

## **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ВИТРАТ НА УПРАВЛІННЯ ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ**

На відміну від промислових відходів [1, 2], тверді побутові відходи (ТПВ) характеризуються величезною неоднорідністю, що ускладнює їхню переробку. Щорічний об'єм ТПВ, що утворюються в українських населених пунктах перевищує 54 млн. м<sup>3</sup> [3]. Переважна їх більшість захоронюються на 4530 полігонах та сміттєзвалищах, які займають площу майже 7,7 тис. гектарів та лише частково утилізуються на сміттєспалювальних заводах або перероблюються. Лише протягом 1999-2014 рр. загальна площа полігонів та сміттєзвалищ в Україні зросла в 3 рази. Крім того, більше ніж в 2 рази зросла площа перевантажених, а також більше ніж в 3,1 рази тих полігонів та сміттєзвалищ, що не відповідають нормам екологічної безпеки. Збирання ТПВ є основним завданням санітарного очищення населених пунктів і здійснюється більше ніж 4,1 тис. спеціальними автомобілями (сміттєвозами) [4, 5], а тому пов'язане із значними фінансовими витратами. Лише на перевезення ТПВ сміттєвозами до місця їх утилізації при мінімальній відстані 30 км, що відповідає розмірам санітарної зони, витрачається більше 45 тис. тонн пального. Постанова Кабінету Міністрів України № 265 [6] сформувала базис для розробки Національної стратегії поводження з твердими побутовими відходами в Україні. Тому визначення регресійних залежностей економічних витрат на управління твердими побутовими відходами від рівня доходів населення є актуальною задачею як однієї із складових для вирішення проблеми створення науково-технічних основ проектування високоефективних робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів.

В роботі [7] наведено статистичні дані щодо економічних витрати на управління ТПВ для груп жителів з низькими, середніми та високими річними доходами. В статтях [8, 9] визначено економічні витрати на управління ТПВ в Україні та Росії, відповідно.

Метою дослідження є побудова математичних моделей економічних витрат на управління твердими побутовими відходами від рівня доходів населення як однієї із задач для вирішення проблеми створення науково-технічних основ проектування високоефективних робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів.

У табл. 1 показані середні показники економічних витрат на управління ТПВ у державах з різними рівнями доходів населення: низькими, середніми, високими.

На основі даних табл. 1 планувалось отримати парні регресійні залежності економічних витрат на окремі складові управління ТПВ, витрат як відсотка від доходів та загальних витрат від рівня доходів населення.

## Економічні витрати на управління ТПВ для груп жителів з різними доходами [7]

Річні доходи, \$/(рік·осіб)	Низькі	Середні	Високі
	370	2400	22000
Річна маса утворення ТПВ на душу населення, кг/(рік·осіб)	200	300	600
Витрати на збирання, \$/т	10-30	30-70	70-120
Витрати на транспортування, \$/т	3-5	5-15	15-20
Витрати на захоронення, \$/т	1-5	3-10	20-50
Загальні витрати, \$/т	14-40	38-95	105-190
Витрати як відсоток від доходів	0,8-2,2	0,5-1,2	0,3-0,5

Вибір виду залежностей парних регресій проводився із 16 найбільш поширених математичних залежностей за критерієм максимального значення коефіцієнта кореляції. Регресії проводились 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 [10] і детально описана в роботах [11, 12].

Таким чином, за результатами регресійного аналізу на основі даних табл. 1 як найбільш адекватні остаточно прийняті такі математичні моделі:

$$B_{зб} = D_p / (19,63 + 0,009656 D_p); \quad (1)$$

$$B_{мп} = 3,307 \ln D_p - 15,62; \quad (2)$$

$$B_{зах} = 2,702 + 0,001469 D_p; \quad (3)$$

$$B_{заг} = B_{зб} = D_p / (19,63 + 0,009656 D_p) + 3,307 \ln D_p + 0,001469 D_p - 12,92; \quad (4)$$

$$B_{\%} = 10,33 D_p^{-0,324}, \quad (5)$$

де  $B_{зб}$ ,  $B_{мп}$ ,  $B_{зах}$ ,  $B_{заг}$  – витрати на збирання, транспортування, захоронення та загальні, відповідно, \$/т;  $B_{\%}$  – витрати як відсоток від доходів, %;  $D_p$  – річні доходи, \$/(рік·осіб).

При цьому коефіцієнт кореляції склав 0,99907; 0,99988; 0,99989; 0,99696; 0,99948, відповідно, що свідчить про високу точність та адекватність одержаних математичних моделей.

Отже, побудовано математичні моделі економічних витрат на управління твердими побутовими відходами від рівня доходів населення, що можуть бути використаними під час вирішення проблеми створення науково-технічних основ проектування високоефективних робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів. Встановлено, що при збільшенні річних доходів населення економічні витрати на управління

твердими побутовими відходами 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 степеневою залежністю.

#### Література:

1. Ковальський В. П. Передумови активації золи-винесення відходами глиноземного виробництва / В. П. Ковальський // Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції “Наука і освіта”. – 2005. – С. 31-32.
2. Лемешев М. С. Ресурсозберігаюча технологія виробництва будівельних матеріалів з використанням техногенних відходів / М. С. Лемешев, О. В. Христич, С. Ю. Зузяк // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві. – 2018. – № 1. – С. 18-23.
3. Березюк О. В. Математичне моделювання прогнозування об’ємів утворення твердих побутових відходів та площ полігонів і сміттєзвалищ в Україні / О. В. Березюк // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві. – 2009. – № 2. – С. 88-91.
4. Попович В. В. Ефективність експлуатації сміттєвозів у середовищі "місто-сміттєзвалище" / В. В. Попович, О. В. Придатко, М. І. Сичевський та ін. // Науковий вісник НЛТУ України. – 2017. – Т. 27, № 10. – С. 111-116.
5. Berezyuk O. V. Dynamics of hydraulic drive of hanging sweeping equipment of dust-cart with extended functional possibilities / O. V. Berezyuk, V. I. Savulyak // Tehnomus. – Suceava, Romania, 2015. – No 22. – P. 345-351.
6. Постанова Кабінету Міністрів України від 4 березня 2004 року № 265 "Про затвердження Програми поводження з твердими побутовими відходами".
7. Cointreau. Waste Collection Systems in Developing Countries. Презентаційні матеріали. World Bank. – 2005. – Режим доступу: <http://www.worldbank.org/urban/urbanforum2005/ulwpresentations/sw/cointreau2.pdf>.
8. Березюк О. В. Визначення регресійних залежностей витрат на управління твердими побутовими відходами від рівня доходів населення / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 5. – С. 24-26.
9. Березюк О. В. Экономика и управление твердыми бытовыми отходами / О. В. Березюк // Территория науки. – 2018. – № 6. – С. 49-54.
10. Березюк О. В. Комп’ютерна програма "Регресійний аналіз" ("RegAnaliz") / Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 49486 // власник свідоцтва О. В. Березюк. – К. : Державна служба інтелектуальної власності України. – Дата реєстрації : 03.06.2013.
11. 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.
12. 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.