

## ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОЛОГІЧНА КІБЕРНЕТИКА

УДК 662.767.2

О. В. Березюк, канд. техн. наук, доц.

### РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ПИТОМОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЗВАЛИЩНОГО ГАЗУ

*Виявлено параметри, які впливають на питомий потенціал звалищного газу в різних країнах. Розроблено математичну модель прогнозування питомого потенціалу звалищного газу.*

#### Вступ

За даними статистики загальний потенціал звалищного газу (ЗГ), який утворюється на сміттєзвалищах та полігонах захоронення твердих побутових відходів (ТПВ), в США сягає 13 млрд м<sup>3</sup>/рік, а в країнах Європейського Союзу — майже 9 млрд м<sup>3</sup>/рік [1]. Основним компонентом ЗГ є метан, емісія якого з територій захоронення ТПВ складає від 1,5 до 70 млн т/рік [2, 3]. Екологічна небезпека метану зумовлена можливістю його горизонтального поширення на прилеглих до місць захоронення ТПВ територій, накопичення у підвалах приміщень і, як наслідок, створенням вибухонебезпечних газоповітряних сумішей у разі досягнення об'ємної концентрації від 5 до 15 %. Потреба в обліку валової емісії метану на сьогодні визначається і тим, що цей газ є складовою частиною національної квоти речовин, що впливають на зміну озонового шару планети та парниковий ефект. Тому прогнозування питомого потенціалу звалищного газу в різних країнах світу з метою розробки стратегії поводження з ТПВ є актуальною науково-технічною задачею.

У роботі [4] подано статистичні дані щодо потенціалу ЗГ у різних країнах світу. В роботі [5] запропоновано математичну модель прогнозування питомого об'єму видобування ЗГ. Однак конкретних залежностей, які б описували прогнозування питомого потенціалу звалищного газу, в результаті аналізу відомих публікацій автором не виявлено.

*Метою роботи є розробка математичної моделі прогнозування питомого потенціалу звалищного газу для розробки стратегії поводження з ТПВ.*

#### Основна частина

Серед параметрів, які впливають на питомий потенціал ЗГ у різних країнах, розглядалися такі: густина населення країни, величина валового внутрішнього продукту (ВВП) на душу населення, індекс розвитку людського потенціалу. Їх значення зведено в таблиці. На відміну від абсолютних, відносні параметри дозволяють порівнювати країни з різними рівнями розвитку економіки та людського потенціалу, кількістю населення та площами території.

**Річні потенціали ЗГ та фактори впливу на них [4]**

Країна	Потенціал ЗГ, млн. м <sup>3</sup> /рік	Питомий потенціал ЗГ, м <sup>3</sup> /осіб·рік	Фактори впливу		
			Густина населення, осіб/км <sup>2</sup>	ВВП на душу населення, \$ тис.	Індекс розвитку людського потенціалу
США	13000	44,79	31	46,954	0,95
Німеччина	2050	24,97	230	40,415	0,94
Великобританія	2520	41,80	247	46,432	0,942
Нідерланди	560	34,25	394	51,657	0,958
Франція	874	13,91	114	45,858	0,955
Італія	1040	17,31	199,4	39,565	0,945
Данія	105	19,27	126,4	34,7	0,952

Країна	Потенціал ЗГ, млн. м <sup>3</sup> /рік	Питомий потенціал ЗГ, м <sup>3</sup> /осіб·рік	Фактори впливу		
			Густина населення, осіб/км <sup>2</sup>	ВВП на душу населення, \$ тис.	Індекс розвитку людського потенціалу
Бельгія	192	19,80	318	29,814	0,948
Греція	370	32,71	85,3	30,661	0,947
Ірландія	180	42,46	60,3	43,6	0,96
Португалія	172	16,06	114	22,232	0,795
Іспанія	848	21,08	79,7	35,557	0,949
Україна	1350	29,42	76	7,532	0,786

За даними таблиці методом планування експерименту [6] за допомогою ротатабельного центрального композиційного планування другого порядку виду  $2^3$  (2 — кількість рівнів варіювання факторів, 3 — кількість факторів) передбачалось отримання квадратичного рівняння регресії з ефектами взаємодії 1-го порядку в дійсних (1) та степеневих (2) координатах:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i x_i + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=i}^3 b_{ij} x_i x_j ; \quad (1)$$

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i x_i^{c_i} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=i}^3 b_{ij} x_i^{c_i} x_j^{c_j} , \quad (2)$$

де  $y$  — цільова функція;  $x_i, x_j$  — фактори впливу;  $b_0, b_i, b_{ij}$  — коефіцієнти регресії;  $c_i, c_j$  — показники степенів ( $c_i \neq 1, c_j \neq 1$ );  $i, j$  — порядкові номери факторів.

Після визначення коефіцієнтів регресії рівнянь (1), (2) з використанням програмного забезпечення [7] встановлено, що залежність питомого потенціалу ЗГ в різних країнах від основних параметрів впливу точніше описується поліномом в степеневих координатах (2), для якого коефіцієнт кореляції склав  $R=0,9848$ , порівняно із поліномом в дійсних координатах (1), для якого  $R=0,8463$ . Таким чином, рівняння регресії, що описує залежність питомого потенціалу ЗГ в різних країнах від основних параметрів впливу факторів, виглядає так:

$$\begin{aligned} q_{П.ЗГ} = & 461,2 - 319,3 \left( \frac{n_n}{S_{кр}} \right)^{0,2007} - 0,1275 \left( \frac{ВВП}{n_n} \right)^{1,964} + 2284 ІРЛП^{50,07} + \\ & + 0,03603 \left( \frac{n_n}{S_{кр}} \right)^{0,2007} \left( \frac{ВВП}{n_n} \right)^{1,964} - 749,1 \left( \frac{n_n}{S_{кр}} \right)^{0,2007} ІРЛП^{50,07} - \\ & - 0,5987 \left( \frac{ВВП}{n_n} \right)^{1,964} ІРЛП^{50,07} + 58,39 \left( \frac{n_n}{S_{кр}} \right)^{0,4014} + 2,706 \cdot 10^{-5} \left( \frac{ВВП}{n_n} \right)^{3,928} + 3525 ІРЛП^{100,14} , \end{aligned} \quad (3)$$

де  $n_n/S_{кр}$  — густина населення, осіб/км<sup>2</sup>;  $ВВП/n_n$  — ВВП на душу населення, тис. \$/осіб; ІРЛП — індекс розвитку людського потенціалу (ІРЛП = 0...1);  $n_n$  — кількість населення країни, осіб;  $S_{кр}$  — площа території країни, км<sup>2</sup>.

Згідно з критерієм Стьюдента значимими виявилися всі фактори впливу, ефекти взаємодії 1-го порядку, а також квадратичні ефекти. За критерієм Фішера встановлено, що гіпотезу про адекватність регресійної моделі (3) можна вважати правильною з 95 %-ю достовірністю, оскільки розрахункове значення критерію Фішера  $F$  менше за критичне  $F_p = 0,95$  для 95 %-го рівня достовірності.

Виявлено, що за критерієм Стьюдента найбільше на питомий потенціал ЗГ в різних країнах впливає індекс розвитку людського потенціалу, а найменше — ВВП на душу населення.

Наявність додатних знаків для квадратичних ефектів  $n_n/S_{кр}$  та  $ВВП/n_n$  свідчить про те, що у разі подальшого зростання  $n_n/S_{кр}$  або  $ВВП/n_n$  наступне зменшення значення цільової функції (3) носитиме згасальний характер.

На рис. 1 показано поверхні відгуків цільової функції — питомого потенціалу ЗГ в різних країнах — та їх двомірні перерізи в площинах параметрів впливу, які дозволяють наочно відобразити залежність (3).

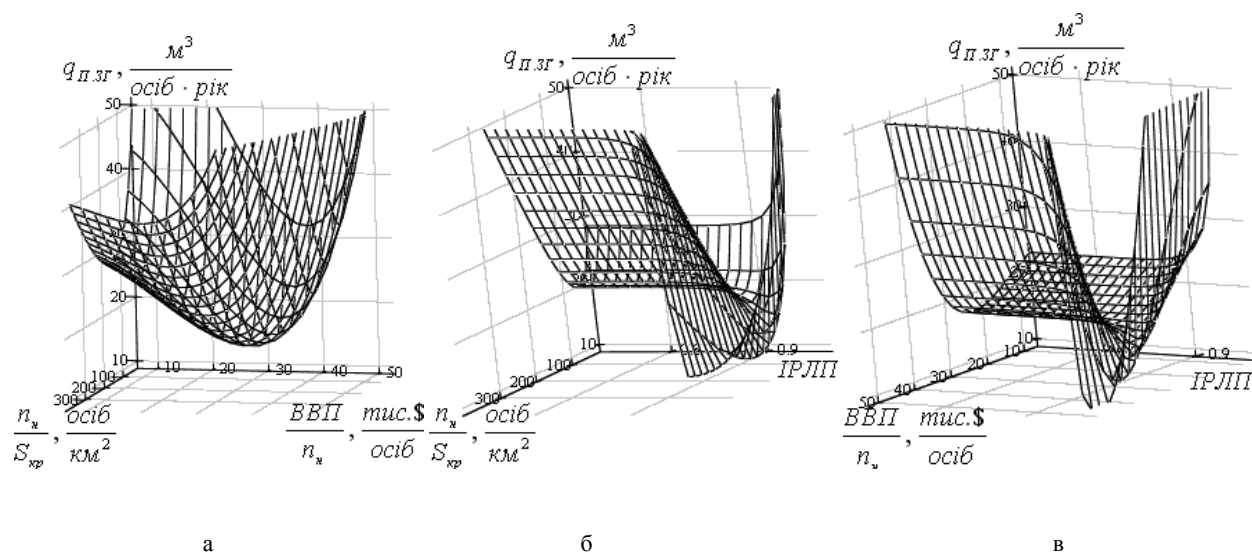


Рис. 1. Поверхні відгуків цільової функції — питомого потенціалу ЗГ  $q_{п.зг}$  — та їх двомірні перерізи в площинах параметрів впливу: а —  $n_n/S_{кр}$  – ВВП/ $n_n$ ; б —  $n_n/S_{кр}$  – ІРЛП; в — ВВП/ $n_n$  — ІРЛП

Порівняння фактичних та теоретичних даних питомого потенціалу ЗГ в різних країнах, ранжованих в порядку спадання, наведено на рис. 2. З рис. 2 випливає, що теоретичні питомі потенціали ЗГ в різних країнах, розраховані за допомогою регресійної моделі (3), несуттєво відрізняються від фактичних даних, що підтверджує визначену раніше високу достовірність отриманої залежності.

Отже, отримана регресійна модель прогнозування питомих потенціалів ЗГ в різних країнах (3) може бути використана під час розробки стратегії поводження з ТПВ.

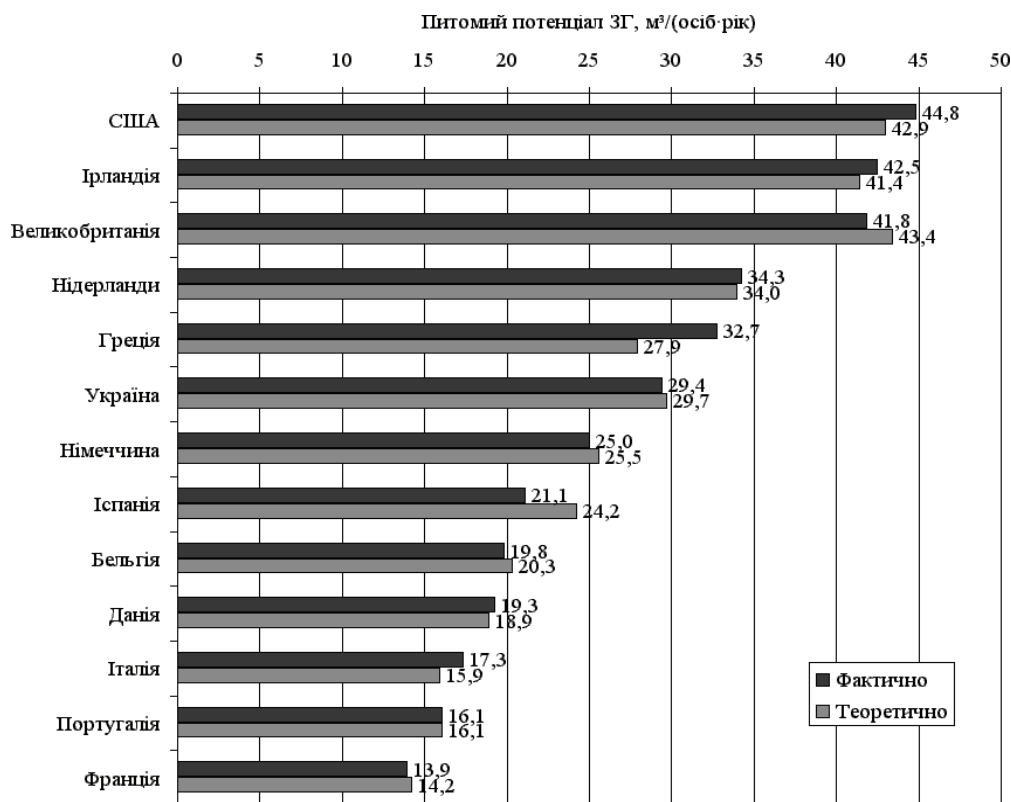


Рис. 2. Порівняння фактичних та теоретичних даних питомих потенціалів ЗГ в різних країнах

## Висновки

1. Встановлено, що на питомий потенціал звалищного газу в різних країнах впливають такі фактори: густина населення країни, величина валового внутрішнього продукту на душу населення, індекс розвитку людського потенціалу. При цьому найбільше на питомий потенціал звалищного газу в різних країнах впливає індекс розвитку людського потенціалу, а найменше — ВВП на душу населення.

2. Отримано адекватну математичну модель прогнозування питомого потенціалу звалищного газу в різних країнах у вигляді квадратичної регресії в степеневих координатах із ефектами взаємодій 1-го порядку, яка може бути використана під час розробки стратегії поводження з твердими побутовими відходами.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Техніко-економічне обґрунтування «Програми утилізації звалищного метану в Луганській області за допомогою механізмів Кітського протоколу». — Луганськ, 2008. — 124 с.
2. Исидоров В. А. Органическая химия атмосферы / В. А. Исидоров. — СПб. : Химия, 1992. — 288 с.
3. Минько О. И. Экологические и геохимические характеристики свалок твердых бытовых отходов / О. И. Минько, А. Б. Лифшиц // Экологическая химия. — 1992. — № 2. — С. 37—47.
4. Гелетуха Г. Г. Обзор технологий добычи и использования биогаза на свалках и полигонах твердых бытовых отходов и перспективы их развития в Украине / Г. Г. Гелетуха, З. А. Марценюк // Экологические технологии и ресурсосбережение. — 1999. — № 4. — С. 6—14.
5. Березюк О. В. Виявлення параметрів впливу на питомий об'єм видобування звалищного газу / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2012. — № 3. — С. 20—23. — ISSN 1997-9266.
6. Березюк О. В. Планування багатофакторного експерименту для дослідження вібраційного гідроприводу ущільнення твердих побутових відходів / О. В. Березюк // Вібрації в техніці та технологіях. — 2009. — № 3(55). — С. 92—97.
7. Березюк О. В. Комп'ютерна програма «Планування експерименту» («PlanExp») / О. В. Березюк // Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 46876. — К. : Державна служба інтелектуальної власності України. — Дата реєстрації: 21.12.2012.

Рекомендована кафедрою хімії та безпеки життєдіяльності

Стаття надійшла до редакції 23.01.2013

Рекомендована до друку 28.02.2013

**Березюк Олег Володимирович** — доцент кафедри хімії та безпеки життєдіяльності

Вінницький національний технічний університет, Вінниця