

О. В. Березюк, к. т. н., доц.; В. О. Краєвський, к. т. н., доц.

СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ ЗБІЛЬШЕННЯ КІЛЬКОСТІ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК НА ПОЛІГОНАХ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

В Україні постійно збільшується площа полігонів твердих побутових відходів та сміттєзвалищ, на яких, утворюється звалищний газ або біогаз, який без наявності біогазових установок для його збирання здатний забруднювати атмосферу. Визначення регресійних залежностей, які описують динаміку збільшення кількості біогазових установок на полігонах твердих побутових відходів є актуальною науково-технічною задачею. Метою дослідження є визначення регресійних залежностей, які описують динаміку збільшення кількості біогазових установок на полігонах твердих побутових відходів і можуть бути використані під час прогнозування кількості таких установок. Під час проведення дослідження використано метод регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей із вибором кращого виду функції із шістнадцяти найпоширеніших варіантів за критерієм максимального значення коефіцієнта кореляції. Регресія проводилась на основі лінеаризувальних перетворень, які дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювалось методом найменших квадратів за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz", яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір. Отримано адекватні регресійні залежності, які описують динаміку збільшення кількості біогазових установок на полігонах твердих побутових відходів і можуть бути використані під час прогнозування кількості таких установок. Побудовано графічні залежності, що описують динаміку збільшення кількості біогазових установок на полігонах твердих побутових відходів та дозволяють наочно проілюструвати цю динаміку та показати достатню збіжність теоретичних результатів із фактичними даними.

Ключові слова: полігон, сміттєзвалище, тверді побутові відходи, біогаз, біогазова установка, динаміка, регресійний аналіз.

Вступ

На відміну від твердих промислових відходів, які підлягають переробці [1 – 5], тверді побутові відходи (ТПВ), в основному, захоронюються на полігонах та сміттєзвалищах [6], на яких внаслідок анаеробного бродіння біомаси утворюється звалищний газ або біогаз (БГ). Згідно даних [7] у світі експлуатується 481 система збирання БГ. Загальний видобуток цих систем становить 5,15 млрд. м³/рік. Але лише близько 25 - 50% зібраного БГ знаходить комерційне використання, решта спалюється у факелах. Глобальна емісія БГ в атмосферу є важливим фактором зміни клімату Землі. Головною складовою БГ є метан, емісія якого з територій захоронення ТПВ складає від 1,5 до 70 млн. т/рік [8, 9]. При утилізації метану з усіх полігонів ТПВ в США його кількість становитиме 5% від загального споживання природного газу в США або 1% від загального споживання енергоносіїв [7]. 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 на сьогодні визначається і тим, що цей газ є складовою частиною національної квоти речовин, які впливають на парниковий ефект та зміну озонового шару планети. В той же час розвиток видобування БГ в Україні сприятиме значному зменшенню у використанні природного газу і частковому його заміщенню у секторі постачання теплової та електроенергії.

Постановка проблеми

Відповідно Постанові Кабінету Міністрів України № 265 серед пріоритетних напрямів

поводження з ТПВ в Україні є організація роздільного збору окремих компонентів, забезпечення застосування сучасних високоефективних сміттєвозів, створення сучасних полігонів побутових відходів із знешкодженням фільтрату та утилізацією біогазу тощо [10]. Тому визначення регресійних залежностей, які описують динаміку збільшення кількості біогазових установок на полігонах ТПВ і можуть бути використані під час прогнозування кількості таких установок, є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Автор статті [11] наводить статистичні дані щодо потенціалу БГ та поширеності його утилізації у різних країнах світу. Робота [7] містить дані стосовно об'єму видобування БГ у різних країнах. В статті [12] проведено моделювання складу БГ при анаеробному розкладанні ТПВ. В роботах [13 – 15] наведено склад та фізико-хімічні властивості БГ, що утворюється в місцях захоронення ТПВ. В статті [16] проведено регресійний аналіз площі полігону ТПВ для видобування БГ. В роботі [17] БГ з місць захоронення ТПВ розглядається як нетрадиційне джерело енергії. В статті [18] наведено математичну модель прогнозування питомого об'єму видобування БГ, в статті [19] опублікована математична модель прогнозування питомого потенціалу БГ, ефективність видобування БГ досліджена в роботі [20]. В роботі [21] досліджено вплив характеристик ТПВ на обсяги, динаміку утворення, склад та потенціал енергетичного використання БГ з полігонів ТПВ. Авторами статті [22] проведено аналіз способів утилізації видобутого БГ, а в роботі [23] наведено математичну модель поширеності цих способів. Однак конкретних математичних залежностей, що описують збільшення кількості біогазових установок на полігонах ТПВ, в результаті аналізу відомих публікацій, авторами не виявлено.

Мета і завдання статті

Метою цієї статті є побудова за допомогою регресійного аналізу регресійних залежностей, які описують динаміку збільшення кількості біогазових установок на полігонах ТПВ і можуть бути використані під час прогнозування кількості таких установок.

Методи і матеріали

Для визначення регресійних залежностей, яка описує динаміку збільшення кількості біогазових установок на полігонах ТПВ використано такі методи: регресійний аналіз результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей, комп'ютерне моделювання.

Результати досліджень

У таблиці 1 показана динаміка збільшення кількості біогазових установок на полігонах ТПВ Німеччини та України [24]. На основі даних таблиці 1 планувалось отримати парні регресійні залежності, які описують динаміку збільшення кількості біогазових установок на полігонах ТПВ Німеччини та України.

Таблиця 1

Кількість біогазових установок на полігонах ТПВ Німеччини та України, од., в різні роки [24]

Рік	2015	2016	2017	2018	2019
Німеччина	9014	9209	9331	9444	9523
Україна	7	7	12	20	25

Регресія проводилась на основі лінеаризувальних перетворень, які дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювалась

Наукові праці ВНТУ, 2021, № 1

методом найменших квадратів за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz" [25], яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір, і детально описана в роботах [26, 27].

Програма "RegAnaliz" дозволяє проводити регресійний аналіз результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей із вибором кращого виду функції із 16-ти найпоширеніших варіантів за критерієм максимального коефіцієнту кореляції зі збереженням результатів в форматі MS Excel та Bitmap.

Результати регресійного аналізу наведені в таблиці 2, де сірим кольором позначено комірку з максимальним значенням коефіцієнта кореляції R.

Отже, за результатами регресійного аналізу на основі даних таблиці 1, як найбільш адекватні остаточно прийнято такі регресійні залежності

$$n_{БГУ.Нім.} = \frac{t - 2014}{9,269 \cdot 10^{-6} + 1,035 \cdot 10^{-4}(t - 2014)} \text{ [од.];} \quad (1)$$

$$n_{БГУ.Укр.} = 5,171 + 0,8209(t - 2014)^2 \text{ [од.]} \quad (2)$$

Таблиця 2

Результати регресійного аналізу динаміки збільшення кількості біогазових установок на полігонах ТПВ Німеччини та України

№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R		№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R	
		Німеччина	Україна			Німеччина	Україна
1	$y = a + bx$	0,98623	0,96319	9	$y = ax^b$	0,99808	0,90986
2	$y = 1 / (a + bx)$	0,98343	0,95787	10	$y = a + b \cdot \lg x$	0,99756	0,88104
3	$y = a + b / x$	0,95975	0,75918	11	$y = a + b \cdot \ln x$	0,99756	0,88104
4	$y = x / (a + bx)$	0,99995	0,08290	12	$y = a / (b + x)$	0,98343	0,95787
5	$y = ab^x$	0,98486	0,96966	13	$y = ax / (b + x)$	0,96418	0,82774
6	$y = ae^{bx}$	0,98486	0,96966	14	$y = ae^{b/x}$	0,96200	0,80204
7	$y = a \cdot 10^{bx}$	0,98486	0,96966	15	$y = a \cdot 10^{b/x}$	0,96200	0,80204
8	$y = 1 / (a + be^{-x})$	0,95478	0,81817	16	$y = a + bx^n$	0,93658	0,98678

На рис. 1 показані фактичні та теоретичні графічні залежності, які описують динаміку збільшення кількості біогазових установок на полігонах ТПВ Німеччини та України.

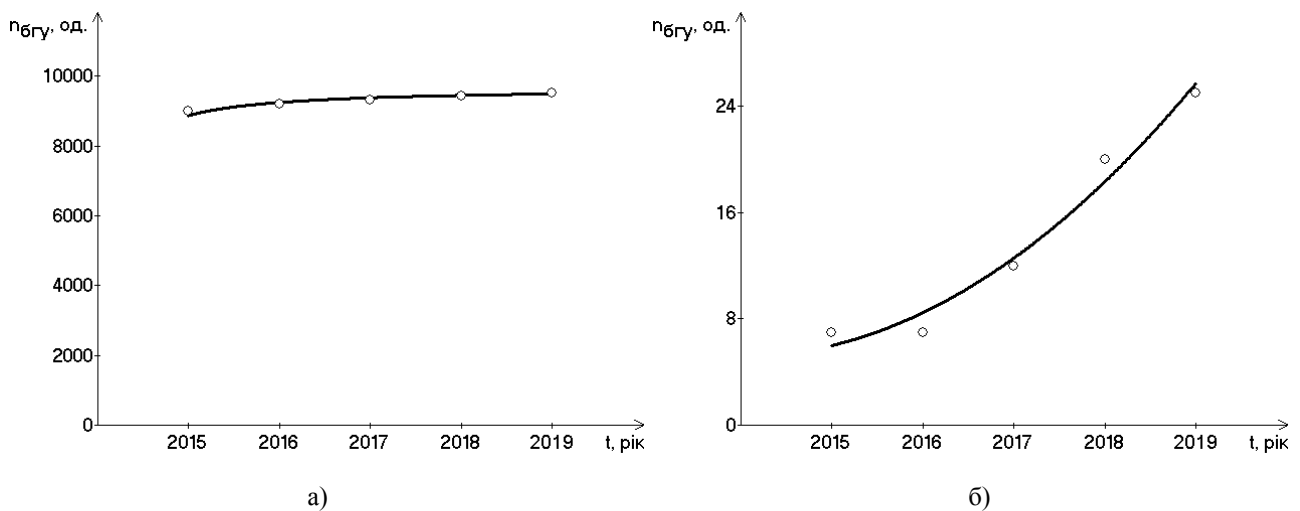


Рис. 1. Залежності, які описують динаміку збільшення кількості біогазових установок на полігонах ТПВ Німеччини (а) та України (б) протягом 2015 - 2019 рр.: фактична \circ , теоретична —

збільшення кількості біогазових установок на полігонах ТПВ, розрахована за допомогою рівнянь регресії (1, 2), несуттєво відрізняється від даних, наведених в роботі [24], що підтверджує визначену раніше достатню точність отриманих залежностей.

Використовуючи залежність (1) можна спрогнозувати, що кількість біогазових установок на полігонах ТПВ в Німеччині в 2025 році збільшиться до 9584, а в 2030 році – до 9608. Враховуючи залежність (2) можна спрогнозувати, що кількість біогазових установок на полігонах ТПВ в Україні в 2025 році збільшиться до 104, а в 2030 році – до 215. Суттєве відставання від європейського лідера ринку біогазу підтверджує необхідність впровадження в Україні сучасних технологій переробки та утилізації ТПВ.

Висновки

1. Визначено регресійні залежності, які описують динаміку збільшення кількості біогазових установок на полігонах ТПВ і можуть бути використані під час прогнозування кількості таких установок.

2. Побудовано графічні залежності, що описують динаміку збільшення кількості біогазових установок на полігонах ТПВ та дозволяють наочно проілюструвати цю динаміку та показати достатню збіжність теоретичних результатів з фактичними.

3. Результати застосування запропонованих прогностичних моделей збільшення кількості біогазових установок на полігонах ТПВ на прикладі Німеччини та України підтверджують необхідність впровадження в нашій країні сучасних технологій переробки та утилізації твердих побутових відходів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лемешев М. С. В'яжучі з використанням промислових відходів Вінниччини / М. С. Лемешев // Тези доповідей XXIV міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційні технології : наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я", Харків, 18-20 травня 2016 р. – Харків : НТУ "ХПІ". – С. 381.
2. Ковальський В. П. Шламосолокарбонатий прес-бетон на основі відходів промисловості / В. П. Ковальський, А. В. Бондарь // Тези доповідей XXIV міжнародної науково-практичної конференції, Харків, 18-20 травня 2015 р. – Харків, НТУ «ХПІ», 2015. – С. 209.
3. Очеретний В. П. Використання відходів вапняку та промислових відходів у виробництві сухих будівельних сумішей / В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, А. В. Бондар // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2009. – № 1. – С. 36 – 40.
4. В'яжуче на основі промислових відходів [Електронний ресурс] / М. С. Лемешев // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2017 : материалы международной научно-практической Интернет-конференции, 10-17 октября 2017 г. – Москва (Россия) : SWorld, 2017. – 6 с. – Режим доступа : <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/artsarchitecture-and-construction-317/modern-construction-technologies-317/29547-317-027>.
5. Лемішко К. К. Використання промислових відходів енергетичної та хімічної галузі в технології виготовлення будівельних виробів / К. К. Лемішко, М. Ю. Стаднійчук, М. С. Лемешев // Матеріали науково-практичної конференції "Енергія. Бізнес. Комфорт", 26 грудня 2018 р. – Одеса : ОНАХТ, 2019. – С. 23 – 25.
6. Савуляк В. І. Технічне забезпечення збирання, перевезення та підготовки до переробки твердих побутових відходів : монографія / В. І. Савуляк, О. В. Березюк. – Вінниця, 2006. – 217 с
7. Техніко-економічне обґрунтування "Програми утилізації звалищного метану в Луганській області за допомогою механізмів Кітського протоколу". – Луганськ, 2008. – 124 с.
8. Исидоров В. А. Органическая химия атмосферы / В. А. Исидоров. – СПб.: Химия, 1992. – 288 с.
9. Минько О. И. Экологические и геохимические характеристики свалок твердых бытовых отходов / О. И. Минько, А. Б. Лифшиц // Экологическая химия. – 1992. – № 2. – С. 37 – 47.
10. 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>.
11. Гелетуца Г. Г. Обзор технологий добычи и использования биогаза на свалках и полигонах твердых бытовых отходов и перспективы их развития в Украине / Г. Г. Гелетуца, З. А. Марценюк // Экотехнологии и ресурсосбережение, 1999. – № 4. – С. 6 – 14.
12. Березюк О. В. Моделирование состава биогаза при анаэробном разложении твердых бытовых отходов /

- О. В. Березюк // Автоматизированные технологии и производства. – 2015. – № 4 (10). – С. 44 – 47.
13. Ратушняк Г. С. Энергозбереження в системах біоконверсії. Навчальний посібник / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 83 с.
14. Краснянский М. Е. Экологические угрозы свалок ТБО / М. Е. Краснянский, Е. Бельгасем // Спец. информ. бюлл. “Твердые бытовые отходы”. – 2005. – № 5. – С. 12.
15. Пятничко А. И. Результаты обследования полигонов ТБО Украины для установления объемов добычи и состава биогаза / А. И. Пятничко, Г. В. Жук, В. Е. Баннов // Технические газы. – 2010. – № 2. – С. 63 – 66.
16. Березюк О. В. Регресія площі полігону твердих побутових відходів для видобування звалищного газу / О. В. Березюк, М. С. Лемешев // Мир науки и инноваций. – Иваново: Научный мир, 2015. – Т. 5, № 1 (1). – С. 48 – 51.
17. Кречотень Є. Г. Біогаз з місць захоронення твердих побутових відходів як нетрадиційне джерело енергії / Є. Г. Кречотень // Збірник наукових праць Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених та студентів "Еколого-енергетичні проблеми сучасності", Одеса, 25 квітня 2019 р. – Одеса : ОНАХТ, 2019. – С. 29 - 30.
18. 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.
19. Березюк О. В. Розробка математичної моделі прогнозування питомого потенціалу звалищного газу / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – № 2. – С. 39 – 42.
20. 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.
21. Пухнюк О. Ю. Утворення біогазу на полігонах твердих побутових відходів України та оцінка потенціалу його енергетичного використання : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.14.08 «Перетворення відновлюваних видів енергії» / О. Ю. Пухнюк. – Київ, 2013. – 26 с.
22. 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.
23. 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.
24. Саун Л. М. Перспективи розвитку ринку біогазу в Україні та за кордоном / Л. М. Саун, Л. В. Різніченко, Б. О. Велькін // Економіка і організація управління. – 2020. – № 1 (37). – С. 160 – 170.
25. Березюк О. В. Комп'ютерна програма "Регресійний аналіз" ("RegAnaliz") / О. В. Березюк // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 49486. – К. : Державна служба інтелектуальної власності України. – Дата реєстрації: 03.06.2013.
26. Березюк О. В. Встановлення регресій параметрів захоронення відходів та потреби в ущільнювальних машинах на основі комп'ютерної програми "RegAnaliz" / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 1. – С. 40 – 45.
27. Березюк О. В. Определение регрессии коэффициента уплотнения твердых бытовых отходов от высоты полигона на основе компьютерной программы "RegAnaliz" / О. В. Березюк // Автоматизированные технологии и производства. – 2015. – № 2 (8). – С. 43 – 45.

Стаття надійшла до редакції 23.03.2021

Стаття пройшла рецензування 29.03.2021.

Березюк Олег Володимирович – к. т. н., доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки.

Красівський Володимир Олександрович – к. т. н., доцент, доцент кафедри вищої математики.
Вінницький національний технічний університет.