

ВІДГУК

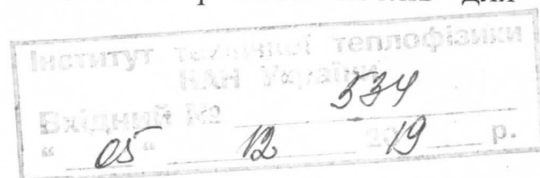
офіційного опонента

на дисертаційну роботу Магери Юрій Михайловича «Підвищення ефективності термічної інсінерації твердих побутових відходів», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 –
Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

Дисертацією Ю.М. Магери є рукопис, що складається з анотації на українській та англійській мовах, вступу, чотирьох основних розділів, загальних висновків, списку використаних джерел зі 122 найменувань та додатків на 21 сторінці. Загальний текст роботи викладений на 139 сторінках і включає 35 рисунків та 16 таблиць.

Актуальність теми

За останні десятиліття технологія спалювання твердих побутових відходів (ТПВ) в світі досягла значного розповсюдження. При цьому домінує спалювання ТПВ в щільному шарі на решітках. У більшості країн акцент ставиться не просто на інсінерацію (вогневе знешкодження) ТПВ, а на виробництво електроенергії та теплоти для ТЕЦ на ТПВ. В умовах України технологія спалювання ТПВ має низку істотних особливостей, пов'язаних з низькою і нестабільною теплотою згоряння ТПВ. Для використання ТПВ як можливого палива для виробництва теплової і електричної енергії на ТЕЦ необхідні теоретичні та конструкторські розробки, які відповідають українським реаліям і комплексно розглядають спалювання ТПВ з технологічної та екологічної точок зору. Потрібні рішення в галузі моделювання для підтримки проектування пристроїв зі спалювання ТПВ. Окремий клас моделей необхідний для налагодження роботи котлів для



спалювання ТПВ, і для роботи в якості компонента прогнозного управління або системи діагностики.

Дисертаційна робота Ю.М. Магери відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки й техніки, затвердженими Верховною Радою України, а саме – «Енергетика та енергоефективність» та «Раціональне природокористування».

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів, висновків та положень забезпечуються використанням повіреного вимірювального обладнання з переліків, рекомендованих чинними нормативними актами, застосуванням загальноприйнятих методик розрахунків, коректністю прийнятих у розрахунках припущень, прийнятною збіжністю експериментальних та теоретичних результатів.

Всі розділи дисертації логічно взаємопов'язані, змістовно підпорядковані сформульованій меті дослідження.

Наукова новизна роботи

- розроблено спосіб визначення кількості теплоти, що виділяється при спалюванні ТПВ, за допомогою котла-калориметра, щоб визначити витрату природного газу на підсвічування для забезпечення необхідного локального температурного рівня в паливні;
- визначено необхідні витрати природного газу для підсвічування при спалюванні ТПВ з теплотою згоряння нижче 6900 кДж/кг. На прикладі МСЗ «Енергія» показано, що для ТПВ з теплотою згоряння 5230 кДж/кг і типових значень коефіцієнта витрати повітря і температури його підігріву необхідна витрата газу на підсвічування становить 0.08 м³/кг ТПВ;

- вперше для умов сміттєспалювального заводу визначена залежність впливу витрати повітря і температури його підігріву на температурний стан паливні;
- вперше для визначення і мінімізації витрат природного газу на підсвічування розроблений підхід, в рамках якого отримані рівняння регресії, що встановлюють взаємні залежності між теплотою згорання ТПВ, коефіцієнтом надлишку повітря і температурою його підігріву.
- створено алгоритм для визначення в режимі реального часу вмісту основних горючих елементів і теплоти згорання ТПВ. Алгоритм використовує дані засобів вимірювання про концентрацію основних компонентів продуктів згорання і питомої витрати повітря і дозволяє розраховувати необхідну витрату газу і коефіцієнт корисної дії котла.

Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення отриманих результатів дисертаційної роботи полягає в наступному:

- створено спосіб для прямого визначення тепловиділення при спалюванні ТПВ в умовах котла-калориметра. Реальні значення теплоти згорання ТПВ дозволяють попередньо визначати параметри технології спалювання і створювати алгоритми автоматичного керування тепловою роботою обладнання зі спалювання ТПВ на ТЕЦ;
- створена розрахункова модель дозволяє визначати кількість природного газу, необхідного для підсвічування при спалюванні ТПВ з низькою теплотою згорання. Це дозволяє проводити оцінку економічної доцільності будівництва ТЕЦ на ТПВ в різних регіонах України з урахуванням вартості природного газу та собівартості енергоресурсів;

- виконані експериментальні та розрахункові дослідження для умов сміттєспалювального заводу «Енергія», Київ. Використання заходів, запропонованих в роботі, дозволило знизити використання природного газу, що підтверджується листом №047 / 01-518 від 10.08.2017.

Редакційний аналіз

Текст дисертації та автореферату викладено чітко, послідовно і доступно, рисунки інформативні, читання формул не викликає труднощів. Оформлення дисертації відповідає наказу Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 року № 40. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій» та ДСТУ 3008:2015 «Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлювання».

Відповідність тексту автореферату і дисертації

Текст автореферату в цілому адекватний змісту, структурі та основним положенням дисертації.

Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях

За матеріалами дисертації опубліковано 7 наукових праць, у тому числі: 6 статті в спеціалізованих фахових наукових виданнях, включених у перелік МОН України, а також 1 стаття у виданні, яке включено до науко-метричної бази даних SCOPUS.

Аналіз основного змісту роботи

Дисертаційна робота присвячена підвищенню ефективності спалювання твердих побутових відходів з низькою і нестабільною теплотою згоряння, зниженню витрату природного газу на підсвічування за допомогою вибору раціональних технологічних параметрів роботи обладнання за умови дотримання вимог екологічної безпеки.

Перший розділ присвячений аналітичному огляду технологій спалювання твердих побутових відходів. За результатами аналізу, проведеного з використанням розроблених технічних, технологічних, екологічних і соціально-економічних критеріїв, показано, що для українських умов спалювання в шарових топках практично несортованих ТПВ з мінімальною їх підготовкою є найбільш доцільним і економічно обґрунтованим способом термічної утилізації ТПВ на доступну для огляду перспективу. Однією з найбільших проблем при спалюванні ТПВ в українських умовах є низькі значення теплоти згоряння. При зміні теплоти згоряння вихідного ТПВ може з'являтися необхідність в спалюванні додаткового висококалорійного палива (зазвичай, 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 низькою теплотою згоряння ТПВ, мінімізувати витрати природного газу або забезпечити стійке горіння навіть без його використання.

В результаті аналізу існуючих методів визначення теплоти згоряння ТПВ отримано висновок про необхідність розробки методики прямого визначення теплоти згоряння ТПВ. Найважливішим аспектом для дотримання як технологічних так і екологічних вимог є підтримка температури в паливні не менше 850 °С. Тому необхідним для проектування обладнання та налагодження роботи існуючого є створення розрахункової методики для

складання матеріальних теплових балансів, що дозволяє розглядати як процес спалювання ТПВ, так і ТПВ спільно з додатковим паливом.

За допомогою цієї методики доцільно дослідити вплив теплотехнічних характеристик процесу (склад і теплота згоряння ТПВ, коефіцієнт витрати повітря) на необхідність спалювання додаткового палива та температурний рівень процесу, а також встановити залежності, що дозволяють для довільних умов визначити чи є можливим спалювання ТПВ без додаткового палива і якщо можливе, то визначити технологічні параметри процесу.

Необхідно також розробити систему діагностики, яка дозволяє визначати склад і теплоту згоряння ТПВ в залежності від складу продуктів згоряння, що залишають котел-утилізатор, а також відпрацювати можливість визначення рівня енергоефективності процесу спалювання ТПВ та виробництва енергоносіїв на базі розрахункової обробки в реальному часі результатів роботи системи діагностики.

У **другому розділі** наведено розроблену методику та визначені технічні засоби проведення експериментальних досліджень з прямого визначення тепловиділення при спалюванні довільних наважок твердих побутових відходів. Її сутність полягає в прямому спаленні наважки ТПВ визначеної маси в котлі-калориметрі, та визначенні загальної теплоти, що виділилась при спалюванні на базі розрахункового оброблення показань вимірювальних приладів за опрацьованим розрахунковим алгоритмом та встановленні теплоти, що відповідає спаленню 1 кг ТПВ. Методику перевірено на прикладі встановлення теплоти згоряння наважки ТПВ довільного відомого морфологічного стану шляхом порівняння експериментально визначеної теплоти згоряння з розрахунковою, яке відповідає складу наважки. Похибка експериментального визначення теплоти згоряння становить не більше 4%.

Розроблено розрахункову модель процесу спалювання ТПВ, основними елементами якої є блоки з побудови матеріальних балансів спалювання ТПВ,

природного газу, спільного спалювання ТПВ та природного газу і теплового балансу паливні котла, що спалює ТПВ. Створена модель дозволяє вирішувати задачу визначення в кожному конкретному випадку необхідності спалювання додаткового палива для забезпечення можливості горіння ТПВ та заданого рівня температури в паливні котла. При необхідності спалювання додаткового палива опрацьовано можливість визначення його необхідної витрати. Також створена модель дозволяє досліджувати вплив технологічних (наприклад, коефіцієнт витрати повітря) та конструктивних параметрів (вони враховуються через коефіцієнт k_{nir}) на умови спалення ТПВ, зокрема на температурний рівень в паливні. Така методика є корисним інструментом на стадії проектування обладнання для спалювання ТПВ, при налагодженні та пошуку технологічних параметрів для існуючого обладнання.

В третьому розділі дисертації наведено результати експериментального дослідження процесів спалювання ТПВ заданого складу за допомогою котла-утилізатора, що моделює спалювання ТПВ в умовах щільного шару на механізованих решітках. Було створено модельні палива, які відповідають морфологічному складу ТПВ в 4 часових сезонах, для спалювання в лабораторному котлі КС-ТГВ-12,5 з підсвічуванням природним газом. Для кожного сезону готувалося по 2 партії наважок: одна – з максимальною вологістю, друга – з рівнем вологості в повітряно-сухому стані. Для жодного з досліджених варіантів на базі експериментального котла-калориметра не вдалося реалізувати автономне горіння ТПВ, хоча з точки зору діаграми Таннера для використаного складу ТПВ в повітряно-сухому стані воно є можливим. Це вказує на залежність можливості реалізації автономного горіння від технології спалювання і відповідних специфічних технічних можливостей обладнання, зокрема достатньої теплової інерції котла, температури підігріву повітря тощо. Для скорочення використання додаткового палива при спалюванні ТПВ, та підвищення ефективності використання енергетичного потенціалу ТПВ, необхідно проводити спалювання ТПВ з меншим вмістом

вологи шляхом використання дренажу в бункері та підсушування ТПВ перед подаванням в котел з використанням зокрема теплоти димових газів тощо. Було обґрунтовано вплив температури підігріву повітря та витрати повітря на процес спалювання ТПВ.

Отримано дві серії рівнянь регресії для номінального теплового навантаження котла, що спалює ТПВ, ($k_{nir} = 0.735$) та сталого пониженого навантаження ($k_{nir} = 0.9$), які встановлюють залежності необхідної теплоти згоряння ТПВ для забезпечення необхідного температурного рівня в паливні для довільних значень коефіцієнту витрати повітря та температури підігріву повітря; необхідної температури підігріву ТПВ для забезпечення необхідного температурного рівня в паливні для довільних значень коефіцієнту витрати повітря та теплоти згоряння ТПВ; необхідного коефіцієнту витрати повітря для забезпечення необхідного температурного рівня в паливні для довільних значень температури підігріву повітря та теплоти згоряння ТПВ. Адекватність отриманих рівнянь регресії обґрунтовано за допомогою методів математичної статистики.

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячений системі моніторингу спалювання ТПВ та визначенню рівня енергоефективності процесу. Було розроблено алгоритм визначення складу та теплоти згоряння ТПВ на основі даних про витрату повітря і концентрацію вуглекислого газу CO_2 , кисню O_2 та водяної пари H_2O у димових газах (рішення зворотної задачі).

У роботі успішно вирішена науково-прикладна задача підвищення ефективності термічного перероблення твердих побутових відходів. Подання матеріалу в логічній послідовності з обґрунтуванням та узагальненням результатів у вигляді висновків сприяє її сприйняттю як цілісного дослідження. Всі розділи дисертації логічно взаємопов'язані та змістовно підпорядковані сформульованій меті дослідження.

Зміст дисертації відповідає напрямкам досліджень за спеціальністю 05.14.06 «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика».

Зауваження до дисертації

Водночас із позитивною оцінкою результатів дослідження вважаю за доцільне висловити окремі зауваження та побажання:

1. Доцільно перенести пункт розділу Наукова новизна «2. Визначено необхідні витрати природного газу для підсвічування при спалюванні ТПВ з теплотою згоряння нижче 6900 кДж/кг. На прикладі МСЗ «Енергія» показано, що для ТПВ з теплотою згоряння 5230 кДж/кг і типових значень коефіцієнта витрати повітря і температури його підігріву необхідна витрата газу на підсвічування становить 0.08 м³/кг ТПВ» до Практичного значення отриманих результатів.
2. Практичне значення має не витрата природного газу (0.08 м³/кг ТПВ), а величина енергії на підсвічення (в МДж/кг ТПВ).
3. У Вимогах про оформлення дисертацій (наказ МОН України № 40 від 12.01.2017 р. мова має йти не про Практичну цінність, а про Практичне значення отриманих результатів дисертаційної роботи. У Вимогах про оформлення дисертацій вказано про Список використаних джерел, а не Перелік використаних джерел (як в дисертації).
4. На стор. 24 дисертації вказано: «Розроблена розрахункова модель дозволяє визначати кількість природного газу, необхідного для підсвічування при спалюванні ТПВ з низькою теплотою згоряння...», але вказано розрахункова модель чого?

5. Чому в розділі 2 не розглядається утворення чадного газу CO (наявності хімічного недопалу), що є характерним для котлів з колосниковими решітками?
6. Який фізичний зміст має коефіцієнт пропорційності між калориметричною та дійсною температурами (k_{nir})?
7. На рис. 3.4 дисертаційної роботи (стор. 98) приведено залежність питомої витрати природного газу на підсвічування від теплоти згоряння ТПВ (для умов заводу «Енергія»), але не вказано експериментальних точок, характерних для роботи котлів заводу «Енергія».
8. Згідно Директиви 2010/75/ЄС про промислові викиди при спалюванні ТПВ обов'язково має застосовуватися додаткове паливо (для «підсвічення»), але в розділі 4 такий варіант не розглядається. Тому доцільно внести зміни в розрахунки елементного вмісту ТПВ, теплоти згоряння та енергоефективності.
9. Мала кількість використаних джерел, надрукованих англійською мовою.

Вказані зауваження носять непринциповий характер і не знижують загальної високої оцінки дисертаційної роботи Магери Ю.М. та можуть бути враховані у подальшій науковій роботі автора.

Висновок про відповідність дисертації вимогам Постанови Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. №567 «Про Порядок присудження наукових ступенів» пп. 9, 11, 12, 13

Дисертаційна робота Магери Юрія Михайловича «Підвищення ефективності термічної інсінерації твердих побутових відходів» є повністю завершеною науково-дослідною працею, яка виконана особисто автором і вносить суттєвий вклад у вирішення надзвичайно важливої для України задачі

– підвищенню ефективності термічного перероблення твердих побутових відходів. За актуальністю, науковою новизною, практичною значимістю, обґрунтованістю та достовірністю основних наукових положень, висновків та рекомендацій дисертаційна робота відповідає всім вимогам пп. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, що висуваються до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата наук. Робота повністю відповідає паспорту спеціальності 05.14.06 – «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика», а також профілю спеціалізованої вченої ради Д 26.224.01.

Вважаю, що автор дисертаційної роботи «Підвищення ефективності термічної інсінерації твердих побутових відходів» Магера Юрій Михайлович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Офіційний опонент,
докт. техн. наук, ст. наук. співр.,
заступник директора з наукової роботи
Інституту вугільних енерготехнологій
НАН України


І.А. Вольчин

Підпис Вольчина Ігоря Альбіновича засвідчую:
вчений секретар Інституту вугільних
вугільних енерготехнологій НАН України
канд. техн. наук




І.Л. Голенко