

О. В. Березюк¹
Л. Л. Березюк²

МОДЕЛЮВАННЯ ВИТРАТ НА АНАЕРОБНЕ РОЗКЛАДАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

¹Вінницький національний технічний університет;

²Коледж економіки і права Вінницького кооперативного інституту

Виявлено параметри, від яких залежать витрати на анаеробне розкладання твердих побутових відходів в різних країнах. Розроблено математичну модель прогнозування витрат на анаеробне розкладання твердих побутових відходів.

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

Вступ

Річний об'єм твердих побутових відходів (ТПВ), які утворюються у населених пунктах України, перевищує 46 млн. м³ [1]. Постанова Кабміну України № 265 [2] заклала основи для розробки Національної стратегії поводження з ТПВ в Україні. Одним із перспективних варіантів поводження з ТПВ є отримання біогазу. Одержання біогазу в анаеробному процесі відбувається в безкисневому середовищі, тому для його реалізації необхідний закритий резервуар у вигляді спеціально сконструйованого стаціонарного біореактора. У залежності від мети застосування методу використовують біореактори, що можуть бути виготовлені з металу або залізобетону і які обладнані пристроями подачі тепла різної конструкції, що забезпечують у біореакторі необхідну температуру для підтримки відповідного анаеробного режиму. Отриманий біогаз можна розділити сепаратором газу на метан і супутні гази. Очищений метан від домішок може використовуватися для виробництва електроенергії або тепла [3], які необхідні для повної енергетичної незалежності України. Тому побудова математичної моделі прогнозування витрат на анаеробне розкладання ТПВ, є актуальною науково-технічною задачею.

В роботі [3] наведені значення витрат на використання анаеробного розкладання ТПВ в різних країнах. Авторами С. Й. Ткаченко, Л. А. Боднар, А. О. Юзюк розглянуто методи використання біомаси для виробництва теплової енергії [4]. В статті [5] виявлено регресійну залежність об'єму біореактора від добової маси ТПВ, що перероблюються. Авторами [6] описано фази розкладання ТПВ, 80 % яких є анаеробними, визначено фактори, що впливають на процес біодеструкції відходів. В статті [7] запропоновано математичну модель ефективності видобування звалищного газу, за допомогою якої спрогнозовано необхідні для України кількість та характеристики обладнання для його видобування. Авторами [8]: Ю. В. Куріс, С. Й. Ткаченко, Н. В. Семененко, — проведено аналіз способів утилізації видобутого біогазу, а в роботі [9] наведено математичну модель поширеності цих способів. В роботі [10] Г. Г. Гелетухою описані перспективи видобування та використання звалищного газу в Україні. Автор [11] опублікував регресійні залежності витрат на управління ТПВ від рівня доходів населення. Однак конкретних математичних залежностей, які б дозволяли прогнозувати витрати на анаеробне розкладання ТПВ, в результаті аналізу відомих публікацій, нами не виявлено.

Метою дослідження є побудова математичної моделі прогнозування витрат на анаеробне розкладання ТПВ для розробки стратегії, комплексу машин та обладнання для поводження з ТПВ.

Аналіз результатів дослідження

Серед параметрів, від яких залежать витрати на анаеробне розкладання ТПВ у різних країнах, розглядалися такі: густина населення країни, величина валового внутрішнього продукту (ВВП) на душу населення, середня географічна широта країни, значення яких наведено в таблиці. Вплив густоти населення пояснюється варіюванням величини земельної ренти, а вплив ВВП на душу

населення — розміром витрат на заробітну плату працівників, що, на нашу думку, суттєво впливає на грошові витрати, пов'язані з анаеробним розкладанням ТПВ. Розгляд фактору впливу — середня географічна широта країни враховує її усереднені кліматичні умови: температуру, відносну вологість середовища тощо, від яких також залежить процес анаеробного розкладання ТПВ. На відміну від абсолютних параметрів, відносні дозволяють порівнювати країни з різними рівнями розвитку економіки, кількістю населення, площами території та кліматичними умовами.

Витрати на використання анаеробного розкладання в різних країнах

| Країна | Витрати на анаеробне розкладання ТПВ, €/т [3] | Фактори впливу | | |
|----------------|---|---|-------------------------------------|--------------------------|
| | | Густота населення, осіб/км ² | ВВП на душу населення, тис. \$/осіб | Середня широта, ° пн. ш. |
| Австрія | 80 | 97 | 36 | 47,69 |
| Великобританія | 88 | 247 | 46,432 | 55,38 |
| Бельгія | 82 | 318 | 29,814 | 50,83 |
| Данія | 67 | 126,4 | 34,7 | 56,18 |
| Франція | 57 | 114 | 45,858 | 46,7 |
| Нідерланди | 67 | 394 | 51,657 | 51,55 |
| Швеція | 65 | 21,9 | 55,427 | 62,2 |
| Фінляндія | 3 | 16 | 36,217 | 64,8 |
| Німеччина | 109 | 230 | 40,415 | 51,17 |
| Україна [8] | 0,8 | 76 | 7,532 | 48,38 |

За даними таблиці, використовуючи планування експерименту за допомогою ротатбельного центрального композиційного планування другого порядку, застосовуючи розроблене програмно-забезпечення, захищене свідоцтвом на твір [12], отримано рівняння регресії, яке описує витрати на анаеробне розкладання ТПВ в різних країнах від основних параметрів впливу і виглядає так:

$$\begin{aligned}
 V_{ар} = & 0,681 + 2,635 \frac{n_n}{S_{кр}} - 18,13 \frac{ВВП}{n_n} + 11,84 Ш + 0,009069 \frac{n_n}{S_{кр}} \frac{ВВП}{n_n} - 0,04276 \frac{n_n}{S_{кр}} Ш + \\
 & + 0,5408 \frac{ВВП}{n_n} Ш - 0,001694 \left(\frac{n_n}{S_{кр}} \right)^2 - 0,1446 \left(\frac{ВВП}{n_n} \right)^2 - 0,2835 Ш^2,
 \end{aligned} \quad (1)$$

де $n_n/S_{кр}$ — густота населення, осіб/км²; $ВВП/n_n$ — ВВП на душу населення, тис. \$/осіб; n_n — кількість населення країни, осіб; $S_{кр}$ — площа території країни, км²; $Ш$ — середня географічна широта, ° пн. ш.

За критерієм Стьюдента виявлено, що усі фактори, їхні парні ефекти взаємодії та квадратичні ефекти виявились значимими, найбільше витрати на анаеробне розкладання ТПВ залежать від ВВП на душу населення, а найменше — від густоти населення.

Встановлено, що за критерієм Фішера гіпотезу про адекватність регресійної моделі (1) можна

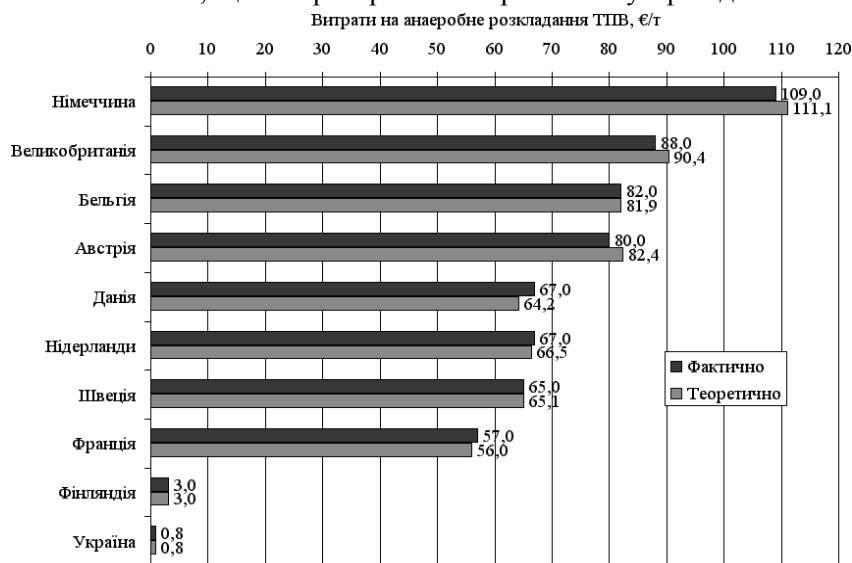


Рис. 1. Порівняння фактичних та теоретичних витрат на анаеробне розкладання ТПВ

вважати правильною з 95 % достовірністю. Коефіцієнт кореляції склав 0,99907, що свідчить про високу достовірність отриманих результатів.

Порівняння фактичних та теоретичних витрат на анаеробне розкладання ТПВ, розрахованих в порядку спадання, наведено на рис. 1.

З рис. 1 видно, що теоретичні витрати на анаеробне розкладання ТПВ, розраховані за допомогою регресійної моделі (1), несуттєво відрізняються від фактичних даних, що підтверджує визначену раніше ви-

соку достовірність отриманої залежності, яка може бути використана під час розробки стратегії, комплексу машин та обладнання для поводження з ТПВ.

На рис. 2 показано поверхні відгуків цільової функції — витрат на анаеробне розкладання ТПВ 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.

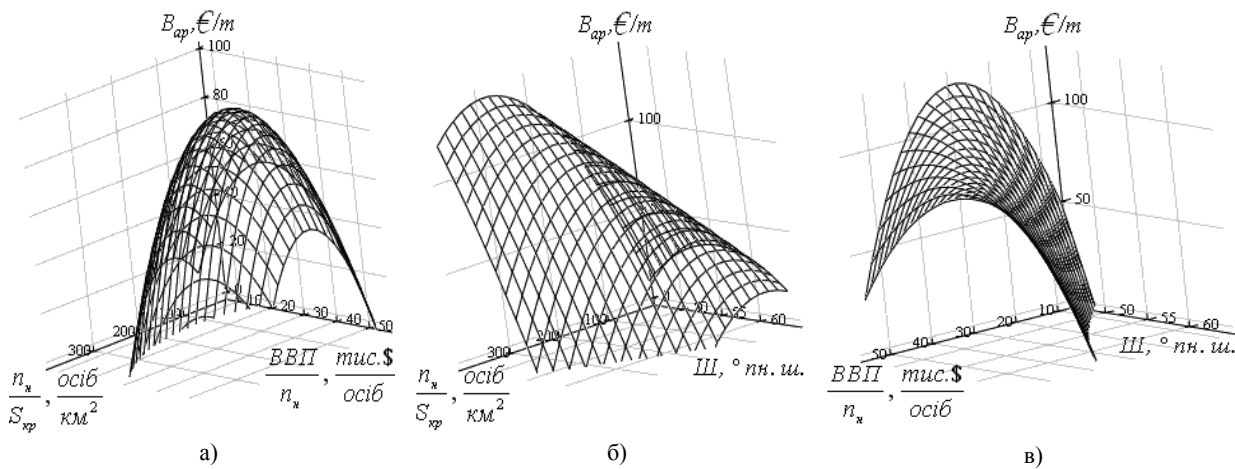


Рис. 2. Поверхні відгуків цільової функції – витрат на анаеробне розкладання ТПВ та їх двомірні перерізи в площинах параметрів впливу: а — $B_{ap} = f(n_n/S_{kp}, VBP/n_n)$; б — $B_{ap} = f(n_n/S_{kp}, Ш)$; в — $B_{ap} = f(VBP/n_n, Ш)$

Висновки

1. Встановлено, що витрати на анаеробне розкладання твердих побутових відходів в різних країнах залежать від таких факторів: густина населення країни, величина валового внутрішнього продукту на душу населення, середня географічна широта країни. При цьому, найбільше витрати на анаеробне розкладання твердих побутових відходів залежать від ВВП на душу населення, а найменше — від густоти населення.

2. Отримано адекватну математичну модель прогнозування витрат на анаеробне розкладання ТПВ в різних країнах, яка може бути використана під час розробки стратегії, комплексу машин та обладнання для поводження з твердими побутовими відходами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. — № 2 (7). — С. 88—91.
2. 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>.
3. Управление твердыми 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.
4. Ткаченко С. Й. Перспективні напрямки використання біомаси як джерела енергії / С. Й. Ткаченко, Л. А. Боднар, А. О. Юзюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2011. — № 2. — С. 68—73.
5. Березюк О. В. Регрессионная зависимость объёма биореактора от суточной массы перерабатываемых твердых бытовых отходов / О. В. Березюк, М. С. Лемешев, Л. Л. Березюк // Оралдың ғылым жаршысы (Уральский научный вестник, Казахстан). — 2014. — № 42 (121). — С. 58—62.
6. Годовська Т. Б. Критерії індикаторів впливу на агроєкосистеми полігону твердих побутових відходів м. Житомир / Т. Б. Годовська, В. П. Фещенко // Вісник ЖНАЕУ : науково-теоретичний збірник. — 2011. — № 1 (28), Т. 1. — С. 400—407.
7. Березюк О. В. Моделювання ефективності видобування звалищного газу для розробки обладнання та стратегії поводження з твердими побутовими відходами / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2013. — № 6. — С. 21—24.
8. Куріс Ю. В. Способи утилізації біогазу / Ю. В. Куріс, С. Й. Ткаченко, Н. В. Семененко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. — НТУ «Харківський політехнічний інститут», 2010. — № 7 (77). — С. 20—30.
9. 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.

10. 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.

11. Березюк О. В. Визначення регресійних залежностей витрат на управління твердими побутовими відходами від рівня доходів населення / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2012. — № 5. — С. 24—26.

12. Березюк О. В. Комп'ютерна програма «Планування експерименту» («PlanExp») / Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 46876 // власник свідectва О. В. Березюк. — К. : Державна служба інтелектуальної власності України. — Дата реєстрації : 21.12.2012.

Рекомендована кафедрою безпеки життєдіяльності ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 26.03.2015

Березюк Олег Володимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності, e-mail: berezyukoleg@yandex.ru;

Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Березюк Людмила Леонідівна — викладач циклової комісії загальноосвітніх дисциплін.

Коледж економіки і права Вінницького кооперативного інституту, Вінниця

O. V. Bereziuk¹

L. L. Bereziuk²

Modeling of charges on the anaerobic decomposition of hard domestic wastes

¹Vinnitsia National Technical University;

²College of Economics and Law of Vinnitsia Cooperative Institute

There have been exposed parameters on which the charges of the anaerobic decomposition of hard domestic wastes in different countries depend. The mathematical model of prognostication of charges of the anaerobic decomposition of hard domestic wastes has been developed.

Keywords: mathematical modeling, planning an experiment, complex of machines and equipment, anaerobic decomposition, hard domestic wastes.

Bereziuk Oleg V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Security of Life, e-mail: berezyukoleg@yandex.ru;

Bereziuk Liudmyla L. — Lecturer of Cyclic Commission of General Disciplines

O. V. Березюк¹

Л. Л. Березюк²

Моделирование расходов на анаэробное разложение твёрдых бытовых отходов

¹Винницкий национальный технический университет;

²Колледж экономики и права Винницкого кооперативного института

Выявлены параметры, от которых зависят расходы на анаэробное разложение твёрдых бытовых отходов в разных странах. Разработана математическая модель прогнозирования расходов на анаэробное разложение твёрдых бытовых отходов.

Ключевые слова: математическое моделирование, планирование эксперимента, комплекс машин и оборудования, анаэробное разложение, твёрдые бытовые отходы.

Березюк Олег Владимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, e-mail: berezyukoleg@yandex.ru;

Березюк Людмила Леонидовна — преподаватель цикловой комиссии общеобразовательных дисциплин