.3 тис. т; розмах ряду даних – 96 609.7 тис. т; середнє квадратичне відхилення – 42 254.6 тис. т; додатна

асиметрія складає 0.09, що показує незначне зміщення в бік мінімального значення.

Можна бачити, що, починаючи з 2014 року обсяги видалених відходів у спеціально відведені місця щорічно складають від 43 до 67 % відносно обсягів утворених відходів, тобто в середньому залишаються на рівні 55 %, а з 2019 року спостерігається інтенсивне зростання. Для наступних декількох років після 2022 року така тенденція може зберігатися до періоду стабілізації економіки.

Тенденція зміни обсягів видалених відходів  $m_4(x)$  описується залежністю:

$$m_4(x) = d_3x^3 + d_2x^2 + d_1x + d_0, \quad (4)$$

де  $x$  – роки,  $d_3 = 962.7$ ,  $d_2 = -15234$ ,  $d_1 = 54015$ ,  $d_0 = 141754$ , величина достовірності апроксимації складає  $R^2 = 0.8952$ .

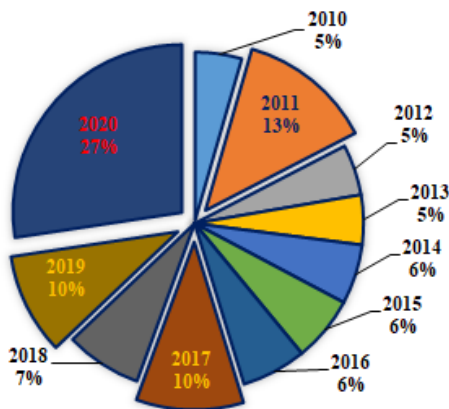


Рис. 5. Динаміка зміни інвестицій на поводження з відходами за 2010-2020 роки

Прийняття управлінських рішень у поводженні з відходами залежить насамперед від капітальних інвестицій на поводження з відходами і реальних поточних витрат, пов'язаних з охороною навколишнього середовища. Аналіз інвестицій (рис. 5) показує, що найбільші інвестиції були залучені в 2011, 2017, 2019 та 2020 роках, вони склали відповідно: 13 % – 897 701.8 грн, 10 % – 713 957.3 грн, 10 % – 676 876.2 грн, 27 % – 1 902 483.8 грн.

Розподіл витрат на поводження з відходами (рис. 6) показує, що вони щорічно збільшуються. Найбільші витрати

спостерігалися в 2018, 2019 та 2020 роках і склали відповідно: 4 445 786.1 грн, 5 212 912.9 грн, 5 933 601.3 грн.

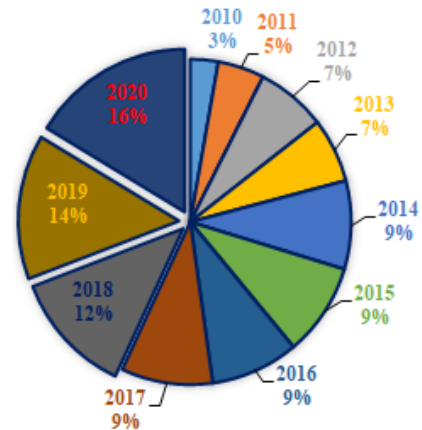


Рис. 6. Динаміка зміни поточних витрат на поводження з відходами за 2010–2020 роки

Можна бачити, що порівняно з інвестиціями, витрати в 2–9 разів перевищують інвестиції (рис. 7).

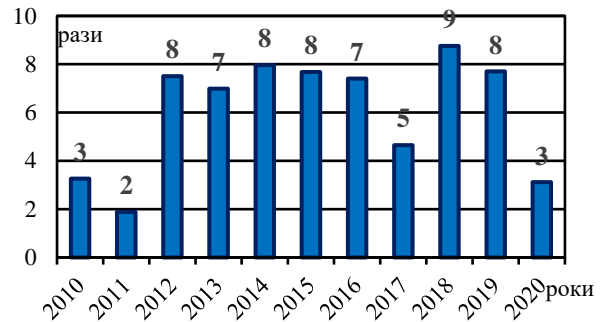


Рис. 7. Показник перевищення поточних витрат відносно інвестицій на поводження з відходами за 2010–2020 роки

Таблиця 1

**Коефіцієнти кореляції між факторними величинами**

	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$p_1$	$p_2$	$y(m)$
$m_1$	1	0.745	-0.173	0.798	0.379	0.293	0.659
$m_2$		1	-0.134	0.767	0.212	0.276	0.565
$m_3$			1	-0.194	-0.176	-0.117	-0.161
$m_4$				1	0.616	0.448	0.503
$p_1$					1	0.624	0.638
$p_2$						1	0.873
$y(m)$							1

Примітка:  $m_1$  – обсяг утворених відходів,  $m_2$  – обсяг утилізованих відходів,  $m_3$  – обсяг спалених відходів,  $m_4$  – обсяг видалених відходів у спеціально відведені місця,  $p_1$  – інвестиції,  $p_2$  – витрати,  $y(m)$  – обсяг накопичених відходів за 2010–2020 роки.

Для встановлення зв'язків між факторними величинами, що можуть впливати на загальні обсяги накопичених відходів, проведено кореляційний аналіз. Коефіцієнти кореляції наведено в таблиці 1, із якої видно, що кореляція між результативною змінною  $y(m)$  та факторною змінною  $m_3$  дуже слабка, оскільки коефіцієнт кореляції  $k_{кор.} = -0.161$ . Також слабка кореляція між факторними змінними  $m_1$  і  $m_3$ ,  $m_2$  і  $m_3$ ,  $m_4$  і  $m_3$ ,  $p_1$  і  $m_3$ ,  $p_2$  і  $m_3$ , оскільки коефіцієнти кореляції відповідно дорівнюють:  $k_{кор.} = -0.173$ ,  $k_{кор.} = -0.134$ ,  $k_{кор.} = -0.194$ ,  $k_{кор.} = -0.176$ ,  $k_{кор.} = -0.117$  відповідно.

У зв'язку із слабкою кореляцією факторну змінну  $m_3$  виключено з розрахунків і отримано спрощену таблицю коефіцієнтів кореляції (табл. 2).

Таблиця 2

Коефіцієнти кореляції між факторними величинами

	$m_1$	$m_2$	$m_4$	$p_1$	$p_2$	$y(m)$
$m_1$	1	0.745	0.798	0.379	0.293	0.659
$m_2$		1	0.767	0.212	0.276	0.565
$m_4$			1	0.616	0.448	0.503
$p_1$				1	0.624	0.638
$p_2$					1	0.873
$y(m)$						1

Із таблиці 2 видно сильну кореляцію між результативною змінною  $y(m)$  та факторною змінною  $p_1$ , оскільки коефіцієнт кореляції  $k_{кор.} = 0.873$ , що підтверджує сильний зв'язок між витратами на накопиченими відходами. Нормований  $R_{квадрат} = 0.967$ , показує, що результативна змінна  $y(m)$  залежить на 97 % від факторних змінних  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_4$ ,  $p_1$  і  $p_2$ , що говорить про адекватність моделі.

Рівняння множинної лінійної регресії після вилучення факторної змінної  $m_3$  набуло такого вигляду:

$$y(m) = q_0 + q_1m_1 + q_2m_2 + q_4m_4 + q_5p_1 + q_6p_2, \quad (5)$$

де  $m_1$  – обсяг утворених відходів,  $m_2$  – обсяг утилізованих відходів,  $m_4$  – обсяг видалених відходів у спеціально відведені

місця,  $p_1$  – капітальні інвестиції,  $p_2$  – поточні витрати.

Коефіцієнти регресії у рівнянні (5) дорівнюють:  $q_0 = 8873952.69$ ,  $q_1 = 7.46$ ,  $q_2 = -12.49$ ,  $q_4 = -5.53$ ,  $q_5 = 0.11$ ,  $q_6 = 0.33$ .  $P$  – значення для знайдених коефіцієнтів регресії, що визначають імовірності їх значущості, дорівнюють: 0.0001, 0.0054, 0.0442, 0.0421, 0.0064, 0.0118. Усі значення менші 0.05, що підтверджує їх вагомий вплив на змінну  $y(m)$ .

Для визначення адекватності отриманої кореляційної моделі проведено розрахунки  $y(m)$  моделі та відносної похибки отриманих значень за моделлю відносно вихідних даних. Середнє значення похибки склало  $\Delta_{сер.} = 1.03\%$ , а максимальне  $\Delta_{макс.} = 1.97\%$ . Таким чином, регресійна математична модель (5) з точністю на 98 % описує динаміку обсягів накопичених відходів у Дніпропетровській області за 2010–2020 роки, що говорить про її адекватність.

**Наукова новизна та практична цінність.** Запропоновано регресійну математичну модель, що дозволяє прогнозувати динаміку накопичених відходів по Дніпропетровській області. Математична модель враховує ряд факторних величин, що впливають на формування обсягів накопичених відходів, а саме: обсяги утворених, утилізованих, спалених та видалених відходів у спеціальні місця, а також обсяги капітальних інвестицій та поточних витрат.

**Висновки.**

1. Оцінено обсяги утворених, утилізованих, спалених, видалених та накопичених відходів, а також обсяги капітальних інвестицій та поточних витрат на охорону навколишнього середовища щодо поводження з відходами впродовж 2010–2020 років. На основі описової статистики встановлено закономірності їх зміни.

2. Проведено кореляційний аналіз зв'язків між вищезазначеними факторними змінними та з результативною величиною обсягів накопичених відходів. У результаті оцінення колінеарності встановлено щільність зв'язків.

3. Отримано регресійну математичну модель на основі регресійно-дисперсійного аналізу і перевірено її адекватність: середнє значення відносної похибки розрахунків склало 1.03 %, а максимальне – 1.97 %.

Розроблена регресійна математична модель дозволяє оцінити необхідні обсяги

залучення інвестицій та передбачити обсяги поточних витрат для коригування загальних обсягів накопичених відходів із метою поліпшення управлінських рішень для ефективного поводження з відходами та зменшення впливу на навколишнє середовище.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Khan D., Kumar A., Samadder S. R. Impact of socioeconomic status on municipal solid waste generation rate. *Waste Management*. № 49. 2016. Pp. 15–25.
2. Trang P. T. T., Dong H. Q., Toan D. Q., Hanh N. T. X., Thu N. T. The effects of socio-economic factors on household solid waste generation and composition: a case study in Thu Dau Mot, Vietnam. *Energy Procedia*. № 107. 2017. Pp. 253–258.
3. Kolekar K. A., Hazra T., Chakrabarty S. N. A review on prediction of municipal solid waste generation models. *Procedia Environmental Sciences*. № 35. 2016. Pp. 238–244.
4. Parimala G. S., Arockiam J. S., Amjad A., Di G., Zengqiang Z. Waste treatment approaches for environmental sustainability. *Microorganisms for Sustainable Environment and Health*. 2020. Pp. 119–135. URL : <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819001-2.00006-1>
5. Shing W. S., Siti M. M., Nurul A. S., Mohd F. F. A., Hajar F. A. Evaluation of pre-treated healthcare wastes during COVID-19 pandemic reveals pathogenic microbiota, antibiotics residues, and antibiotic resistance genes against beta-lactams. *Environmental Research*. № 219. 2023. Pp. 115–139. URL : <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115139>
6. Nishit S., Anushka S., Kimaya S., Lukhanyo M., Pankaj C., Soumya P. Microbial hydrogen production: fundamentals to application. *Microorganisms for Sustainable Environment and Health*. 2020. Pp. 343–365. URL : <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819001-2.00017-6>
7. Meenal G., Nishit S., Chetan P., Soumya P., Piyush K. G., Manu P., Santimoy K., Yogesh K., Daksh A., Remya R. N. and al. Use of biomass-derived biochar in wastewater treatment and power production : a promising solution for a sustainable environment. *Science of The Total Environment*. № 825. 2022. Pp. 153–892. URL : <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153892>
8. Vignesh K. S., Suriyaprakash R., Kantha D. A. Challenges, issues, and problems with zero-waste tools. *Concepts of Advanced Zero Waste Tools*. № 825. 2021. Pp. 69–90. URL : <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822183-9.00004-0>
9. Singh P. P., Ambika N. Solid waste management through the concept of zero waste. *Emerging Trends to Approaching Zero Waste (Environmental and Social Perspectives)*. 2022. Pp. 293–318. URL : <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85403-0.00009-8>
10. Artiola J. F. Industrial Waste and Municipal Solid Waste Treatment and Disposal. *Environmental and Pollution Science (Third Edition)*. 2019. Pp. 377–391. URL : <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814719-1.00021-5>
11. Головне управління статистики у Дніпропетровській області. URL : <http://www.dneprstat.gov.ua/statinfo/ns/> (дата звернення: 30.02.2023).

### REFERENCES

1. Khan D., Kumar A. and Samadder S.R. Impact of socioeconomic status on municipal solid waste generation rate. *Waste Management*. 2016, no. 49, pp. 15–25.
2. Trang P.T.T., Dong H.Q., Toan D. Q., Hanh N.T.X. and Thu N.T. The effects of socio-economic factors on household solid waste generation and composition: a case study in Thu Dau Mot, Vietnam. *Energy Procedia*. 2017, no. 107, pp. 253–258.
3. Kolekar K.A., Hazra T. and Chakrabarty S.N. A review on prediction of municipal solid waste generation models. *Procedia Environmental Sciences*. 2016, no. 35, pp. 238–244.
4. Parimala G.S., Arockiam J.S., Amjad A., Di G. and Zengqiang Z. Waste treatment approaches for environmental sustainability. *Microorganisms for Sustainable Environment and Health*. 2020, pp. 119–135. URL : <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819001-2.00006-1>
5. Shing W.S., Siti M.M., Nurul A.S., Mohd F.F.A. and Hajar F.A. Evaluation of pre-treated healthcare wastes during COVID-19 pandemic reveals pathogenic microbiota, antibiotics residues, and antibiotic resistance genes against beta-lactams. *Environmental Research*. 2023, no. 219, pp. 115–139. URL : <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115139>
6. Nishit S., Anushka S., Kimaya S., Lukhanyo M., Pankaj C. and Soumya P. Microbial hydrogen production: fundamentals to application. *Microorganisms for Sustainable Environment and Health*. 2020, pp. 343–365. URL : <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819001-2.00017-6>

7. Meenal G., Nishit S., Chetan P., Soumya P., Piyush K. G., Manu P., Santimoy K., Yogesh K., Daksh A., Remya R. N. and al. Use of biomass-derived biochar in wastewater treatment and power production : a promising solution for a sustainable environment. *Science of The Total Environment*. 2022, no. 825, pp. 153–892. URL : <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153892>

8. Vignesh K.S., Suriyaprakash R. and Kantha D.A. Challenges, issues, and problems with zero-waste tools. *Concepts of Advanced Zero Waste Tools*. 2021, no. 825, pp. 69–90. URL : <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822183-9.00004-0>

9. Singh P.P. and Ambika N. Solid waste management through the concept of zero waste. *Emerging Trends to Approaching Zero Waste (Environmental and Social Perspectives)*. 2022, pp. 293–318. URL : <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85403-0.00009-8>

10. Artiola J.F. Industrial Waste and Municipal Solid Waste Treatment and Disposal. *Environmental and Pollution Science (Third Edition)*. 2019, pp. 377–391. URL : <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814719-1.00021-5>

11. *Holovne upravlinnya statystyky u Dnipropetrovs'kiy oblasti* [Main Department of Statistics in Dnipropetrovsk Region]. URL : <http://www.dneprstat.gov.ua/statinfo/ns/> (date application: 30.02.2023). (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 12.06.2023.