

О. В. Березюк, канд. техн. наук, доц.

ВИЯВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВПЛИВУ НА ПИТОМИЙ ОБ'ЄМ ВИДОБУВАННЯ ЗВАЛИЩНОГО ГАЗУ

Виявлено параметри, які впливають на питомий об'єм видобування звалищного газу в різних країнах. Розроблено математичну модель прогнозування питомого об'єму видобування звалищного газу.

Вступ

Загальний потенціал звалищного газу (ЗГ), що утворюється на полігонах захоронення твердих побутових відходів (ТПВ) та сміттєзвалищах, згідно з [1] в країнах ЄС досягає майже 9 млрд. м³/рік, в США — 13 млрд. м³/рік. Це одна з серйозних проблем охорони навколишнього середовища. З цієї причини в багатьох розвинених країнах світу здійснюються спеціальні заходи щодо мінімізації емісії ЗГ. Останнім часом увага до цього питання значно зростає. Вирішальне значення мала Кіотська міжнародна конференція 1997 р. з проблем виходу шкідливих газів в атмосферу. Це фактично привело до виникнення самостійної галузі світової індустрії, яка включає видобування і утилізацію ЗГ. Тому прогнозування питомого об'єму видобування звалищного газу в різних країнах світу з метою розробки стратегії поводження з ТПВ є актуальною науково-технічною задачею.

Автор [1] наводить статистичні дані щодо видобування ЗГ у помітних об'ємах у розвинених західних країнах: США, Німеччині, Великобританії, Нідерландах, Франції, Італії, Данії, а глобальна утилізація ЗГ складає приблизно 1,2 млрд. м³/рік, що еквівалентно 429 тис. тонн метану або 1 % його глобальної емісії. На сьогоднішній день в Україні розпочато видобуток ЗГ на полігонах ТПВ таких міст як Запоріжжя, Кременчук та Вінниця. Однак конкретних залежностей, які б описували прогнозування питомого об'єму видобування звалищного газу, в результаті аналізу відомих публікацій, автором не виявлено.

Мета роботи — розробка математичної моделі прогнозування питомого об'єму видобування звалищного газу для розробки стратегії поводження з ТПВ.

Основні властивості звалищного газу

ЗГ є горючим, має досить велику теплотворну здатність — понад 18 МДж/м³. Основну об'ємну масу ЗГ складає метан, емісія якого з територій захоронення ТПВ досягає від 1,5 до 70 млн. т/рік [2, 3]. Фізико-хімічні властивості звалищного газу наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Фізико-хімічні властивості звалищного газу [4–6]

Характеристика	Кількісний показник	Характеристика	Кількісний показник
Хімічний склад, %:		Об'ємна теплота згоряння, МДж/м ³	18...23
— метан СН ₄	55,1...72,6	Енергоємність, кВт·год/м ³	6,5
— вуглецю діоксид СО ₂	10,1...22,2	Вибухонебезпечна концентрація у повітрі, %	6...12
— вода Н ₂ О (при 40°С)	5,12	Температура займання, °С	650...750
— вуглеводні	0,09...1,2	Критичний тиск, МПа	7,5
— азоту діоксид	0,6...0,71	Критична температура, °С	-2,5
— аміак NH ₃	0,33...0,35	Нормальна густина, кг/м ³	1,2
— толуол	0,08...0,1	Густина відносно повітря	0,83
— пропан	0,06...0,08		
— ангідрид сірчистий	0,04...0,06		
— хлоретан	0,04...0,06		
— діхлоретан	0,04...0,06		
— хлор загальний	0,01...0,06		
— діхлордіфторметан	0,02...0,03		
— декан	0,02...0,03		
— ізопропілбензол	0,01		

Екологічна небезпека ЗГ зумовлена можливістю його поширення на прилеглі до місць захоронення ТПВ території і, як наслідок, створенням вибухонебезпечних газоповітряних сумішей у разі досягнення концентрації від 6 до 12 % об'єму.

Світовий досвід видобування та утилізації звалищного газу

ЗГ почали видобувати в багатьох країнах на початку 80-х рр. з метою попередження екологічних проблем, пожеж та вибухів. Пізніше широкого поширення набуло енергетичне використання ЗГ.

Тенденція збільшення об'єму збирання та утилізації ЗГ, що спостерігається в багатьох країнах, пояснюється такими причинами [7]:

- склад ТПВ все більшою мірою сприяє утворенню ЗГ;
- громадськість не терпить забруднення навколишнього середовища метаном, що фільтрується в ґрунт водами, а також неприємним запахом від сміттєзвалищ.

Зараз у ряді країн (США, Німеччина, Данія тощо) створені десятки пристроїв і агрегатів для використання ЗГ, що виділяється з ТПВ, як відновлюваного джерела енергії.

Визначення залежності питомого об'єму видобування звалищного газу від параметрів впливу

Поміж параметрів, які впливають на питомий об'єм видобування ЗГ у різних країнах розглядалися такі: густина населення країни, величина валового внутрішнього продукту (ВВП) на душу населення, індекс розвитку людського потенціалу, значення яких наведено в табл. 2. На відміну від абсолютних параметрів, відносні — дозволяють порівнювати країни з різними рівнями розвитку економіки та людського потенціалу, площами території та кількістю населення.

Згідно з даними табл. 2 методом планування експерименту [8] за допомогою ротатабельного центрального композиційного планування другого порядку виду 2^3 отримано квадратичне рівняння регресії з ефектами взаємодії першого порядку, яке описує залежність питомого об'єму видобування ЗГ в різних країнах від основних параметрів впливу і після нехтування незначущими факторів виглядає таким чином:

$$q_{ЗГ} = 25,357 + 7,399 \frac{n_n}{S_{кр}} - 30,95 \frac{ВВП}{n_n} + 0,00127 \frac{n_n}{S_{кр}} \frac{ВВП}{n_n} - 7,95 \frac{n_n}{S_{кр}} \text{ІРЛП} + 32,1 \frac{ВВП}{n_n} \text{ІРЛП} + 3,089 \cdot 10^{-4} \left(\frac{n_n}{S_{кр}} \right)^2, \tag{1}$$

де $n_n/S_{кр}$ — густина населення, осіб/км²; 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, км².

Таблиця 2

Об'єми річного видобування ЗГ та фактори впливу на них [1]

Країна	Об'єм видобування ЗГ, млн. м ³ /рік	Питомий об'єм видобування ЗГ, м ³ /осіб·рік	Фактори впливу		
			Густина населення, осіб/км ²	ВВП на душу населення, \$ тис.	Індекс розвитку людського потенціалу
США	500	1,723	31	46,954	0,95
Німеччина	400	4,872	230	40,415	0,94
Великобританія	200	3,317	247	46,432	0,942
Нідерланди	50	3,058	394	51,657	0,958
Франція	40	0,637	114	45,858	0,955
Італія	35	0,583	199,4	39,565	0,945
Данія	5	0,917	126,4	34,7	0,952

Згідно з критерієм Стюдента неважливим виявився фактор ІРЛП, а також квадратичні ефекти для факторів ВВП/ n_n та ІРЛП. При цьому мають місце усі можливі ефекти взаємодії 1-го порядку. Оскільки дисперсія відтворюваності $S_{\text{відт}}^2 = 1,64 \cdot 10^{-5}$; дисперсія адекватності $S_{\text{ад}}^2 = 4,73 \cdot 10^{-5}$; критерій Фішера $F = 2,89 < [F_{0,95}] = 4,54$, то гіпотезу про адекватність регресійної моделі другого порядку (1) можна вважати правильною з 95 %-ю достовірністю. Коефіцієнт кореляції склав $R = 0,9997$, що свідчить про високу достовірність одержаних результатів.

Виявлено, що за критерієм Стюдента найбільше на питомий об'єм видобування ЗГ в різних країнах безпосередньо впливає густина населення, а найменше – ВВП на душу населення, а індекс розвитку людського потенціалу впливає лише опосередковано за допомогою ефектів взаємодій факторів.

На рис. 1 показано поверхні відгуків цільової функції – питомого об'єму видобування ЗГ в різних країнах та їх двомірні перерізи в площинах параметрів впливу, які дозволяють наглядно відобразити залежність (1).

Порівняння фактичних та теоретичних даних питомого об'єму видобування ЗГ в різних країнах, ранжованих в порядку спадання, наведено на рис. 2, з якого видно, що теоретичні питомі об'єми видобування ЗГ в різних країнах, розраховані за допомогою регресійної моделі (1), несуттєво відрізняються від фактичних даних, що свідчить про високу достовірність отриманої залежності.

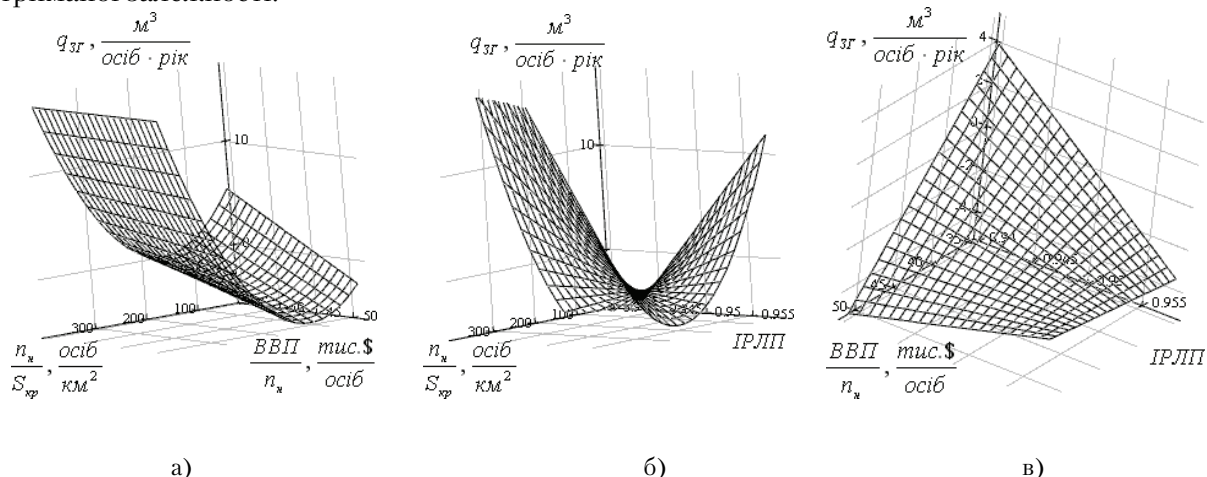


Рис. 1. Поверхні відгуків цільової функції – питомого об'єму видобування ЗГ $q_{зг}$ та їх двомірні перерізи в площинах параметрів впливу: а – $n_n/S_{кр}$ –ВВП/ n_n ; б – $n_n/S_{кр}$ –ІРЛП; в – ВВП/ n_n –ІРЛП

Отже, отримана регресійна модель прогнозування питомих об'ємів видобування ЗГ в різних країнах (1) може бути використана під час розробки стратегії поведінки з ТПВ.

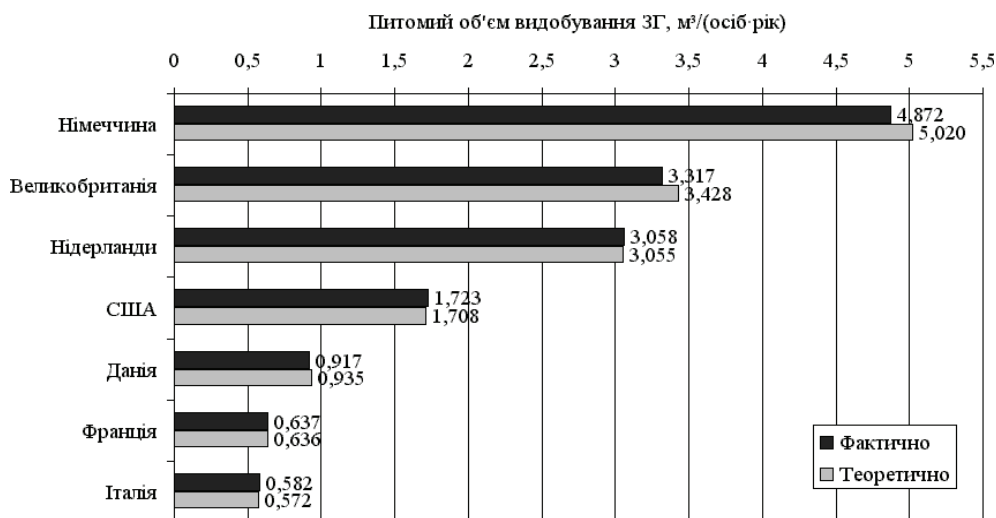


Рис. 2. Порівняння фактичних та теоретичних даних питомих об'ємів видобування ЗГ в різних країнах

Висновки

1. Встановлено, що на питомий об'єм видобування звалищного газу в різних країнах впливають такі параметри: густина населення країни, величина валового внутрішнього продукту на душу населення, індекс розвитку людського потенціалу. При цьому найбільше на питомий об'єм видобування звалищного газу в різних країнах безпосередньо впливає густина населення, а найменше — ВВП на душу населення, а індекс розвитку людського потенціалу впливає лише опосередковано за допомогою ефектів взаємодій факторів.

2. Отримано адекватну математичну модель прогнозування питомого об'єму видобування звалищного газу в різних країнах у вигляді квадратичної регресії з ефектами взаємодій першого 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 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. Ратушняк Г. С. Энергозбереження в системах біоконверсії : навч. посіб. / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула. — Вінниця : ВНТУ, 2006. — 83 с.
5. Управление твёрдыми бытовыми отходами. Раздельный сбор и сортировка отходов / Проект Европейского Сообщества INTERREG IIIA «Кооперация в совместном создании системы управления отходами в Псковской области». — 2008. — 97 с.
6. Краснянский М. Е. Экологические угрозы свалок ТБО / М. Е. Краснянский, Е. Бельгасем // Твёрдые бытовые отходы : спец. информ. бюлл. — 2005. — № 5. — 12 с.
7. 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 // Экотехнологии и ресурсосбережение. — 1999. — № 4. — С. 6—14.
8. 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.

Рекомендована кафедрою безпеки життєдіяльності

Стаття надійшла до редакції 26.12.11
Рекомендована до друку 20.01.12

Березюк Олег Володимирович — доцент кафедри безпеки життєдіяльності.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця