

ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОЛОГІЧНА КІБЕРНЕТИКА

УДК 662.767.2

О. В. Березюк, канд. техн. наук, доц.

МОДЕЛЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИДОБУВАННЯ ЗВАЛИЩНОГО ГАЗУ ДЛЯ РОЗРОБКИ ОБЛАДНАННЯ ТА СТРАТЕГІЇ ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ

Виявлено параметри, які впливають на ефективність видобування звалищного газу в різних країнах. Розроблено математичну модель прогнозування ефективності видобування звалищного газу.

Вступ

За даними [1] у світі експлуатуються 481 система збирання звалищного газу (ЗГ). Загальний видобуток цих систем становить 5,15 млрд м³ газу на рік. З них 175 установок розміщені в країнах ЄС, 264 — в Америці (244 — в США), по 4 — в Австралії та Азії, 2 — в Африці. Але лише близько 25—50 % зібраного ЗГ знаходить комерційне використання, решта — спалюється у факелах. Глобальна емісія ЗГ в атмосферу є важливим фактором зміни клімату Землі. Головною складовою ЗГ є метан, емісія якого з територій захоронення ТПВ складає від 1,5 до 70 млн т/рік [2, 3]. Під час утилізації метану з усіх полігонів твердих побутових відходів (ТПВ) в США його кількість становитиме 5 % від загального споживання природного газу в США або 1 % від загального споживання енергоносіїв [1]. За ступенем завдання шкоди довкіллю метан вважається другим після вуглекислого газу найшкідливішим парниковим газом і становить 18 % від загальної кількості парникових газів, що викидаються в атмосферу Землі. Метан за величиною потенціалу глобального потепління приблизно у 21 раз небезпечніший за вуглекислий газ. Необхідність обліку валової емісії метану сьогодні визначається і тим, що цей газ є складовою частиною національної квоти речовин, що впливають на парниковий ефект та зміну озонового шару планети. Тому визначення залежності ефективності видобування звалищного газу від основних параметрів впливу з метою розробки стратегії, комплексу машин та обладнання для поводження з ТПВ є актуальною науково-технічною задачею.

Автор [4] наводить статистичні дані щодо потенціалу ЗГ у різних країнах світу. В роботі [5] наведено математичну модель прогнозування питомого об'єму видобування ЗГ, а в роботі [6] опублікована математична модель прогнозування питомого потенціалу ЗГ. Однак конкретних залежностей, які б описували прогнозування ефективності видобування звалищного газу, в результаті аналізу відомих публікацій нами не виявлено.

Метою роботи є розробка математичної моделі прогнозування ефективності видобування звалищного газу для розробки стратегії, комплексу машин та обладнання для поводження з ТПВ.

Основна частина

Серед параметрів, які впливають на ефективність видобування ЗГ у різних країнах, розглядались такі: густота населення країни, величина валового внутрішнього продукту (ВВП) на душу населення, індекс розвитку людського потенціалу, значення яких наведено в таблиці. На відміну від абсолютних параметрів, відносні дозволяють порівнювати країни з різними рівнями розвитку економіки та людського потенціалу, кількістю населення та площами території.

Як видно з табл., ефективність видобування звалищного газу в розвинутих країнах не перевищує 20 %. Це свідчить про недостатність поширеність видобування звалищного газу.

Ефективність видобування ЗГ може бути визначена за формулою

$$\varepsilon_{\text{ЗГ}} = \frac{Q_{\text{ЗГ}}}{Q_{\text{П.ЗГ}}} \cdot 100 \% = \frac{q_{\text{ЗГ}}(n_{\text{н}}/S_{\text{кр}}, \text{ВВП}/n_{\text{н}}, \text{ІРЛП})}{q_{\text{П.ЗГ}}(n_{\text{н}}/S_{\text{кр}}, \text{ВВП}/n_{\text{н}}, \text{ІРЛП})} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

де $Q_{3Г}$ — об'єм річного видобування ЗГ, млн м³/рік; $Q_{П.3Г}$ — річний потенціал ЗГ, млн м³/рік; $q_{3Г}$ — питомий об'єм річного видобування ЗГ, м³/осіб·рік; $q_{П.3Г}$ — питомий річний потенціал ЗГ, м³/осіб·рік; $n_H/S_{кр}$ — густина населення, осіб/км²; ВВП/ n_H — ВВП на душу населення, тис. \$/осіб; ІРЛП — індекс розвитку людського потенціалу (ІРЛП = 0...1); n_H — кількість населення країни, осіб; $S_{кр}$ — площа території країни, км².

На жаль, відсутні достовірні дані щодо об'єму видобування ЗГ в Україні, а, отже, і щодо ефективності його видобування, яку можна буде спрогнозувати наближено лише після отримання відповідного рівняння регресії, отриманого на основі даних стосовно інших країн, наведених в таблиці

Об'єми річного видобування, річні потенціали, ефективність видобування ЗГ та фактори впливу на них [1, 4]

Країна	Об'єм видобування ЗГ, млн м ³ /рік	Потенціал ЗГ, млн м ³ /рік	Ефективність видобування ЗГ, %	Фактори впливу		
				Густина населення, осіб/км ²	ВВП на душу населення, \$ тис.	Індекс розвитку людського потенціалу
США	500	13000	3,85	31	46,954	0,95
Німеччина	400	2050	19,51	230	40,415	0,94
Великобританія	200	2520	7,94	247	46,432	0,942
Нідерланди	50	560	8,93	394	51,657	0,958
Франція	40	874	4,58	114	45,858	0,955
Італія	35	1040	3,37	199,4	39,565	0,945
Данія	5	105	4,76	126,4	34,7	0,952

Регресійні залежності $q_{3Г} = f(n_H/S_{кр}, ВВП/n_H, ІРЛП)$ та $q_{П.3Г} = f(n_H/S_{кр}, ВВП/n_H, ІРЛП)$ отримані раніше і наведені в роботах [6] та [5], відповідно. Після підстановки їх у формулу (1), отримаємо залежність ефективності видобування ЗГ від основних параметрів впливу:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_{3Г} = & \frac{25,357 + 7,399 \frac{n_H}{S_{кр}} -}{461,2 - 319,3 \left(\frac{n_H}{S_{кр}} \right)^{0,2007} - 0,1275 \left(\frac{ВВП}{n_H} \right)^{1,964} + 2284 ІРЛП^{50,07} +} \dots \rightarrow \\
 & - 30,95 \frac{ВВП}{n_H} + 0,00127 \frac{n_H}{S_{кр}} \frac{ВВП}{n_H} - \dots \rightarrow \\
 & + 0,03603 \left(\frac{n_H}{S_{кр}} \right)^{0,2007} \left(\frac{ВВП}{n_H} \right)^{1,964} - 749,1 \left(\frac{n_H}{S_{кр}} \right)^{0,2007} ІРЛП^{50,07} - \dots \rightarrow \\
 & - 7,95 \frac{n_H}{S_{кр}} ІРЛП + 32,1 \frac{ВВП}{n_H} ІРЛП + \dots \rightarrow \\
 & - 0,5987 \left(\frac{ВВП}{n_H} \right)^{1,964} ІРЛП^{50,07} + 58,39 \left(\frac{n_H}{S_{кр}} \right)^{0,4014} + \dots \rightarrow \\
 & + 3,089 \cdot 10^{-4} \left(\frac{n_H}{S_{кр}} \right)^2 \dots \rightarrow \\
 & + 2,706 \cdot 10^{-5} \left(\frac{ВВП}{n_H} \right)^{3,928} + 3525 ІРЛП^{100,14} \cdot 100 \% . \quad (2)
 \end{aligned}$$

При цьому коефіцієнт кореляції склав $R = 0,99979$, що свідчить про високу достовірність отриманих результатів.

Виявлено, що за критерієм Стюдента найбільше на ефективність видобування ЗГ в різних країнах впливає індекс розвитку людського потенціалу, а найменше — густина населення.

На рис. 1 показано поверхні відгуків цільової функції — ефективності видобування ЗГ в різних країнах та їх двовірні перерізи в площинах параметрів впливу, які дозволяють наглядно відобразити залежність (2).

Порівняння фактичних та теоретичних даних ефективності видобування ЗГ в різних країнах, ранжованих в порядку спадання, показано на рис. 2, з якого видно, що теоретичні ефективності видобування ЗГ в різних країнах, розраховані за допомогою регресійної моделі (2), несуттєво відрізняються від фактичних даних (див. табл.), що підтверджує визначену раніше високу достовірність отриманої залежності.

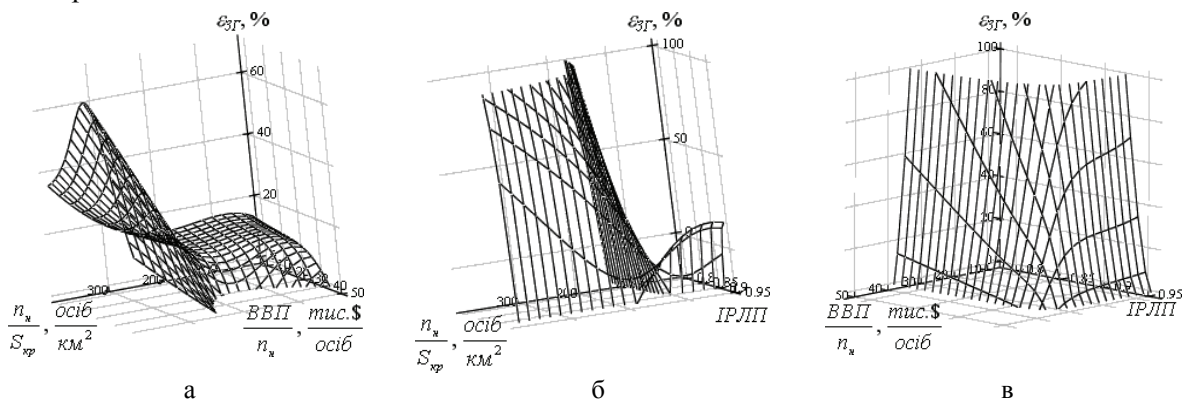


Рис. 1. Поверхні відгуків цільової функції — ефективності видобування $\epsilon_{зг}$ та їх двовірні перерізи в площинах параметрів впливу: а — $n_n/S_{кр}$ — ВВП/ n_n ; б — $n_n/S_{кр}$ — ІРЛП; в — ВВП/ n_n — ІРЛП

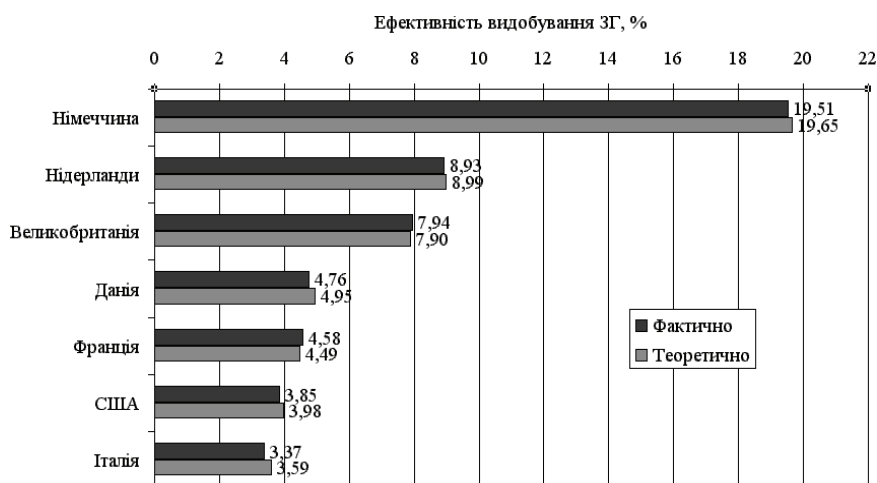


Рис. 2. Порівняння фактичних та теоретичних даних ефективності видобування звалищного газу в різних країнах

Отже, отримана регресійна модель прогнозування ефективності видобування ЗГ в різних країнах (2) може бути використана під час розробки стратегії, комплексу машин та обладнання для поводження з ТПВ.

Підставляючи дані для України: $n_n/S_{кр} = 76$ осіб/км²; ВВП/ $n_n = 7,532$ тис. \$/осіб; ІРЛП = 0,786 в регресійну модель (2), визначимо, що ефективність видобування ЗГ в Україні повинна складати 2,43 %. Тобто за вітчизняного потенціалу видобування ЗГ в 1350 млн м³/рік об'єм видобування ЗГ має складати 32,8 млн. м³/рік. Використовуючи такий метод утилізації ЗГ, як комбіноване вироблення тепла та електроенергії, потреби комунального господарства України в когенераційних установках складатимуть 58 одиниць за електричної потужності 160 кВт, теплової потужності 197 кВт та витратах ЗГ 64,6 м³/год кожної.

Висновки

1. Виявлено, що ефективність видобування звалищного газу в розвинутих країнах не перевищує 20 %. Це свідчить про недостатність поширеність видобування звалищного газу.

2. Встановлено, що на ефективність видобування звалищного газу в різних країнах впливають такі фактори: густина населення країни, величина валового внутрішнього продукту на душу насе-

лення, індекс розвитку людського потенціалу. При цьому найбільше на ефективність видобування звалищного газу в різних країнах впливає індекс розвитку людського потенціалу, а найменше – густина населення.

3. Отримано математичну модель прогнозування ефективності видобування звалищного газу в різних країнах, яка може бути використана науковцями та органами управління комунального господарства під час розробки стратегії, комплексу машин та обладнання для поводження з твердими побутовими відходами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Техніко-економічне обґрунтування «Програми утилізації звалищного метану в Луганській області за допомогою механізмів Кіотського 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. Гелетуа Г. Г. Обзор технологий добычи и использования биогаза на свалках и полигонах твердых бытовых отходов и перспективы их развития в Украине / Г. Г. Гелетуа, З. А. Марценюк // Экотехнологии 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.
6. Березюк О. В. Розробка математичної моделі прогнозування питомого потенціалу звалищного газу / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2013. — № 2. — С. 39—42.

Рекомендована кафедрою безпеки життєдіяльності

Стаття надійшла до редакції 18.09.2013
Рекомендована до друку 22.10.2013

Березюк Олег Володимирович — доцент кафедри безпеки життєдіяльності.
Вінницький національний технічний університет, Вінниця