

О. В. Березюк

М. С. Лемешев

ПОШИРЕНІСТЬ СПАЛЮВАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ З УТИЛІЗАЦІЄЮ ЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

Виявлено параметри, від яких залежить поширеність спалювання твердих побутових відходів з утилізацією енергії: густина населення країни, величина валового внутрішнього продукту на душу населення, індекс розвитку людського потенціалу та середня географічна широта країни, що дозволяють порівнювати країни з різними рівнями розвитку економіки та людського потенціалу, кількістю населення, площами території та кліматичними умовами. Розроблено методом планування експерименту математичну модель поширеності спалювання твердих побутових відходів з утилізацією енергії у вигляді квадратичної регресії із ефектами взаємодій першого порядку. Значимість коефіцієнтів отриманої регресійної моделі перевірено за критерієм Стьюдента. Встановлено, що за критерієм Фішера гіпотезу про адекватність запропонованої регресійної моделі можна вважати правильною з 95%-ю достовірністю.

Ключові слова: математичне моделювання, планування експерименту, комплекс машин та обладнання, спалювання, тверді побутові відходи.

Вступ

Поряд із проблемою твердих промислових відходів [1] важливою є проблема твердих побутових відходів (ТПВ), річний об'єм яких у вітчизняних населених пунктах перевищує 46 млн. м³, 93,9% яких вивозяться на полігони і сміттєзвалища, і лише 5,1% перероблюються та утилізуються на сміттєспалювальних заводах [2]. Постанова Кабміну України № 265 [3] стала базою для розробки Національної стратегії поводження з ТПВ на території України. В таких розвинутих країнах ЄС, як Швеція та Данія, поширеність спалювання ТПВ з використанням енергії досягає більше половини від загальної сукупності шляхів поводження з ТПВ [4, 5]. Тому побудова математичної моделі поширеності спалювання твердих побутових відходів з утилізацією енергії, є актуальною науково-технічною задачею.

В роботах [4, 5] наводяться статистичні дані щодо шляхів поводження з ТПВ в різних країнах світу. В статті [6] наведені математичні моделі поширеності таких способів поводження з ТПВ як захоронення та спалювання. Поширеність компостування як методу поводження з ТПВ досліджена в роботі [7]. Стаття [8] присвячена моделюванню поширеності способів утилізації звалищного газу. Регресійний аналіз кількості сміттєспалювальних заводів опубліковано в роботі [9]. Динаміка питомої кількості ТПВ, що спалюються в країнах ЄС досліджена в статті [10]. Однак конкретних математичних залежностей поширеності спалювання ТПВ з утилізацією енергії серед інших методів спалювання, в результаті аналізу відомих публікацій, нами не виявлено.

Метою дослідження є побудова математичної моделі поширеності спалювання твердих побутових відходів з утилізацією енергії для розробки стратегії, комплексу машин та обладнання для поводження з ними.

Аналіз результатів дослідження

Поміж параметрів, від яких залежить поширеність спалювання ТПВ з утилізацією енергії у різних країнах, розглядалися такі: густина населення країни, величина валового внутрішнього продукту (ВВП) на душу населення, індекс розвитку людського потенціалу та середня географічна широта країни, значення яких наведено в табл. 1. На відміну від абсолютних параметрів, відносні дозволяють порівнювати країни з різними рівнями розвитку економіки та людського потенціалу, кількістю населення, площами території та кліматичними умовами.

За даними табл. 1 використовуючи планування експерименту за допомогою ротатабельного центрального композиційного планування другого порядку застосовуючи розроблене програмне забезпечення, що захищене свідоцтвом на твір і детально описане в роботі [11], отримано рівняння

регресії, яке описує поширеність спалювання ТПВ з утилізацією енергії в різних країнах від основних параметрів впливу і після відкидання незначимих факторів, їхніх квадратичних ефектів та ефектів взаємодії виглядає так

$$\begin{aligned}
 P_{\text{спал. ут. ен}}^{\text{ТПВ}} = & -29,2 \frac{n_n}{S_{\text{кр}}} - 17,55 Ш - 0,04128 \frac{n_n}{S_{\text{кр}}} \frac{ВВП}{n_n} + 30,99 \frac{n_n}{S_{\text{кр}}} ІРЛП + \\
 & + 0,03233 \frac{n_n}{S_{\text{кр}}} Ш + 23,37 \frac{ВВП}{n_n} ІРЛП + 0,4259 \frac{ВВП}{n_n} Ш - 0,5004 \left(\frac{ВВП}{n_n} \right)^2,
 \end{aligned}
 \quad (1)$$

де $n_n/S_{\text{кр}}$ – густина населення країни, осіб/км²; $ВВП/n_n$ – ВВП на душу населення, тис. \$/осіб; n_n – кількість населення країни, осіб; $S_{\text{кр}}$ – площа території країни, км²; $ІРЛП$ – індекс розвитку людського потенціалу ($ІРЛП = 0 \dots 1$); $Ш$ – середня географічна широта, ° пн. ш.

Таблиця 1

Поширеність спалювання твердих побутових відходів з утилізацією енергії в різних країнах

Країна	Поширеність спалювання ТПВ з утилізацією енергії, % [4, 5]	Фактори впливу			
		Густина населення, осіб/км ²	ВВП на душу населення, тис. \$/осіб	Індекс розвитку людського потенціалу	Середня широта, ° пн. ш.
Японія	70	337	38,095	0,956	34,89
Франція	67	114	45,858	0,955	46,70
США	14	31	46,954	0,950	36,94
Італія	21	196	39,565	0,945	41,28
Данія	99	126,4	34,700	0,951	56,18
Великобританія	33	247	46,432	0,942	55,38
Швеція	86	21,9	55,427	0,958	62,20
Іспанія	61	79,7	35,557	0,949	39,50
Канада	7	3,27	34,273	0,967	62,39
Нідерланди	72	394	51,657	0,958	52,15

Встановлено, що за критерієм Фішера гіпотезу про адекватність регресійної моделі (1) можна вважати правильною з 95%-ю достовірністю. Коефіцієнт кореляції склав 0,9985, що свідчить про достатню достовірність одержаних результатів.

Порівняння фактичної та теоретичної поширеності спалювання ТПВ з утилізацією енергії, ранжованих в порядку спадання, наведено на рис. 1.

З рис. 1 видно, що теоретична поширеність спалювання ТПВ з утилізацією енергії, розрахована за допомогою регресійної моделі (1), несуттєво відрізняється від фактичних даних, що підтверджує визначену раніше достатню достовірність отриманої залежності, яка може бути використана під час розробки стратегії, комплексу машин та обладнання для поводження з ТПВ.

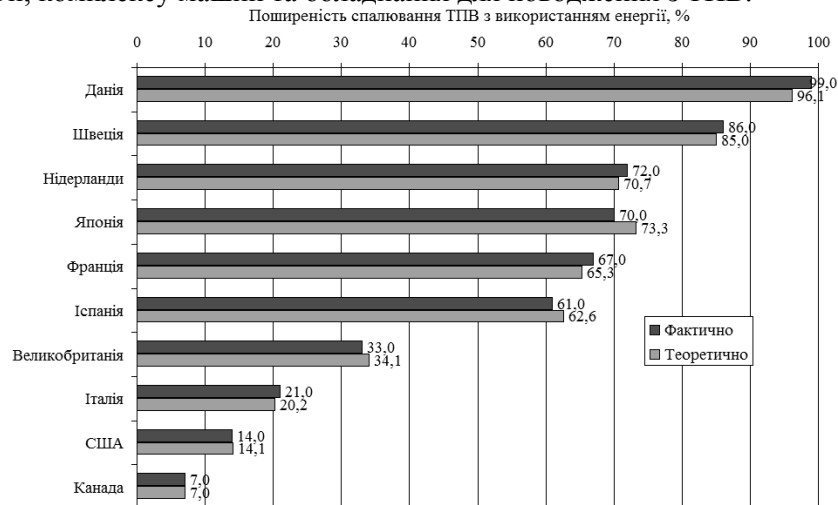


Рис. 1. Порівняння фактичної та теоретичної поширеності спалювання ТПВ з утилізацією енергії

На рис. 2 показано поверхні відгуків цільової функції – поширеності спалювання ТПВ з утилізацією енергії в різних країнах та їх двомірні перерізи в площинах параметрів впливу, які дозволяють наглядно відобразити залежність (1) та характер одночасного впливу декількох факторів на цільову функцію.

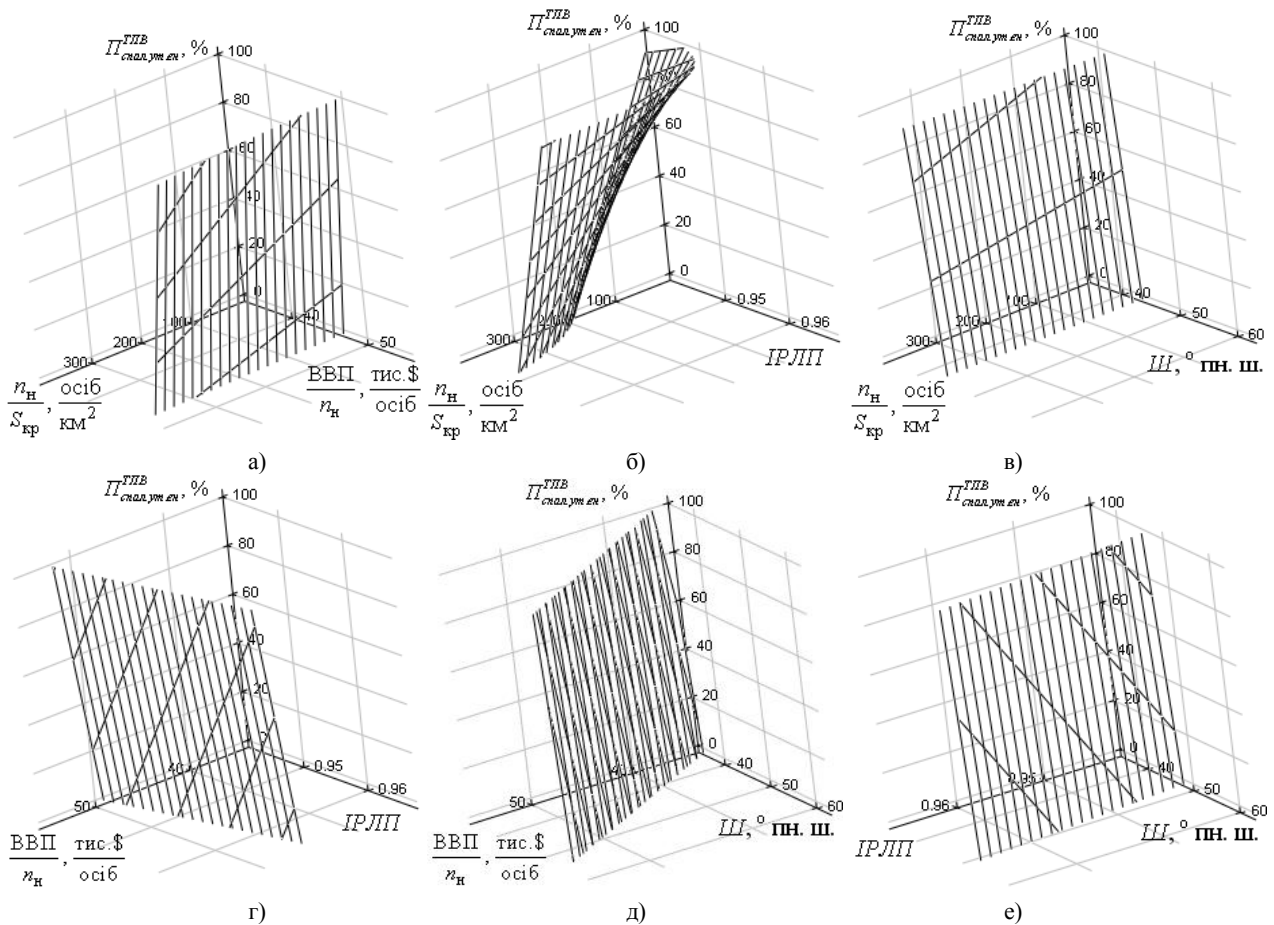


Рис. 2. Поверхні відгуків цільової функції – поширеності спалювання ТПВ з утилізацією енергії та їх двомірні перерізи в площинах параметрів впливу: а) $\Pi_{\text{спал. ут. ен.}}^{\text{ТПВ}} = f(n_n / S_{\text{кр}}, \text{ВВП} / n_n)$; б) $\Pi_{\text{спал. ут. ен.}}^{\text{ТПВ}} = f(n_n / S_{\text{кр}}, \text{ІРЛП})$;

в) $\Pi_{\text{спал. ут. ен.}}^{\text{ТПВ}} = f(n_n / S_{\text{кр}}, \text{Ш})$; г) $\Pi_{\text{спал. ут. ен.}}^{\text{ТПВ}} = f(\text{ВВП} / n_n, \text{ІРЛП})$; д) $\Pi_{\text{спал. ут. ен.}}^{\text{ТПВ}} = f(\text{ВВП} / n_n, \text{Ш})$; е) $\Pi_{\text{спал. ут. ен.}}^{\text{ТПВ}} = f(\text{ІРЛП}, \text{Ш})$

Висновки

1. Встановлено, що поширеність спалювання твердих побутових відходів з утилізацією енергії в різних країнах залежать від таких факторів: густина населення країни, величина валового внутрішнього продукту на душу населення, індекс розвитку людського потенціалу, середня географічна широта країни.

2. Отримано адекватну математичну модель поширеності спалювання твердих побутових відходів з утилізацією енергії в різних країнах у вигляді квадратичної регресії із ефектами взаємодій 1-го порядку, яка може бути використана під час розробки стратегії, комплексу машин та обладнання для поводження з твердими побутовими відходами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лемешев М. С. Легкі бетони отримані на основі відходів промисловості / М. С. Лемешев, О. В. Березюк // Сборник научных трудов SWorld. – Иванов : МАРКОВА АД, 2015. – Выпуск 1. Том 13. – С. 111-114.
2. 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 : Науково-технічний збірник. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – № 2(7). – С. 88-91.
3. Постанова Кабінету Міністрів України від 4 березня 2004 року № 265 «Про затвердження Програми поводження з твердими побутовими відходами» [Електронний ресурс] / Кабінет Міністрів України : <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/265-2004-%D0%BF>.
4. Орлова Т. А. Экологическая оценка земельных участков, занятых объектами обращения с отходами / Т. А. Орлова // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник. – К. : КНУБА, 2006. – Вип. 25. – С. 167–181.

5. Масленников А. Ю. Характеристика твердых бытовых отходов [Электронный ресурс] / А. Ю. Масленников // Отраслевой портал. Вторичное сырье. – Режим доступа : <http://www.recyclers.ru>.
6. Березюк О. В. Визначення параметрів впливу на шляхи поведінки з твердими побутовими відходами / О. В. Березюк // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві : Науково-технічний збірник. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2011. – № 2(10). – С. 64-66.
7. Березюк О. В. Моделювання поширеності компостування як методу поводження з твердими побутовими відходами / О. В. Березюк, Л. Л. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2016. – № 1. – С. 33-38.
8. Березюк О. В. Моделювання поширеності способів утилізації звалищного газу для розробки обладнання та стратегії поводження з твердими побутовими відходами / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 5. – С. 65-68.
9. Березюк О. В. Регресія кількості сміттєспалювальних заводів / О. В. Березюк, М. С. Лемешев // Сборник научных трудов SWorld. – Иваново : МАРКОВА АД, 2015. – Выпуск 1 (38). Том 2. Технические науки. – С. 63-66.
10. Березюк О. В. Динаміка питомої кількості твердих побутових відходів, що спалюються в країнах ЄС [Електронний ресурс] / О. В. Березюк // Перспективні досягнення сучасних вчених : матеріали наукового симпозиуму, 19-20 вересня 2017 р. – Одеса : SWorld, 2017. – 5 с. – Режим доступу : <http://www.sworld.education/index.php/ru/c217-1/29390-%D1%81217-019>.
11. Березюк О. В. Моделювання компресійної характеристики твердих побутових відходів у сміттєвозі на основі комп'ютерної програми "PlanExp" / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2016. – № 6. – С. 23-28.

Рекомендована кафедрою безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 28.11.2017

Березюк Олег Володимирович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, тел.: 59-82-52, e-mail: berezyukoleg@i.ua;

Лемешев Михайло Степанович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

O. V. Bereziuk
M. S. Lemeshev

Prevalence of incineration of solid domestic wastes with utilization of energy

Vinnitsia National Technical University;

The parameters, which determine the prevalence of solid domestic wastes with energy utilization, are determined: population density of the country, gross domestic product per capita, index of human development and average geographical latitude of the country, allowing to compare countries with different levels of economic development and human potential, population, territory and climatic conditions. The mathematical model of the prevalence of combustion of solid domestic wastes with energy utilization in the form of quadratic regression with the effects of first-order interactions was developed by the method of experiment planning. The significance of the coefficients of the regression model obtained was verified according to Student's criterion. It is established that according to Fisher's criterion the hypothesis about the adequacy of the proposed regression model can be considered correct with 95% confidence.

Keywords: mathematical modeling, planning an experiment, complex of machines and equipment, incineration, solid domestic wastes.

Bereziuk Oleg V. – Cand. Sc. (Eng.), Associated Professor, Associated Professor of the Chair Security of Life and Pedagogic of Security, e-mail: berezyukoleg@i.ua;

Lemeshev Mykhailo S. – Cand. Sc. (Eng.), Associated Professor, Associated Professor of the Chair Security of Life and Pedagogic of Security

O. V. Березюк
M. С. Лемешев

Распространенность сжигания твердых бытовых отходов с утилизацией энергии

Винницкий национальный технический университет

Выявлено параметры, от которых зависит распространенность сжигания твердых бытовых отходов с утилизацией энергии: плотность населения страны, величина валового внутреннего продукта на душу населения, индекс развития человеческого потенциала и средняя географическая широта страны, позволяющие сравнивать

страны с различными уровнями развития экономики и человеческого потенциала, численности населения, площади территории и климатическими условиями. Разработана методом планирования эксперимента математическую модель распространенности сжигания твердых бытовых отходов с утилизацией энергии в виде квадратичной регрессии с эффектами взаимодействий первого порядка. Значимость коэффициентов полученной регрессионной модели проверено по критерию Стьюдента. Установлено, что по критерию Фишера гипотезу об адекватности предложенной регрессионной модели можно считать правильной с 95%-ной достоверностью.

Ключевые слова: математическое моделирование, планирование эксперимента, комплекс машин и оборудование, сжигание, твердые бытовые отходы.

Березюк Олег Владимирович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности и педагогики безопасности, e-mail: berezyukoleg@i.ua;

Лемешев Михаил Степанович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности и педагогики безопасности