

УДК 628.4.03

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РІЧНОЇ МАСИ УТВОРЕННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ НА ДУШУ НАСЕЛЕННЯ В РІЗНИХ КРАЇНАХ СВІТУ

О. В. Березюк

Встановлено параметри, які впливають на річну масу утворення твердих побутових відходів на душу населення. Побудовано математичну модель прогнозування річної маси утворення твердих побутових відходів на душу населення для різних країн.

Установлены параметры, которые влияют на годовую массу образования твердых бытовых отходов на душу населения. Построена математическая модель прогнозирования годовой массы образования твердых бытовых отходов на душу населения для разных стран.

Installed parameters, which influence upon annual mass of forming the hard domestic waste per capita. Built mathematical model of forecasting annual mass of forming the hard domestic waste for different countries per capita.

Вступ. Постановка проблеми

Статистика свідчить, що річна маса утворення твердих побутових відходів (ТПВ), які утворюються в розвинутих країнах, коливається в межах 350-800 кг на душу населення. Щорічне зростання об'єму сміттєзвалищ складає близько 6 %. В США, наприклад, об'єм утворення ТПВ на душу населення за останніх 40 років збільшився в 1,6 раза. Серед шляхів поведінки з ТПВ в цих країнах основними є такі: захоронення на полігонах та сміттєзвалищах, спалювання з використанням енергії, компостування, повторне використання, біомеханічна обробка. Згадані методи поведінки з ТПВ потребують застосування цілого комплексу різноманітних машин та обладнання у величезних кількостях. Тому прогнозування річної маси утворення твердих побутових відходів на душу населення для різних країн з метою визначення потреби у машинах та обладнанні для поведінки з ТПВ є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень

Автори [1, 2] наводять статистичні дані щодо річної маси утворення ТПВ на душу населення в різних країнах світу. Автори [3] порівнюють вартість спалювання та захоронення ТПВ у різних країнах, а також констатують, що в останні роки відсоток ТПВ, які спалюються, має тенденцію до значного зниження. Однак конкретних залежностей, які б описували прогнозування річної маси утворення твердих побутових відходів на душу населення, в результаті аналізу відомих публікацій, нами не виявлено.

Формулювання мети досліджень

Метою дослідження є побудова математичної моделі прогнозування річної маси утворення твердих побутових відходів на душу населення для різних країн з метою визначення потреби у машинах та обладнанні для поведінки з ТПВ.

Виклад основного матеріалу

Серед параметрів, які впливають на річну масу утворення ТПВ на душу населення, розглядались такі: густина населення країни, величина валового внутрішнього продукту (ВВП) на душу населення, співвідношення витрат на спалювання та захоронення ТПВ. На відміну від абсолютних параметрів, відносні – дозволяють порівнювати країни з різними рівнями розвитку економіки, площами території та кількістю населення. Таким чином, цільову функцію – річну масу утворення ТПВ на душу населення, можна подати як функцію трьох змінних

$$M_{ТПВ} = f\left(\frac{n_n}{S_{кр}}, \frac{ВВП}{n_n}, \frac{B_{спал}}{B_{зах}}\right), \quad (1)$$

де $n_n/S_{кр}$ – густина населення, осіб/км²;
 $ВВП/n_n$ – ВВП на душу населення, тис. \$/осіб;
 $B_{спал}/B_{зах}$ – співвідношення витрат на спалювання $B_{спал}$ та витрат на захоронення $B_{зах}$ ТПВ;
 n_n – кількість населення країни, осіб;
 $S_{кр}$ – площа території країни, км².

Статистичні дані [1-3] щодо річної маси утворення ТПВ на душу населення в різних країнах світу та величин факторів впливу на цю величину наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Статистичні дані щодо річної маси утворення ТПВ на душу населення в різних країнах світу та величин факторів впливу

Країна	Густина населення, осіб/км ²	ВВП на душу населення, тис. \$/осіб	Співвідношення витрат на спалювання/захоронення ТПВ	Річна маса утворення ТПВ на душу населення, кг/рік-осіб
Великобританія	247	46,432	2,261	493
Данія	126,4	34,7	2,058	665
Ірландія	60,3	43,6	1,5	601
Іспанія	79,7	35,557	2,182	397
Нідерланди	394	51,657	2,378	613
Німеччина	230	40,415	2,185	537
Норвегія	12	72,306	1,255	613
США	31	46,954	1,5	812
Фінляндія	16	36,217	2,182	364
Франція	114	45,858	3	530
Швеція	21,9	55,427	1	428

В результаті обробки даних наведених в табл. 1 за допомогою методу найменших квадратів отримано регресійну залежність річної маси утворення ТПВ на душу населення у вигляді квадратичної регресійної моделі із ефектами взаємодій факторів 1-го та 2-го порядків

$$M_{ТПВ} = 87,08 \frac{n_n}{S_{кр}} + 26,04 \frac{ВВП}{n_n} - 142,5 \frac{B_{спал}}{B_{зах}} - 2,291 \frac{n_n}{S_{кр}} \frac{ВВП}{n_n} - 34,06 \frac{n_n}{S_{кр}} \frac{B_{спал}}{B_{зах}} + 28,93 \frac{ВВП}{n_n} \frac{B_{спал}}{B_{зах}} + 0,8993 \frac{n_n}{S_{кр}} \frac{ВВП}{n_n} \frac{B_{спал}}{B_{зах}} + 2,295 \cdot 10^{-3} \left(\frac{n_n}{S_{кр}} \right)^2 - 0,4921 \left(\frac{ВВП}{n_n} \right)^2 - 396,3 \left(\frac{B_{спал}}{B_{зах}} \right)^2 - 43,03 \quad (2)$$

Величина середньоквадратичної відносної похибки склала 1,259 %, що свідчить про адекватність отриманої регресійної моделі.

На рис. 1 показано поверхні відгуків цільових функцій цільової функції $M_{ТПВ}$ та її двовимірні перерізи в основних площинах дійсних значень параметрів впливу $n_n/S_{кр}$, $ВВП/n_n$, $B_{спал}/B_{зах}$, які дозволяють наглядно відобразити залежність (2).

На рис. 2 наведено порівняння фактичних та теоретичних даних річної маси утворення ТПВ на душу населення для різних країн, ранжованих в порядку спадання. Як видно із рис. 2 теоретична річна маса утворення ТПВ на душу населення для різних країн, розрахована за допомогою регресійної моделі (2), несуттєво відрізняється від фактичних даних, що свідчить про високу точність отриманої залежності. Отримана регресійна модель прогнозування річної маси утворення ТПВ на душу населення для різних країн може бути використана для визначення потреби у машинах та обладнанні для поведінки з твердими побутовими відходами.

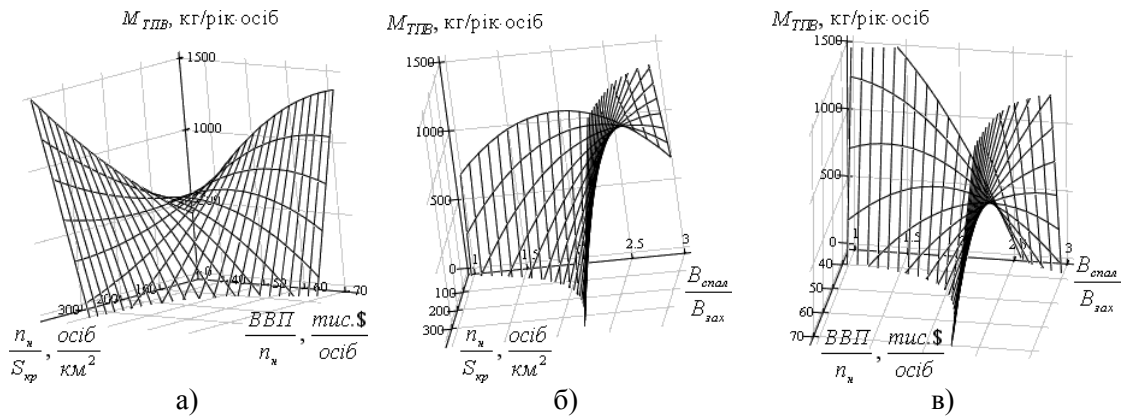


Рис. 1. Поверхні відгуків цільової функції $M_{ТПВ}$ та її двовимірні перерізи в основних площинах значень параметрів впливу $n_n/S_{кр}$, $ВВП/n_n$, $B_{спал}/B_{зах}$:

а) $M_{ТПВ} = f(n_n/S_{кр}, ВВП/n_n)$; б) $M_{ТПВ} = f(n_n/S_{кр}, B_{спал}/B_{зах})$; в) $M_{ТПВ} = f(ВВП/n_n, B_{спал}/B_{зах})$

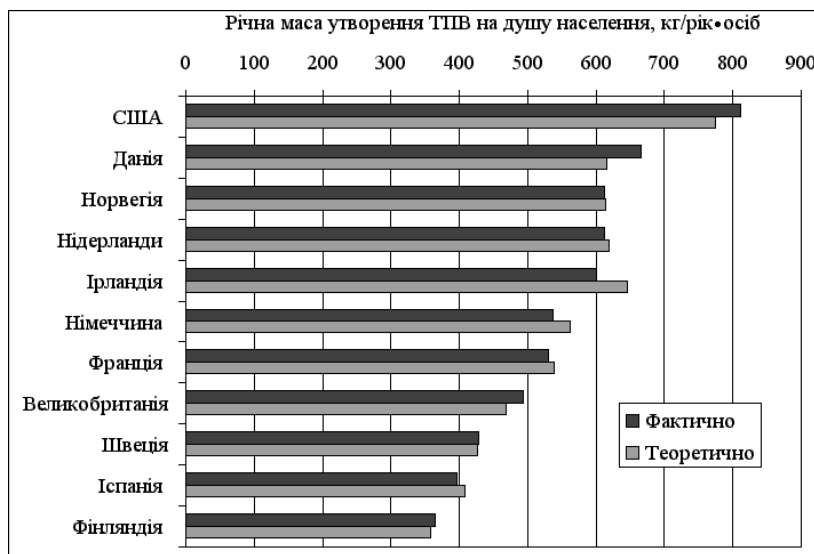


Рис. 2. Порівняння фактичних та теоретичних даних річної маси утворення ТПВ на душу населення для різних країн

Висновки

- Встановлено, що на річну масу утворення твердих побутових відходів на душу населення впливають такі параметри: густина населення країни, величина валового внутрішнього продукту на душу населення, співвідношення витрат на спалювання та захоронення відходів.
- Побудовано математичну модель прогнозування річної маси утворення твердих побутових відходів на душу населення для різних країн у вигляді квадратичної регресії із ефектами взаємодії 1-го та 2-го порядків, яка може бути використана для визначення потреби у машинах та обладнанні для поведінки з твердими побутовими відходами.

Використана література

1. Орлова Т. А. Экологическая оценка земельных участков, занятых объектами отходов / Т. А. Орлова // Містобудування та територіальне планування. – С. 167-180.
2. Масленников А. Ю. Характеристика твердых бытовых отходов / А. Ю. Масленников // Отраслевой портал ВТОРИЧНОЕ СЫРЬЕ. – Режим доступа: <http://www.recyclers.ru>.
3. Черп О. М. Проблема твердых бытовых отходов: комплексный подход / Олег Черп, Вадим Виниченко // Эколайн-Ecologia. – 1996. – С. 18. – Режим доступа: <http://www.ecolife.org.ua/education/apress/tbo/g11.php>.

Березюк Олег Володимирович – к.т.н., доцент кафедри безпеки життєдіяльності Вінницького національного технічного університету.