

УДК 662.92

С. П. ПОЛЯКОВ, д-р техн. наук, проф.; проф. Черкаського державного технологічного університету;
Г. Е. КАЛЕЙНИКОВ, канд. техн. наук, доц.; доц. Черкаського державного технологічного університету

СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ НА БАЗІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ МАСТИЛ

В работе предложен способ отопления с использованием теплоты процесса комбинированного сжигания в двухфазном потоке водных эмульсий отработанных моторных масел и пиролизного газа. Проведено моделирование процессов горения эмульсий. Подобраны рациональные режимы горения и определен состав пиролизного газа. Установлено, что при определенных соотношениях объемов избыточного воздуха и водяного пара, который испаряется из эмульсии, в составе уходящих газов отсутствуют H_2 и CO , т.е. наблюдается полное сгорание.

Ключові слова: відпрацьовані мастила, горіння, емульсії, піроліз.

Вступ. Спалювання відпрацьованих мастил (ВМ) – це актуальна проблема. Виникають великі витрати щодо утримання пунктів збору, зберігання, транспортування та переробки. З іншого боку відпрацьовані мастила є джерелом теплової енергії, придатної для опалення суспільних і виробничих приміщень. При спалюванні ВМ виділяється до 35 МДж/літр теплової енергії.

Авторами запропоновано спосіб спалювання ВМ у вигляді водо-мастильної емульсії в потоці піролізного газу. Однак, класичний піроліз не дозволяє повною мірою запобігти утворенню небезпечних сполук на виході з топки.

Аналіз основних досягнень та літератури. На сьогоднішній день у світі існує багато патентованих способів і обладнання для утилізації низькосортного палива: SU 1548601, A1, 07.03.1990; RU 2079051, C1, 10.05.1997; RU 2227251, C2, 20.04.2004; US 4291636, 29.09.1981, UA 59465, C2, 15.09.2003. На ринку представлено достатньо ефективних пальників та пічок для спалювання попередньо фільтрованого ВМ, однак вартість обладнання значна, в результаті частина мастила спалюється в непристосованих котельних та печах.

Виробники обладнання замовчують проблеми екології процесу спалювання ВМ: відбувається викид в атмосферу шкідливих речовин. За світовими вимогами природоохоронних стандартів вміст у газових викидах шкідливих речовин має бути: пилу – не більше 10 мг/м^3 , SO_2 – 50, HCl – 10, HF – 1, CO – 50, NO_x – 200, діоксинів – $0,1 \text{ нг/м}^3$. Вміст оксидів важких металів не повинен перевищувати 3 мг/м^3 , у тому числі кадмію, ртуті, свинцю – по $0,1 \text{ мг/м}^3$.

Метою роботи є теоретичні та експериментальні дослідження процесу піролізного спалювання мастил з метою створення наукової бази для вдосконалення способу високотемпературного піролізу з урахуванням усіх недоліків.

Матеріали дослідження. Авторами було проведено аналіз сучасних технологій спалювання ВМ. В результаті було виявлено наступні еколого-економічні недоліки:

1) При спалюванні в атмосферу викидається високодисперсний пил ($1-2 \text{ кг/м}^3$ ВМ) і шкідливі гази.

До складу високодисперсної леткої золи входять мінеральні частки й незгорілі частки органічних речовин. Газоподібні викиди складаються з: діоксида вуглецю CO_2 і водяних парів, сполук важких металів, продуктів неповного згорання, а саме поліароматичні та галогенізовані вуглеводні.

© С.П. Поляков, Г.Е. Калейніков, 2014

2) При спалюванні утворюється зола (до 7 % від маси ВМ), забруднена важкими металами.

3) Спалювання – це високо технологічний складний процес, який потребує складного багаторівневого очисного обладнання через підвищені санітарні норми.

4) Необхідне попереднє відстоювання після транспортування, відділення осаду, води та антифрізу.

5) Великі капітальні та експлуатаційних витрати на котельне обладнання та системи повітряочищення.

При спалюванні 1 т ВМ утворюється близько 7 тис. м³ димових газів, у яких містяться оксиди азоту й сірки, хлористий водень, поліароматичні вуглеводні, хлорбензоли й важкі метали. Важкі метали, які сорбуються частками леткої золи, у середньому містять: алюмінію – 3,1 мг/м³; цинку – 2,7; свинцю – 1,6; міді – 0,15; хрому – 1,4.

Останнім часом у світовій практиці підвищена увага приділяється термохімічним процесам спалювання, а саме піролізу, як найбільш досконалому технічно та безпечному екологічно [1–6]. Цей спосіб порівняно з іншими має ряд переваг: швидкість реакцій зростає експоненціально зі збільшенням температури, у той час як теплові втрати зростають лінійно, тому відбувається більш інтенсивне перетворення вихідних складу ВМ; відбувається більш повний вихід летких продуктів; кількість залишку після закінчення процесу зменшується. Однак є багато недоліків: руйнування високотоксичних сполук усередині котла, не запобігає повторному їх синтезу за його межами, необхідне додаткове очищення газів за допомогою сорбційних установок.

За методом піролізу «*Torrax*» паливо подають зверху в котел і під впливом сили ваги воно послідовно проходить зони сушіння, піролізу, первинного горіння та плавлення.

Розкладання органічної частини сировини в зоні піролізу відбувається практично без доступу вільного кисню завдяки теплу висхідного потоку гарячих газів із зони первинного горіння та плавлення. У нижній частині котла відбувається горіння твердих вуглецевмісних продуктів, саме сюди подається підігріте до температури 1100 °С повітря. Температура, необхідна для плавлення неорганічних компонентів, у цій зоні досягає 1650 °С. Утворений розплав безперервно виводиться з реактора в жужільну ванну, а газоподібні продукти піролізу при температурі (430–480) °С виводяться з реактора й направляються до камери спалювання.

В описаному способі введення тепла в котел виключити влучення вільного кисню в зону піролізу можна тільки при спалюванні палива з нестачею кисню, тому одержати стабільно високі температури, які забезпечували б розплавлення всіх неорганічних компонентів, за таких умов важко, у зв'язку з чим не всі мінеральні компоненти відходів розплавляються. За рахунок цього дестабілізується процес у цілому.

Газоподібні продукти піролізу, які виводяться з котла при температурі (430–480) °С, непридатні для безпосереднього використання через велику кількість масел, вологи, інших окислювачів. Для одержання товарного енергетичного газу проводять його багаторівневе очищення й у результаті одержують газ, який містить: водню – 11,2 %; метану – 1,9; інших вуглеводнів – 0,8; оксиду вуглецю – 10,3, докисиду вуглецю – 10,5; кисню – 3 і азоту – 62,3 %. Такий хімічний склад газу свідчить про низьку його якість, що обумовлено високим вмістом баластових домішок (N₂, CO₃) і складних вуглеводнів, до складу яких входить бензапірен (C₂₀H₁₂), тому

поліпшити якість газу й очистити його від шкідливих хімічних домішок за даним методом неможливо.

За методом «*Purox*» відходи також подаються у верхню частину котла, а в нижню його частину вдувається кисень, а не повітря. При взаємодії кисню із твердим вуглецевмісним залишком піролізу одержують робочу температуру в нижній зоні реактора – 1650 °С. Така температура забезпечує плавлення неорганічних компонентів відходів, а гарячі газу, які виходять у результаті горіння вуглецевого залишку, піднімаючись нагору по висоті реактора, забезпечують піроліз відходів і їх сушіння. Із зони піролізу газ відсмоктується при температурі близько 100 °С, з високим вмістом вологи, масел та інших баластових компонентів, тобто газ непридатний для безпосереднього використання. Після багаторівневого очищення газ вміщує: водню – 24 %; оксиду вуглецю – 40; метану – 5,6; інших вуглеводнів – 5,4; діоксида вуглецю – 24 і азоту – 1 %.

Наявність великої кількості токсичних домішок у газі при виході з зони піролізу обумовлене утворенням при температурах (200–300) °С токсичних сполук у суміші з іншими леткими, тому що, піднімаючись вгору назустріч паливу, що подається згори, і частково охолонувши, виводяться з реактора, без хімічних перетворень, а температурні умови для подальшого їх розкладання відсутні. При цьому неможливо: забезпечити стабільне плавлення неорганічних компонентів довільного хімічного складу без порушення технологічних основ процесу піролізу; запобігти розведенню вироблюваного газу маслами, вологою та окислювачами; забезпечити знешкодження утворених у процесі піролізу токсичних сполук, поліпшити якість виробленого енергетичного газу, а також підвищити стабільність перебігу процесу і його екологічну безпеку.

Метод «Піроксел» базується на таких процесах, як «сушіння» – «піроліз» – «спалювання» – «електрошлакова обробка» – «хіміко-термічне знешкодження газів». Дана технологія має ряд переваг: високотемпературна обробка палива без попереднього фільтрування, практично не залишається відходів після переробки, які необхідно окремо захоронити. Також є в цій технології і недоліки: переробка невеликих обсягів відходів і велика витрата електричної енергії.

Результати дослідження. Авторами запропоновано проводити спалювання розпиленої водо-мастильної емульсії в закрученому двухфазному потоці піролізного газу. ВМ вводиться в топку до зони піролізу для розкладання органічної складової. Оптимальна концентрація водної фази складає (12–15) %. Управляючі параметри процесу горіння наступні:

– відношення об'єму надлишкового повітря до об'єму водяної пари, що випаряється із емульсії (коефіцієнт a);

– внутрішні джерела теплової енергії, які впливають на робочу температуру реакцій, які відбуваються, на границі окислювально-відновлювальної зони.

Проведено математичне моделювання – за заданим значенням управляючих параметрів і відомим елементним складом відпрацьованого мастила (ВМ). Математична модель будується на основі балансу складових ВМ, заданого коефіцієнта a й рівнянь Гіббса для термодинамічної рівноваги реакцій, які відбуваються, в окислювально-відновлювальній зоні при фіксованій температурі.

Отримані моделі дозволили вибрати «раціональні» режими перебігу процесів горіння емульсій з ВМ та визначити склад піролізного газу при заданій температурі процесу.

Для прикладу розрахунку візьмемо ВМ із вологістю 15 %. Остаточний розподіл мольного складу генераторного газу при температурі 1300 °С у цьому випадку:

CO	CO ₂	H ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂	<i>a</i>
7,16	9,11	9,62	12,88	–	55,21	13,0

З аналізу отриманих рівнянь випливає, що існують такі значення коефіцієнта *a*, при якому в складі газу відсутні H₂ та CO – спостерігається повне горіння. Розглянуті наближені розв'язання є опорними при подальшому розв'язанні ітераційними методами нелінійної розширеної системи рівнянь матеріального балансу хімічних рівнянь в умовах термодинамічної рівноваги.

Висновки. Запропонований авторами спосіб утилізації відпрацьованих мастил має значну перспективу. Спалювання мастил у потоці піролізного газу дає можливість підвищити теплотехнологічну ефективність процесу утилізації в 1,3–1,5 разів при забезпеченні екологічних норм.

Список літератури: 1. Diaz, L. F. Solid Waste Management for Economically Developing Countries [Text] / L. F. Diaz, G. M. Savage, L. L. Eggerth, C. G. Golueke. – Copenhagen: International Solid Waste Association, 1996. 2. Касимов, А. М. Управление промышленными отходами [Текст]: в 2-х книгах / А. М. Касимов. – Х.: Центр управления промышленными отходами, 2000. – Кн. 2. Технологии обезвреживания и утилизации промышленных отходов. – 277 с. 3. Горда, В. И. Экологические аспекты высокотемпературного пиролиза стойких органических токсинов при утилизации ТПВ [Текст] / В. И. Горда // Развитие, приоритеты, реализация та перспективи процесу. Довкілля для Європи // Збірка доповідей наук.-практ. конф. / Держуправління екології та природних ресурсів України в Донецькій області, Донецька філія ДППК Мінекоресурсів України. – Донецьк, 2004. – Т. 1. – С. 103–105. 4. Костенко, В. Ф. Особенности пиролизной переработки органических отходов [Текст] / В. Ф. Костенко, С. В. Разметаев, И. В. Белявская, Н. В. Павленко // Відходи виробництва та споживання: II Міжнар. конф. з питань поводження з відходами виробництва та споживання. Київ, 25–27 квіт. 2007 р. – К., 2007. – С. 66–69. 5. Park, K. J. Control of Composting Odour Using Biofiltration [Text] / K. J. Park, M. H. Choi, J. H. Hong // Compost Science & Utilization. – 2002. – Vol. 10, № 4. – P. 356–362. 6. Сигал, И. Я. Особенности сжигания биогаза полигонов в котлах [Текст] / И. Я. Сигал, А. В. Марковский // Проблеми збору, переробки та утилізації відходів: V Міжнар. наук.-практ. конф. Одеса, 8–9 квітня 2004 р. – Одеса: ОЦНТЕІ, 2004. – С. 358–361.

Bibliography (transliterated): 1. Diaz, L. F., et al. *Solid Waste Management for Economically Developing Countries*. Copenhagen: International Solid Waste Association, 1996. Print. 2. Kasimov, A. M. *Upravlenie promyshlennymi othodami. Kn. 2. Tehnologii obezvrezhivaniya i utilizacii promyshlennyh othodov*. – Kharkov: Centr upravleniya promyshlennymi othodami, 2000. Print. 3. Gorda, V. I. "Jekologicheskie aspekty vysokotemperaturnogo pirolizu stojkih organicheskikh toksinov pri utilizacii TPV." *Rozvytok, priorytety, realizacija ta perspektivy procesu. Dovkillja dlja Jevropy: zbirka dopovidej nauk.-prakt. konf. Derzhupravlinnja ekologii' ta pryrodnyh resursiv Ukraïny v Donec'kyj oblasti, Donec'ka filija DIPK Minekoresursiv Ukraïny*. Vol. 1. Donec'k, 2004. 103–105. Print. 4. Kostenko, V. F., et al. "Osobennosti piroliznoj pererabotki organicheskikh othodov." *Vidhody vyrobnyctva ta spozhyvannja: II Mizhnar. konf. z pytan' povodzhennja z vidhodamy vyrobnyctva ta spozhyvannja. Kiev, 25 – 27 April 2007. Kiev, 2007. 66–69. Print. 5. Park, K. J., M. H. Choi and J. H. Hong. "Control of Composting Odour Using Biofiltration." *Compost Science & Utilization* 10.4 (2002): 356–362. Print. 6. Sigal, I. Ja., and A. V. Markovskij. "Osobennosti szhiganiya biogaza poligonov v kotlah." *Problemy zboru, pererobky ta utylizacii' vidhodiv: V Mizhnar. nauk.-prakt. konf. Odesa, 8–9 April 2004. Odesa: OCNTEI, 2004. 358–361. Print.**

Поступила (received) 13.02.2014