

ПЕРСПЕКТИВИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ЗА РАХУНОК СПАЛЮВАННЯ ПОПЕРЕДНЬО ЗНЕВОДНЕНИХ ТПВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У даній роботі визначено регресійну залежність теплотворної здатності твердих побутових відходів від їхньої вологості, що необхідна для вирішення проблеми поводження з твердими побутовими відходами. Встановлено, що зі зниженням вологості твердих побутових відходів їхня теплотворна здатність зростає за логарифмічною залежністю.

Ключові слова: тверді побутові відходи, спалювання, теплотворна здатність, вологість, зневоднення.

Abstract

In this paper, the regression dependence of the calorific value of municipal solid waste on their humidity, which is necessary to solve the problem of municipal solid waste management. It is established that with the decrease of humidity of municipal solid waste their calorific value increases by logarithmic dependence.

Keywords: municipal solid waste, combustion, calorific value, humidity, dehydration.

Вступ

В населених пунктах України щороку утворюється понад 54 млн. м³ твердих побутових відходів (ТПВ). З них 93,8% захоронюється на 4530 полігонах та сміттєзвалищах площею майже 7700 гектарів та лише 2% спалюється на сміттєспалювальних заводах, а 4,2% ТПВ потрапляє на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні заводи [1, 2]. Лише протягом 1999-2014 рр. загальна площа полігонів та сміттєзвалищ в Україні збільшилась в 3 рази. Також майже в 2 рази зросла площа перевантажених та більше ніж в 3,1 рази тих полігонів і сміттєзвалищ, які не відповідають нормам екологічної безпеки, в тому числі й через забруднення ґрунтів фільтратом, який може потрапляти до підземних вод, забруднюючи їх. Використання ТПВ для виробництва енергії активно розвивається в багатьох країнах світу. Наприклад, в 2014 р. в країнах ЄС працювало 483 ТЕЦ на ТПВ, на яких було спалено 88,5 млн. т ТПВ. Доцільність спалювання ТПВ в ТЕЦ залежить від теплотворної здатності компонентів та вологості змішаних ТПВ [3]. Тому визначення залежності теплотворної здатності ТПВ від їхньої вологості, є актуальною науково-технічною задачею як однієї із складових для вирішення проблеми поводженням з твердими побутовими відходами.

Результати дослідження

На відміну від твердих промислових відходів [4-7], які, як правило, є однорідними, ТПВ мають характеристики, що змінюються в широкому діапазоні значень. В статті [8] наведено діапазон значень вологості змішаних ТПВ 39...53 %. Згідно даних, наведених в роботі [9], у весняно-літній період вологість харчової фракції ТПВ складає 60...64 %, а в осінній – 75...92 %.

Зниження вологості цукрової тростини з 42% до 10% під час спалювання в печі з нерухомим шаром дозволяє скоротити тривалість спалювання в 3,4...6 разів [10]. В роботі [3] доведена неможливість самостійного горіння ТПВ при вологості, з якою вони потрапляють зі сміттєвозів до сміттєспалювального заводу, що вказує на необхідність їхнього зневоднення перед спалюванням. Зменшення вологості ТПВ на 25...40% призводить до збільшення їхньої питомої теплоти згорання в 1,6...2,2 рази [3]. В роботі [11] розглянуто можливість утилізації ТПВ на наявних комунальних ТЕЦ з генеруючою потужністю 12 МВт, що можуть працювати на енергетичному паливі (суміші ТПВ, зневоднених до 20% вологості та кам'яного вугілля з масовою часткою 16%) із розрахунковою нижчою теплоотою згорання 10,99 МДж/кг.

На думку авторів роботи [12] необхідно зневоднювати біомасу, оскільки системи піролізу можуть обробляти біомасу, що містить, як правило, менше 30% вологи. Початковий вміст вологи впливає як на поведінку біомаси під час піролізу, так і на фізико-хімічні властивості піролізної нафти. Під час піролізу тепло використовується для ендотермічного випаровування вмісту вологи, присутнього в

частинках біомаси, та реакцій розкладання. Початковий вміст вологи підвищує енергетичні витрати та температуру реакції піролізу. Дуже високий вміст вологи в біомасі сповільнює швидкість нагрівання біомаси. Наприклад, для початку реакції піролізу біомаса з початковим вмістом вологи в 40% потребувала додаткової енергії 1120 кДж/кг порівняно зі зразком сухої речовини [12]. В той же час занадто низька вологість біомаси при піролізі призводить до виробництва дуже в'язкої нафти, особливо при більш високих температурах реакції. Оптимальне значення вологості біомаси для піролізу знаходиться в межах 10,5...12% [13].

Зменшення вологості ТПВ з 51,7% до 9,2% під час піролізу та газифікації при температурі 650°C призводить до підвищення нижчої теплоти згоряння синтетичного газу з 3,75 до 4,85 МДж/м³, а також до підвищення ефективності перетворення енергії з 45% до 69%, а для того, щоб гарантувати високу продуктивність газифікації, ТПВ повинні містити вологу не більше 20...25% [14]. Оптимальне значення вологості для газифікаторів з киплячим шаром для низькосортних палив (таких як ТПВ) складає 12...15% [15].

В роботах [16, 17] розглянуто обладнання для вібраційного та віброударного зневоднення відходів харчових виробництв, яке реалізовано в технологічних машинах, які не мають таких обмежень за масогабаритними характеристиками, як мобільні машини. Тому в роботі [18] запропоновано схему гідроприводу зневоднення та ущільнення ТПВ у сміттєвозі під час їхнього завантаження. В статтях [19, 20] встановлено, що зневоднення ТПВ дозволяє зменшити їхній об'єм та масу, що підлягає перевезенню, безпосередньо в місцях збору, здійснити попередню переробку відходів шляхом їхнього зневоднення та частково подрібнення, а також, суттєво скоротити приріст площі земель, відведених під полігони та сміттєзвалища, що призведе, в свою чергу, до зниження темпів погіршення екологічної ситуації. В роботі [21] за допомогою запропонованого вологоміра [22] проведено дослідження процесів зневоднення ТПВ шнековим пресом за допомогою планування експерименту другого порядку, яке дало змогу визначити адекватні квадратичні регресійні моделі показників зневоднення від основних параметрів впливу. Отримані залежності використані під час побудови математичної моделі роботи приводу зневоднення ТПВ у сміттєвозі, яка дозволила дослідити динаміку вказаного приводу та отримати рівняння, необхідні для розробки методики інженерних розрахунків параметрів обладнання для зневоднення ТПВ у сміттєвозі [23]. Однак конкретних математичних залежностей теплотворної здатності ТПВ від їхньої вологості, в результаті аналізу відомих публікацій, автором не виявлено.

В таблиці 1 наведено статистичні дані щодо залежності теплотворної здатності ТПВ від їхньої вологості [3, 11].

Таблиця 1 – Залежність теплотворної здатності ТПВ від їхньої вологості [3, 11]

Вологість ТПВ, %	20	27,4	28,6	33,6	57,4	58,3	67,3
Теплотворна здатність ТПВ, МДж/кг	9,140	7,362	7,144	6,290	4,324	4,345	3,316

На основі даних табл. 1 планувалось отримати математичну модель у вигляді парної регресійної залежності теплотворної здатності ТПВ від їхньої вологості.

Регресія проводилась на основі лінеаризувальних перетворень, які дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Під час дослідження використано метод регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей із вибором кращого виду функції із 16 найпоширеніших варіантів за критерієм максимального значення коефіцієнта кореляції зі збереженням результатів в форматі MS Excel та Bitmap. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювалась методом найменших квадратів за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz", яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір [24] і детально описана в роботі [25].

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 табл. 1, як найбільш адекватну, остаточно прийнято таку регресійну модель

$$Q = 22,5 - 4,508 \ln w \text{ [МДж/кг]}, \quad (1)$$

де Q – теплотворна здатність ТПВ, МДж/кг;

w – вологість ТПВ, %.

Таблиця 2 – Результати регресійного аналізу залежності теплотворної здатності ТПВ від їхньої вологості

№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R	№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R
1	$y = a + bx$	0,98693	9	$y = ax^b$	0,98495
2	$y = 1 / (a + bx)$	0,98230	10	$y = a + b \cdot \lg x$	0,99483
3	$y = a + b / x$	0,98308	11	$y = a + b \cdot \ln x$	0,99484
4	$y = x / (a + bx)$	0,98039	12	$y = a / (b + x)$	0,98230
5	$y = ab^x$	0,99405	13	$y = ax / (b + x)$	0,91183
6	$y = ae^{bx}$	0,99405	14	$y = ae^{b/x}$	0,95435
7	$y = a \cdot 10^{bx}$	0,99405	15	$y = a \cdot 10^{b/x}$	0,95435
8	$y = 1 / (a + be^{-x})$	0,47310	16	$y = a + bx^n$	0,96967

На рисунку 1 показано графічну залежність теплотворної здатності ТПВ від їхньої вологості, побудовану за допомогою рівняння регресії (1), що підтверджує визначену раніше достатню збіжність отриманої теоретичної залежності порівняно із даними, наведеними в роботах [3, 11].

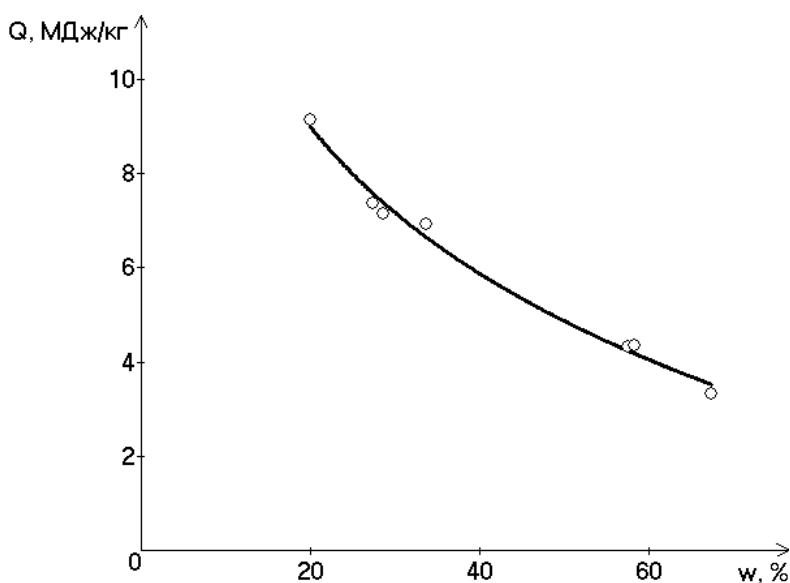


Рис. 1. Фактична (○) та теоретична (—) залежність теплотворної здатності ТПВ від їхньої вологості

Як видно із рисунка 1, зневоднення ТПВ перед їхнім спалюванням дозволить суттєво підвищити їхню теплотворну здатність до рівня, необхідного для спалювання ТПВ в наявних ТЕЦ, що, в свою чергу, дозволить скоротити споживання викопних видів палива.

Висновки

1. Визначено регресійну залежність теплотворної здатності ТПВ від їхньої вологості, що необхідна для вирішення проблеми поводження з твердими побутовими відходами.
2. Побудовано графічну залежність теплотворної здатності ТПВ від їхньої вологості, що дозволяє наглядно проілюструвати дану залежність, показати достатню збіжність теоретичних та фактичних результатів.
3. Встановлено, що зі зниженням вологості ТПВ їхня теплотворна здатність зростає за логарифмічною залежністю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Попович В. В. Ефективність експлуатації сміттєвозів у середовищі "місто–сміттєзвалище" / В. В. Попович, О. В. Придатко, М. І. Сичевський, Н. П. Попович, М. А. Панасюк // Науковий вісник НЛТУ України. – 2017. – Т. 27. – № 10. – С. 111-116.

2. Попович В. В. Еколого-техногенна небезпека сміттєзвалищ та наукові основи фітомеліоративних заходів їх виведення з експлуатації : дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 21.06.01 "Екологічна безпека" / В. В. Попович. – Львів, 2017. – 530 с.
3. Сігал О. І. Дослідження кількості теплоти, що виділяється при спалюванні змішаних твердих побутових відходів м. Києва / О. І. Сігал, С. С. Крикун, Н. Ю. Павлюк, І. В. Сатін, С. В. Плашихін, Д. А. Кіржнер, М. В. Семенюк, Г. Б. Каменьков // Промышленная теплотехника. – 2017. – Т. 39. – № 3. – С. 78-84.
4. Ковальський В. П. Обґрунтування доцільності використання золошламового в'язучого для приготування сухих будівельних сумішей / В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, М. С. Лемешев, А. В. Бондар // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне : Видавництво НУВГіП, 2013. – Випуск 26. – С. 186-193.
5. Сердюк В. Р. Комплексне в'язуче з використанням мінеральних добавок та відходів виробництва / В. Р. Сердюк, М. С. Лемешев, О. В. Христин // Будівельні матеріали, виробі та санітарна техніка. Науково-технічний збірник. – 2009. – Вип. 33. – С. 57-62.
6. Ковальський В. П. Використання золи виносу ТЕС у будівельних матеріалах / В. П. Ковальський, О. С. Сідлак // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві: науково-технічний збірник. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2014. – № 1 (16). – С. 35-40.
7. Лемешев М. С. Ресурсозберігаюча технологія виробництва будівельних матеріалів з використанням техногенних відходів / М. С. Лемешев, О. В. Христин, С. Ю. Зузяк // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві. – 2018. – № 1. – С. 18-23.
8. Масленников А. Ю. Характеристика твердых бытовых отходов [Электронный ресурс] / А. Ю. Масленников // Отраслевой портал. Вторичное сырье. – Режим доступа : <http://www.recyclers.ru>.
9. Варнавская И. В. Анализ условий образования и состава сточных вод полигонов твердых бытовых отходов / И. В. Варнавская // Экология и промышленность. – 2008. – № 1. – С. 39-43.
10. Sánchez C. Z. Effect of particle size and humidity on sugarcane bagasse combustion in a fixed bed furnace / C. Z. Sánchez, P. Gauthier-Maradei, N. H. Escalante // Revista ION. – 2013. – V. 26. – No. 2. – P. 73-85.
11. Рижий В. К. Утилізація твердих побутових відходів на наявних комунальних ТЕЦ / В. К. Рижий, Т. І. Римар, І. Л. Тимофеев // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2011. – № 712 : Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація. – С. 17-22.
12. Akhtar J. A review on operating parameters for optimum liquid oil yield in biomass pyrolysis / J. Akhtar, N. A. S. Amin // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – Elsevier, 2012. – V. 16. – No. 7. – P. 5101-5109. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.05.033>.
13. Demirbas A. Effect of initial moisture content on the yields of oily products from pyrolysis of biomass / A. Demirbas // Journal of analytical and applied pyrolysis. – Elsevier, 2004. – V. 71. – No. 2. – P. 803-815. – <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2003.10.008>.
14. Dong J. Effect of operating parameters and moisture content on municipal solid waste pyrolysis and gasification / J. Dong, Y. Chi, Y. Tang, M. Ni, A. Nzihou, E. Weiss-Hortala, Q. Huang // Energy & Fuels. – 2016. – V. 30. – No. 5. – P. 3994-4001.
15. Рыжков А. Ф. Развитие технологического горения в энергетических установках / А. Ф. Рыжков // Современная наука : исследования, идеи, результаты, технологии. – 2010. – № 1. – С. 3-12.
16. Іскович-Лотоцький Р. Д. Гідроімпульсний привод установки для вібраційного зневоднення вторинних продуктів харчових переробних виробництв / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. П. Обертюх, О. В. Поліщук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 2. – С. 71-75.
17. Севостьянов І. В. Теоретичні основи процесів та обладнання для віброударного зневоднення відходів харчових виробництв : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.18.12 "Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв" / І. В. Севостьянов. – К., 2013. – 43 с.
18. Березюк О. В. Гідропривід зневоднення та ущільнення твердих побутових відходів у сміттєвозі. Патент України № 109036 U, МПК(2016.01) B65F 3/00 / О. В. Березюк. – u201601154; Заявл. 11.02.2016. Одерж. 10.08.2016, Бюл. № 15.
19. Березюк О. В. Шляхи підвищення ефективності пресування твердих побутових відходів у сміттєвозах / О. В. Березюк // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві : Науково-технічний збірник. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – № 1 (6). – С. 111-114.
20. Березюк О. В. Привод зневоднення та ущільнення твердих побутових відходів у сміттєвозі / О. В. Березюк // Вісник машинобудування та транспорту. – 2016. – № 2. – С. 14-18.
21. Березюк О. В. Експериментальне дослідження процесів зневоднення твердих побутових відходів шнековим пресом / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2018. – № 5. – С. 18-24. – <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2018-140-5-18-24>.
22. Bereziuk O. V. Means for measuring relative humidity of municipal solid wastes based on the microcontroller Arduino UNO R3 / O. V. Bereziuk, M. S. Lemeshev, V. V. Bohachuk, M. Duk // Proc. SPIE, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2018. – 2018. – Vol. 10808. – No. 108083G. – <https://doi.org/10.1117/12.2501557>.
23. Березюк О. В. Методика інженерних розрахунків параметрів обладнання для зневоднення твердих побутових відходів у сміттєвозі / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2020. – № 2. – С. 73-81. – <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-149-2-73-81>
24. Березюк О. В. Комп'ютерна програма "Регресійний аналіз" ("RegAnaliz") / О. В. Березюк // Свідцтво про реєстрацію авторського права на твір № 49486. К.: Державна служба інтелектуальної власності України. Дата реєстрації: 03.06.2013.
25. 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.

Березюк Олег Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: berezyukoleg@i.ua.

Bereziuk Oleg V. – Cand. Sc. (Eng), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Life Safety and Safety Pedagogics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: berezyukoleg@i.ua.