

УДК 33.013.6

Ю.М. Марепа

ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ, ЩО ДОЗВОЛЯЮТЬ ПРОВОДИТИ СПАЛЮВАННЯ НИЗЬКОКАЛОРИЙНИХ ТПВ БЕЗ ВИКОРИСТАННЯ ДОДАТКОВОГО ПАЛИВА

Досліджено умови спалювання низькокалорійного ТПВ в залежності від теплоти згорання ТПВ, коефіцієнта витрати повітря і температури підігріву повітря. Для умов сміттєспалювального заводу «Енергія» отримано набір рівнянь регресії, що дозволяють для заданих значень будь-яких двох з названих чинників визначити значення третього, при якому досягається раціональний рівень температури в топці. Це дозволяє визначати умови, за яких можливе спалювання ТПВ без використання додаткового палива.

Ключові слова: ТПВ, теплота згорання, коефіцієнт витрати повітря, температурний рівень в топці, температура підігріву повітря.

Изучены условия сжигания низькокалорийного ТБО в зависимости от теплоты сгорания ТБО, коэффициента расхода воздуха и температуры подогрева воздуха. Для условий мусоросжигающего завода «Энергия» получен набор уравнений регрессии, позволяющих для заданных значений любых двух из названных факторов определить значение третьего, при котором достигается рациональный уровень температуры в топке. Это позволяет определять условия, при которых возможно сжигание ТБО без использования дополнительного топлива.

Ключевые слова: ТБО, теплота сгорания, коэффициент расхода воздуха, температурный уровень в топке, температура подогрева воздуха.

Conditions of incineration of low-calorific solid wastes were studied depending on the heat of combustion of solid waste, the airflow factor and the air heating temperature. For the conditions of the incineration plant "Energia", a set of regression equations has been obtained, allowing for the given values of any two of the named factors to determine the value of the third, at which a rational temperature level in the furnace is reached. This allows to determine the conditions under which MSW can be burned down without using additional fuel.

Keywords: MSW, heating value, coefficient of air flow rate, temperature level in the furnace, air heating temperature.

Вступ

За останні десятиріччя технологія спалювання ТПВ в світі досягла значного розповсюдження. Завдяки її динамічному розвитку сьогодні акцент ставиться не просто на утилізацію ТПВ, а на виробництво електроенергії та теплоти в рамках ТЕЦ на ТПВ [1-2].

В умовах України на реалізацію технології спалювання ТПВ накладається ряд істотних особливостей, пов'язаних з низькою і нестабільною теплою згорання ТПВ [2]. При цьому, цілком імовірно, що іноземні розробки в галузі технології спалювання ТПВ не будуть в повній мірі задовольняти українські реалії. Для поширення цієї технології необхідні власні теоретичні та конструкторські розробки.

Аналіз стану питання

При зміні теплоти згорання вихідного ТПВ може з'являтися необхідність в спалюванні додаткового висококалорійного палива (звичай, природного газу) [3], що істотно погіршує техніко-економічні показники підприємства зі спалювання ТПВ.

За результатами аналізу, проведеного з використанням технічних, технологічних, екологічних і соціально-економічних критеріїв, показано, що для українських умов спалювання в шарових топках практично несорттованих ТПВ з мінімальною їх підготовкою є найбільш доцільним і економічно обґрунтованим способом термічної утилізації ТПВ як нині, так і на доступну для огляду перспективу. Водночас відомі розробки в області забезпечення заданих екологічних параметрів спалювання ТПВ [4-7] можуть бути перенесені на

українські умови.

Значний науково-практичний інтерес має дослідження роботи обладнання зі спалювання ТПВ в не розрахункових умовах. Однією з найбільших проблем при спалюванні ТПВ в Україні є низькі значення теплоти згорання. При зміні теплоти згорання вхідного ТПВ може з'являтися необхідність в спалюванні додаткового висококалорійного палива (звичай, природного газу), що істотно погіршує техніко-економічні показники підприємства зі спалювання ТПВ і тому на практиці дуже важливо визначити технологічні та конструктивні параметри, що дозволяють навіть при роботі з низькими теплотами згорання ТПВ, мінімізувати витрати природного газу або забезпечити стійке горіння навіть без його використання. Але при цьому необхідно забезпечити температурний рівень в топці, що спалює ТПВ, на раціональному рівні порядку 850°C.

Мета дослідження

Проведені дослідження ставили за мету визначити умови, що дозволяють проводити спалювання низькокалорійного ТПВ без використання додаткового палива.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні задачі:

— для умов сміттєспалювального заводу «Енергія» (м. Київ) отримано набір рівнянь регресії, що дозволяють визначати набір значень факторів, які чинять найбільший вплив на температурний рівень в топці, при якому буде досягнутий раціональний рівень температури в топковому просторі;

— за допомогою методів математичної статистики обґрунтовано адекватність отриманих рівнянь регресії.

© Ю.М. Марепа, 2017

Методи дослідження

Для досліджень використана розрахункова модель, представлена набором розрахункових залежностей, що відображають інтегральні матеріальні та енергетичні баланси для окремих етапів процесу, і відпрацьованим механізмом обміну даними між цими розрахунковими блоками [8]. При цьому структура розрахункових блоків представлена залежностями, що узгоджуються з базовими положеннями теорії горіння [9, 10].

Основним завданням розрахункової моделі є дослідження теплових аспектів спалювання ТПВ в топці шляхом побудови теплового балансу. Створена модель передбачає можливість вивчення спалювання як окремо ТПВ, так і ТПВ спільно з природним газом. Тому розрахункова модель представлена чотирма блоками: матеріальний баланс горіння ТПВ, матеріальний баланс горіння природного газу, матеріальний баланс спільного горіння ТПВ та природного газу, теплової баланс процесу. В даній роботі при використанні розрахункової моделі розглядається випадок спалювання лише ТПВ. При цьому в результаті проведення чисельних експериментів підбирається такий набір значень основних факторів, при якому досягається заданий температурний рівень в топці 850 °С.

Методика встановлення рівнянь регресії

Згідно даних роботи [8] в якості основних факторів, що впливають на температурний рівень в топці, що спалює ТПВ, при заданому тепловому навантаженні котла є теплота згоряння ТПВ Q_{np} , коефіцієнт витрати повітря α та температура підігріву повітря t_n .

Отже мова йде про існування наступної залежності:

$$t_d = f(Q_{np}, \alpha, t_n, k_{nnp}).$$

На практиці дозволений діапазон температурного рівня в топці є досить обмеженим і в якості раціонального значення приймається $t_d=850^\circ\text{C}$. Пірометричний коефіцієнт k_{nnp} залежить від конструкції топки та режиму експлуатації. При адаптації створеної розрахункової моделі до умов сміттєспалювального заводу «Енергія» був отриманий діапазон зміни k_{nnp} , що становить від 0,735 (для номінального режиму експлуатації) до 0,9 (для мінімальної сталої потужності).

Науковий та практичний інтерес становить пошук залежностей наступного типу:

$$Q_{np} = f_1(\alpha, t_n); \quad \alpha = f_2(Q_{np}, t_n);$$

$$t_n = f_3(Q_{np}, \alpha).$$

Залежності будуються таким чином, щоб при комбінаціях Q_{np} , α , t_n отримувати температурний рівень в топці 850 °С. Ці залежності треба отримати для різних навантажень топки, що буде враховано за допомогою значення k_{nnp} . В цій роботі обрано два значення k_{nnp} для яких отримані рівняння регресії: 0,735 та 0,9. В повній мірі отримані рівняння відповідатимуть конструкції топки заводу «Енергія», але оскільки вона є досить типовою, вони зможуть з деякою умовністю використовуватися для інших

топок спалювання ТПВ, що мають подібну конструкцію.

Для конструювання шуканих залежностей в кожному випадку використано алгоритм:

– обрано комбінації значень аргументів, які охоплюють важливі для практики діапазони зміни відповідних технологічних параметрів;

– для обраних комбінацій аргументів за допомогою розрахункової моделі ітераційним методом отримано значення величин, обраних в якості функцій, таких щоб температурний рівень в топці склав 850 °С;

– отримані дані у вигляді масиву значень функції та матриці комбінацій аргументів спільно оброблено за допомогою методів математичної статистики в середовищі сучасного інженерно-обчислювального пакету в результаті чого отримано відповідні рівняння регресії.

Перевірка адекватності отриманих рівнянь регресії

Перевірку адекватності всіх отриманих рівнянь регресії виконано стандартним чином:

– 1. Знайдено дисперсію адекватності

$$S_{ad}^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / f_{ad},$$

де n – кількість комбінацій аргументів, яким за допомогою розрахункової моделі співставлень значення шуканої величини;

y_i – значення шуканої величини отримане за допомогою розрахункової моделі (з точки зору побудови рівняння регресії y_i є експериментальним значенням);

$\hat{y}_i$ – значення шуканої величини отримане за допомогою рівняння регресії;

$f_{ad} = n - l$ – кількість ступенів свободи;

l – кількість коефіцієнтів рівняння регресії (для всіх отриманих в цьому розділі рівнянь регресії $l=6$);

– 2. Знайдено дисперсію відтворюваності

$$S_e^2 = (\Delta y_{пред} / 2)^2,$$

де $\Delta y_{пред}$ – межеве значення абсолютної похибки визначення шуканої величини за допомогою ітераційної процедури розрахункової моделі;

– 3. Обчислено розрахункове значення критерію Фішера $F = S_{ad}^2 / S_e^2$;

– 4. Обрано відповідне табличне значення критерію Фішера для довірчої ймовірності 0,955 $F_\alpha(f_{ad}, f_e)$, де f_e – число ступенів свободи для дисперсії відтворюваності. В даному випадку оскільки паралельні досліди з отримання шуканої величини за допомогою розрахункової моделі не проводились f_e прийнято рівним ∞ ;

– 5. Зіставлено значення розрахункового та табличного значень критерію Фішера.

Результати дослідження

Використовуючи розроблену методику встановлено у вигляді рівнянь регресії вирази, що описують взаємну залежність основних факторів, що

впливають на температурний рівень в топці при заданому тепловому навантаженні котла.

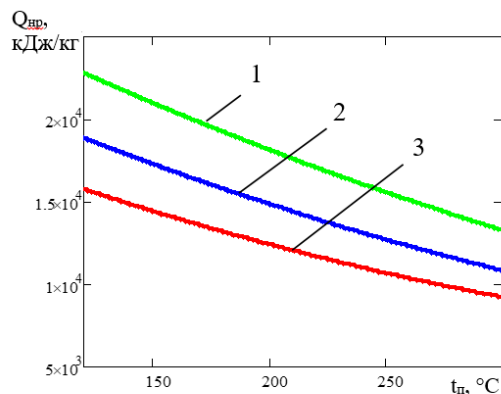
Залежність необхідної теплоти згоряння ТПВ (кДж/кг) для забезпечення необхідного температурного рівня в топці для заданих значень коефіцієнту витрати повітря та температури підігріву повітря:

– для значення $k_{\text{пир}}=0,735$

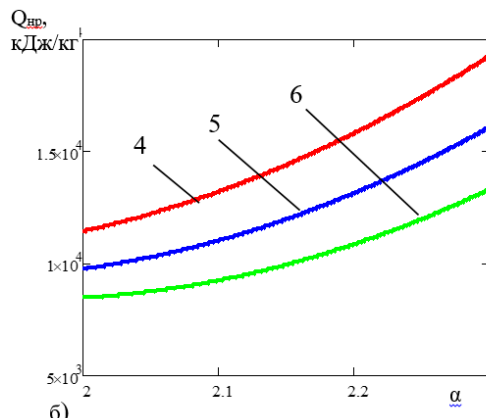
$$Q_{\text{нр}} = -130800 - 82,673 \cdot \alpha \cdot t_n + 0,055 \cdot t_n^2 + 114,244 \cdot t_n - 140300 \cdot \alpha + 42140 \cdot \alpha^2$$

Рівняння справедливе для $2 \leq \alpha \leq 2,3$ та $120 \leq t_n \leq 320^\circ\text{C}$.

Графічну інтерпретацію рівняння представлено на рис. 1.



а)



б)

Рис. 1 – Графічна інтерпретація залежності $Q_{\text{нр}} = f_1(\alpha, t_n)$ для значення $k_{\text{пир}}=0,735$

а) для фіксованих значень коефіцієнту витрати повітря 1 – $\alpha=2,3$; 2 – $\alpha=2,2$; 3 – $\alpha=2,1$;

б) для фіксованих значень температури підігріву повітря 4 – $t_n=180^\circ\text{C}$, 5 – $t_n=240^\circ\text{C}$, 6 – $t_n=300^\circ\text{C}$

– для значення $k_{\text{пир}}=0,9$

$$Q_{\text{нр}} = -6533 - 40,431 \cdot \alpha \cdot t_n + 0,041 \cdot t_n^2 + 51,159 \cdot t_n + 991,214 \cdot \alpha + 3422 \cdot \alpha^2$$

Рівняння справедливе для $2 \leq \alpha \leq 2,33$ та $20 \leq t_n \leq 340^\circ\text{C}$.

Графічну інтерпретацію рівняння представлено на рис. 2.

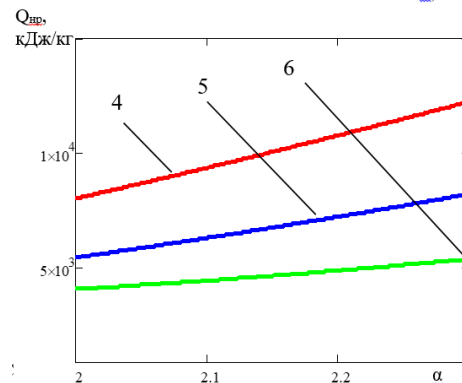
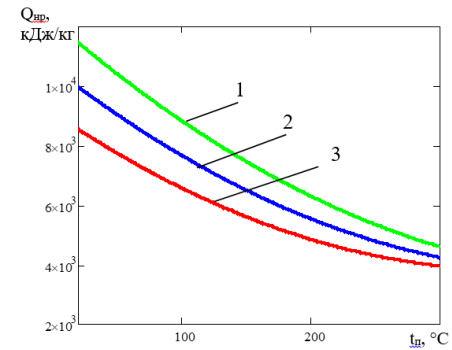


Рис. 2 – Графічна інтерпретація залежності $Q_{\text{нр}} = f_1(\alpha, t_n)$ для значення $k_{\text{пир}}=0,9$

а) для фіксованих значень коефіцієнту витрати повітря 1 – $\alpha=2,2$; 2 – $\alpha=2,1$; 3 – $\alpha=2$;

б) для фіксованих значень температури підігріву повітря 4 – $t_n=40^\circ\text{C}$, 5 – $t_n=160^\circ\text{C}$, 6 – $t_n=280^\circ\text{C}$

Залежність необхідної температури підігріву ТПВ ($^\circ\text{C}$) для забезпечення необхідного температурного рівня в топці для заданих значень коефіцієнту витрати повітря та теплоти згоряння ТПВ:

– для значення $k_{\text{пир}}=0,735$

$$t_n = -765,491 + 0,018 \cdot \alpha \cdot Q_{\text{нр}} - 2,229 \cdot 10^{-8} \cdot Q_{\text{нр}}^2 - 0,071 \cdot Q_{\text{нр}} + 1071 \cdot \alpha - 193,75 \cdot \alpha^2$$

Рівняння справедливе для $2 \leq \alpha \leq 2,3$ та $7000 \leq Q_{\text{нр}} \leq 12000 \text{ кДж/кг}$.

Графічну інтерпретацію рівняння представлено на рис. 3.

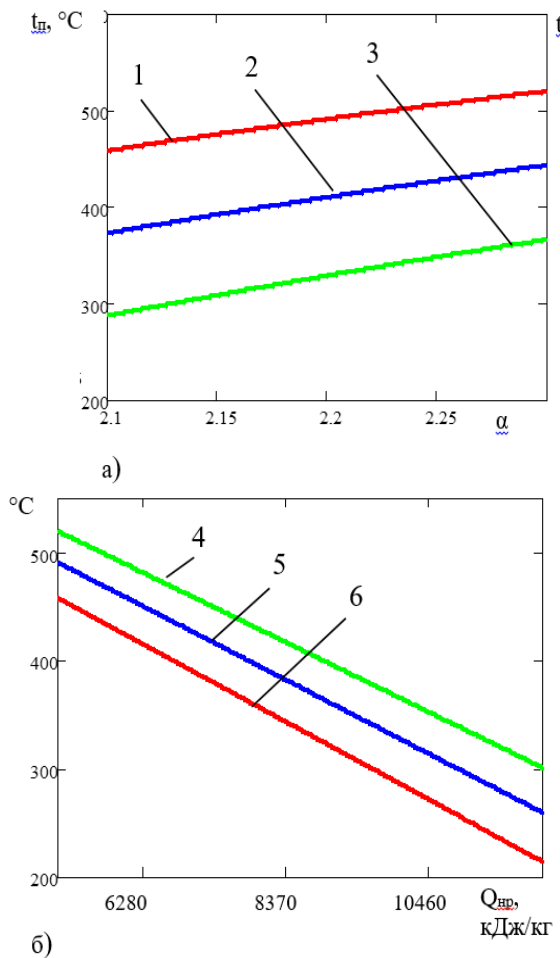


Рис. 3 – Графічна інтерпретація залежності $t_n = f_2(Q_{нпр}, \alpha)$ для значення $k_{пир}=0.735$

а) для фіксованих значень теплоти згоряння ТПВ, кДж/кг
1 – $Q_{нпр}=5000$, 2 – $Q_{нпр}=7500$, 3 – $Q_{нпр}=10000$;
б) для фіксованих значень коефіцієнту витрати повітря 4
– $\alpha=2,3$, 5 – $\alpha=2,2$, 6 – $\alpha=2,1$

– для значення $k_{пир}=0,9$

$$t_n = -1086 + 0.022 \cdot \alpha \cdot Q_{нпр} + 4.402 \cdot 10^{-6} \cdot Q_{нпр}^2 - 0.155 \cdot Q_{нпр} + 1398 \cdot \alpha - 266.667 \cdot \alpha^2$$

Рівняння справедливе для $2,1 \leq \alpha \leq 2,3$ та $5000 \leq Q_{нпр} \leq 9500$ кДж / кг .

Графічну інтерпретацію рівняння представлено на рис 4.

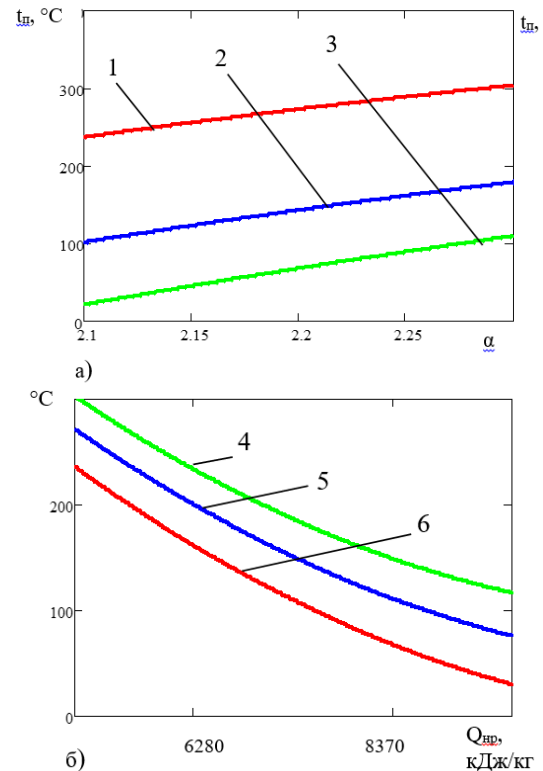


Рис. 4 – Графічна інтерпретація залежності $t_n = f_2(Q_{нпр}, \alpha)$ для значення $k_{пир}=0.9$

а) для фіксованих значень теплоти згоряння ТПВ, кДж/кг
1 – $Q_{нпр}=5000$, 2 – $Q_{нпр}=7500$, 3 – $Q_{нпр}=10000$;
б) для фіксованих значень коефіцієнту витрати повітря 4
– $\alpha=2,3$, 5 – $\alpha=2,2$, 6 – $\alpha=2,1$

Залежність необхідного коефіцієнту витрати повітря для забезпечення необхідного температурного рівня в топці для заданих значень коефіцієнту температури підігріву повітря та теплоти згоряння ТПВ:

– для значення $k_{пир}=0,735$

$$\alpha = 1,04 + 7,107 \cdot 10^{-8} \cdot Q_{нпр} \cdot t_n + 4,013 \cdot 10^{-10} \cdot Q_{нпр}^2 + 5,28 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{нпр} + 4,647 \cdot 10^{-4} \cdot t_n + 1,9 \cdot 10^{-6} \cdot t_n^2$$

Рівняння справедливе для $20 \leq t_n \leq 320^\circ\text{C}$ та $7000 \leq Q_{нпр} \leq 12000$ кДж / кг .

Графічну інтерпретацію рівняння представлено на рис. 5.

– для значення $k_{пир}=0.9$

$$\alpha = 0,825 + 1,279 \cdot 10^{-7} \cdot Q_{нпр} \cdot t_n - 6,546 \cdot 10^{-9} \cdot Q_{нпр}^2 + 1,916 \cdot 10^{-4} \cdot Q_{нпр} + 5,038 \cdot 10^{-4} \cdot t_n + 3,781 \cdot 10^{-6} \cdot t_n^2$$

Рівняння справедливе для $20 \leq t_n \leq 320^\circ\text{C}$ та $5000 \leq Q_{нпр} \leq 12000$ кДж / кг .

Графічну інтерпретацію рівняння представлено на рис. 6.

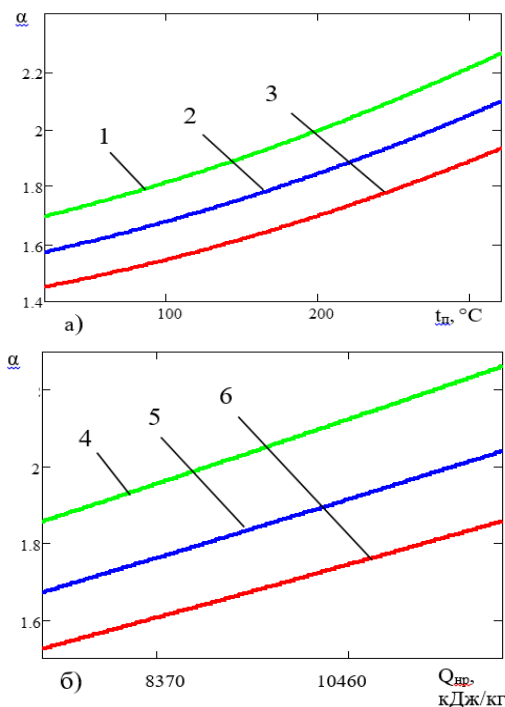


Рис. 5 – Графічна інтерпретація залежності $\alpha = f_3(t_n, Q_n)$ для значення $k_{\text{пир}}=0.735$

а) для фіксованих значень теплоти згоряння ТПВ, кДж/кг
1 – $Q_{\text{нр}}=11000$, 2 – $Q_{\text{нр}}=9000$, 3 – $Q_{\text{нр}}=7000$;
б) для фіксованих значень температури підігріву повітря, °C
4 – $t_{\text{н}}=280$, 5 – $t_{\text{н}}=180$, 6 – $t_{\text{н}}=80$

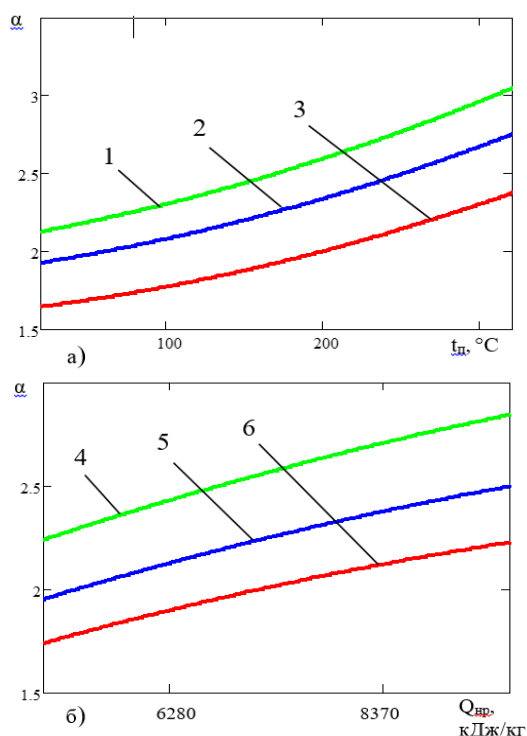


Рис. 6 – Графічна інтерпретація залежності $\alpha = f_3(t_n, Q_n)$ для значення $k_{\text{пир}}=0.9$

а) для фіксованих значень теплоти згоряння ТПВ, кДж/кг
1 – $Q_{\text{нр}}=10000$, 2 – $Q_{\text{нр}}=7500$, 3 – $Q_{\text{нр}}=5000$;
б) для фіксованих значень температури підігріву повітря, °C
4 – $t_{\text{н}}=280$, 5 – $t_{\text{н}}=180$, 6 – $t_{\text{н}}=80$

Для всіх отриманих рівнянь регресії виконується умова $F < F_{\alpha}$, тобто з точки зору математичної статистики всі отримані рівняння є адекватними. Аналіз отриманих рівнянь та їх графічної інтерпретації також свідчить про їх відповідність логіці протікання процесу – при номінальному тепловому навантаженні котла, що спалює ТПВ, а отже й топки ($k_{\text{пир}}=0,735$) умови підтримання заданого температурного рівня в топці є більш важкими, тобто за інших рівних умов необхідно мати більші значення теплоти згоряння ТПВ, або менші значення коефіцієнтів витрати повітря, або більші значення температури підігріву повітря.

За допомогою отриманих рівнянь зручно визначати умови, за яких є можливість проводити процес спалювання ТПВ без використання додаткового палива. Цей науковий інструментарій є корисним як на стадії проектування обладнання для спалювання ТПВ та попереднього складання технологічних карт, так і в якості основи алгоритму, на базі якого можна проводити автоматичне керування процесом.

Висновки

Отримано дві серії рівнянь регресії для номінального теплового навантаження котла, що спалює ТПВ, ($k_{\text{пир}}=0,735$) та сталого зниженого навантаження ($k_{\text{пир}}=0,9$), які встановлюють залежності необхідної теплоти згоряння ТПВ для забезпечення необхідного температурного рівня в топці для заданих значень коефіцієнту витрати повітря та температури підігріву повітря; необхідної температури підігріву ТПВ для забезпечення необхідного температурного рівня в топці для заданих значень коефіцієнту витрати повітря та теплоти згоряння ТПВ; необхідного коефіцієнту витрати повітря для забезпечення необхідного температурного рівня в топці для заданих значень температури підігріву повітря та теплоти згоряння ТПВ. Адекватність отриманих рівнянь регресії обґрунтовано за допомогою методів математичної статистики.

Отримані рівняння є корисним інструментом для визначення умов роботи топки, за яких є можливість проводити процес спалювання ТПВ без використання додаткового палива.

Список літератури:

1. Тугов, А.Н. Опыт США в области использования энергетического потенциала твердых бытовых отходов [Текст] / А.Н. Тугов, Ю.В. Вихрев // Энергетик. – 2009. – № 11. – С. 25-29.
2. Магера, Ю.М. Концепция развития «Завода «Энергия»: ТЭЦ на ТБО [Текст] / Ю.М. Магера // Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики: Сборник трудов Института промышленной экологии. – К.: ИПЦ Алкон НАН Украины, 2016. – С. 208-211.
3. Komilis, D. Effect of organic matter and moisture on the calorific value of solid wastes: An update of the Tanner diagram [Текст] / D. Komilis, K. Kissas, A. Symeonidis // Waste Management. – 2014. – Volume 34, Issue 2. – pp. 249-255.
4. Liu, A. A review of municipal solid waste environmental standards with a focus on incinerator residues [Текст] / Alic Liu, Fei Ren, Wenlin Yvonne and others // International Journal of Sustainable Built Environment. – 2015. – Volume 4, Issue 2. – pp. 165-188.
5. Warnatz, J. Combustion: Physical and Chemical Fundamentals, Modeling and Simulation, Experiments, Pollutant Formation [Текст] / J. Warnatz, U. Maas, R. W. Dibble. – Springer, 2006. – 378 p.
6. Miller, J.A. Mechanism and modeling of nitrogen chemistry in combustion [Текст] / J.A. Miller, C.T. Bow-

man // Progress in Energy and Combustion Science. – Elsevier, 1989. – Vol. 15, no. 4. – P. 287–338. 6. Konnov, A.A. NO_x Formation, Control and Reduction Techniques (англ.) Handbook of Combustion. Volume 2: Combustion Diagnostics and Pollutants [Текст] / A.A. Konnov, M.T. Javed, H. Kassman, N. Irfan. – Wiley, 2010. – P. 439–464. 7. Магера, Ю.М. Создание расчетной модели процессов сжигания твердых бытовых отходов [Текст] / Ю.М. Магера // Промышленная теплотехника. – т.38. – №6. – С. 51–59. 8. Enkhjargal, Kh. Mathematical modeling of the heat treatment and combustion of a coal particle. Volatile escape stage [Текст] / Kh. Enkhjargal, V. V. Salomatov // Journal of Engineering Physics and Thermophysics May 2011. – Volume 84. – Issue 3. – pp. 638–647. 10. Бирюков, А.Б. Сжигание и термическая переработка органических топлив. Твердое топливо : учеб. пособ. для вузов [Текст] / А.Б. Бирюков, И.П. Дробышевская, Ю.Е. Рубан; ГВУЗ «ДонНТУ». – Донецк: Изд-во «Ноулидж». Донецкое отд-ние, 2014. – 232 с.

Bibliography (transliterated):

1. Tugov, A.N., Vihrev, Ju. V. (2009). Opyt SSHa v oblasti ispol'zovaniya jenergeticheskogo potentsiala tverdyh bytovykh othodov. Jenergetik, 11, 25–29. 2. Magera, Ju. M. (2016). Konceptiya razvitiya «Zavoda «Jenergiya»: TJeC na TBO. Problemy jekologii i jekspluatacii obektov jenergetiki: Sbornik trudov Instituta promyshlennoj jekologii. – K.: IPC Alkon NAN Ukrainy, 208–211. 3. Komilis, D., Kissas, K., Symeonidis, A. (2014). Effect of organic matter and moisture on the calorific value of solid wastes: An update of the Tanner diagram. Waste Management, 34, 2, 249–255. 4. Liu, A., Ren, F., Yvonne, W.

(2015). A review of municipal solid waste environmental standards with a focus on incinerator residues. International Journal of Sustainable Built Environment, 4, 2, 165–188. 5. Warnatz, J., Maas, U., Dibble, R.W. (2006). Combustion: Physical and Chemical Fundamentals, Modeling and Simulation, Experiments, Pollutant Formation. Springer, 378 p. 6. Miller, J.A., Bowman, C.T. (1989). Mechanism and modeling of nitrogen chemistry in combustion. Progress in Energy and Combustion Science. Elsevier, 15, 4, 287–338. 7. Konnov, A.A., Javed, M.T., Kassman, H., Irfan, N. (2010). NO_x Formation, Control and Reduction Techniques (англ.) Handbook of Combustion. Volume 2: Combustion Diagnostics and Pollutants, Wiley, 439–464. 8. Magera, Ju.M. Sozdanie raschetnoj modeli processov szhiganiya tverdyh bytovykh othodov. Promyshlennaja teplotehnika, 38, 6, 51–59. 9. Enkhjargal, Kh., Salomatov V.V. (2011). Mathematical modeling of the heat treatment and combustion of a coal particle. Volatile escape stage. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 84, 3, 638–647. 10. Birjukov, A.B., Drobyshevskaja, I.P., Ruban, Ju.E. (2014) Szhiganiye i termicheskaja pererabotka organicheskikh topliv. Tverdoe toplivo : ucheb. posob. dlja vuzov, GVUZ «DonNTU», Doneck: Izd-vo «Noulidzh». Doneckoe otd-nie, 232.

Надійшла (received) 14.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Визначення умов, що дозволяють проводити спалювання низькокалорійних ТПВ без використання додаткового палива / Ю. М. Магера // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – No 31 (1253). – С. 123 – 127. Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2224-0349.

Определение условий, что позволяют проводить сжигание низькокалорийных ТБО без использования дополнительного топлива / Ю. М. Магера // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – No 31 (1253). – С. 123 – 127. Библиогр.: 5 назв. – ISSN 2224-0349.

Determination of the conditions for combustion of low calorific SHO without the use of additional fuel / Y. M. Magera // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Energetics: reliability and energy efficiency. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2017. – No 31 (1253). – P. 123 – 127. Bibliogr.: 5. – ISSN 2224-0349.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Магера Юрій Михайлович – аспірант ІТТФ НАН України, м. Київ; тел.: (044) 456-62-82; e-mail: YMMagera@gmail.com.

Магера Юрий Михайлович - аспирант ИТТФ НАН Украины, Киев; тел.: (044) 456-62-82; e-mail: YMMagera@gmail.com.

Magera Yuriy – postgraduate student of IETP NAS Ukraine, tel: +380444566282; e-mail: YMMagera@gmail.com