

УДК 621.18

Л. А. Боднар, к. т. н.; С. Й. Ткаченко, д. т. н., проф.; О. В. Дахновська**ПРОБЛЕМИ СПАЛЮВАННЯ НИЗЬКОСОРТНИХ ПАЛИВ У КОТЛАХ
МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ**

У статті проаналізовано основні проблеми спалювання низькосортних видів палива в котлах малої потужності та методи їхнього розв'язання з метою підвищення енергоекологічної ефективності.

Ключові слова: *низькосортні палива, конденсація смол, котли малої потужності, проблеми спалювання.*

Вступ

Серед різноманітних джерел енергії, які сьогодні використовують, органічному паливу відводиться головна роль (більше 94 % у масштабах всього світу). За останнє десятиліття у зв'язку з неухильним зростанням цін на якісне паливо помітно зростає інтерес до котельних установок, що забезпечують ефективне спалювання дешевих видів палива.

Існує багато різновидів низькосортних енергетичних палив. До низькосортних видів палива відносять високозольне або високовологе вугілля, солоне вугілля, горючі сланці, торф, горючу частину міських відходів, відходи виробництв (деревообробної, целюлозно-паперової промисловості), сільськогосподарські відходи (солома, лушпиння, стебла соняшника і т. д.), шлами і проміжні продукти збагачення кам'яного вугілля, призначені для технологічного споживання. Загальною ознакою низькосортних енергетичних палив є низька теплота згорання, яка переважно не перевищує $Q_n^P = 10 \dots 20$ МДж/кг [1]. Така низька теплота згорання палив цієї категорії зумовлена, насамперед, високим вмістом у них баласту: золи й вологи.

Якщо у великій енергетиці розроблено досить багато ефективних методів спалювання низькосортних палив у промислових котлах (низькотемпературний та високотемпературний киплячий шар, низькотемпературна вихорова технологія, газогенерація з подальшим спалюванням штучного газу), то під час спалювання таких видів палива в котлах малої потужності виникає низка технічних та екологічних проблем.

Метою цієї роботи є аналіз проблем спалювання низькосортних видів палива в котлах малої потужності та методів їхнього розв'язання для підвищення енергоекологічної ефективності.

Екологічні проблеми

Усі процеси, пов'язані із спалюванням органічних видів палив у котельних установках різної потужності, є джерелами забруднювальних речовин. Їхній антропогенний вплив на навколишнє середовище може проявлятися на різних рівнях: локальному, регіональному і глобальному.

Для котлів на твердому паливі нормують лише викиди CO [2]. Так, під час спалювання антрациту допустимий вміст CO складає 10000 мг/м³, під час спалювання кам'яного і бурого вугілля з виходом летких сполук від 17 % до 50 % відповідно – 46000 мг/м³. Для котлів, що працюють на деревині, вітчизняні стандарти відсутні. За даними [3], у європейських країнах для котлів, що працюють на деревині потужністю менше 50 кВт гранично допустиме значення викидів CO складає 5 г/м³, органічних газоподібних речовин – 0,15 г/м³, твердих частинок 0,2 г/м³.

У ГОСТ [4] також нормують викиди шкідливих речовин для деревини, торфу, кам'яного

та бурого вугілля. Так, для котлів із ручною топкою потужністю від 100 до 300 кВт, у випадку спалювання деревини та торфу, викиди CO допускаються в межах від 5000 до 24000 мг/м³. Документів, що обмежують викиди забруднювальних речовин для газогенераторних котлів, авторами не знайдено.

У [4] зазначено, що вміст твердих частинок у відхідних газах котлів, що працюють на твердому паливі, повинен бути вказаний в експлуатаційних нормативних документах на конкретні котли.

У джерелі [5] наведені дані щодо роботи постійно діючих котлів малої потужності на твердому паливі й показано, що викиди від них значно перевищують норми.

Під час спалювання низькосортних палив утворюється мінеральний залишок – зола. Хоча зольність біопалив доволі низька (таблиця 1), плавкісні характеристики золи прямо впливають на роботу котла. Плавлення золи може призвести до шлакування топки й виникнення щільних відкладень на конвективних поверхнях нагріву. Легка зола забруднює повітряний басейн.

Таблиця 1

Характеристики низькосортних палив

Низькосортне паливо	Теплота згорання палива, МДж/кг	Вологість палива, %	Зольність палива, %
Торф шматковий	10,07	40	6,6
Торф фрезерний	8,5	50	5,5
Комиш	15,5	16	2,0
Солома	13,12	8	5,0
Лушпиння соняшника	15,5	15	2,0
Стружка й тирса	16,9	25	1,0
Відходи деревини	15,12	40	0,9

У зв'язку з високою вартістю цього обладнання, на котлах невеликої потужності не встановлюють зололовлювальних пристроїв.

Конденсація смол у газоходах котла

З одного боку, у низькосортних біопаливах мало сірки, тому можна забезпечити невисоку температуру димових газів на виході з котла (рис. 1), з іншого – навіть відомі закордонні виробники котлів рекомендують температуру димових газів на виході не менше 200 °С [6]. Це пов'язано з тим, що під час газифікації і спалювання низькосортних палив у котлах, на теплообмінних поверхнях та димових трубах відкладаються смолянисті відкладення – складні суміші органічних сполук.

У роботі [7] наведено результати дослідження процесів газифікації твердого палива та способів очищення штучних газів від смол. Для видалення смол запропоновано застосовувати ступеневу схему охолодження газу, що забезпечує вдале розділення смоли й води. У першому ступені конденсації при температурі 130 – 150 °С конденсується переважно важка смола, а в другому ступені, де газ охолоджується до 25 – 40 °С, – легка смола. Очищення стічних вод здійснюється відстоюванням від смоли й фільтрацією через кварцеві фільтри. Недоліком цієї схеми є утворення стійких смоловодяних емульсій у підсмольній воді. Цю схему можна застосувати у промисловому виробництві генераторного газу. У котлах малої потужності на органічних видах палива можна лише застосовувати методи запобігання відкладення смол, оскільки це є більш ефективним способом, ніж очищення забруднених поверхонь.

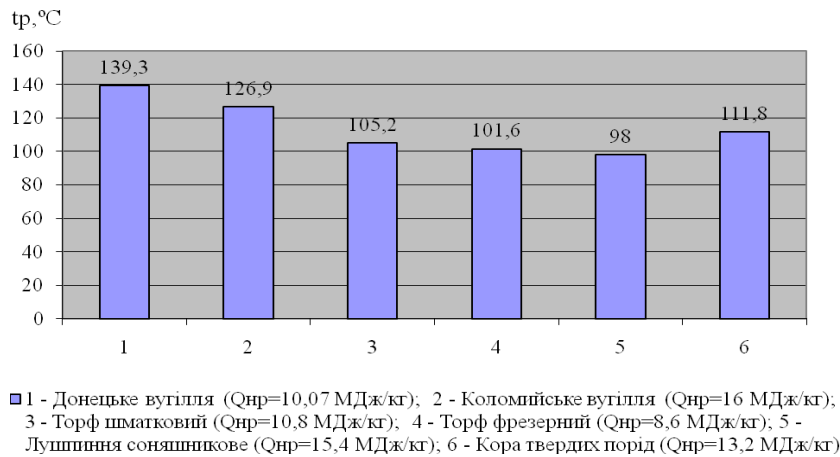


Рис. 1. Залежність температури точки роси від виду низькосортного палива

Голландська компанія ECN [8] активно займається вивченням властивостей смол, особливостей їхньої конденсації та очищення газоподібних продуктів згорання від них. Дослідники ECN класифікували смоли на п'ять класів (таблиця 2).

Таблиця 2

Класифікація смол

Клас	Властивості класу
Клас 1	Найважчі смоли, які конденсуються за високих температур навіть за дуже низьких концентрацій
Клас 2	Гетероциклічні компоненти (фенол, пуріден, крезол), які зазвичай проявляють високу розчинність у воді, завдяки своїй полярності
Клас 3	Ароматичні компоненти – легкі вуглеводні
Клас 4	Легкі поліциклічні ароматичні вуглеводні
Клас 5	Важкі поліциклічні ароматичні вуглеводні

На рис. 2 представлена залежність температури точки роси смоли від її концентрації в димових газах [8].

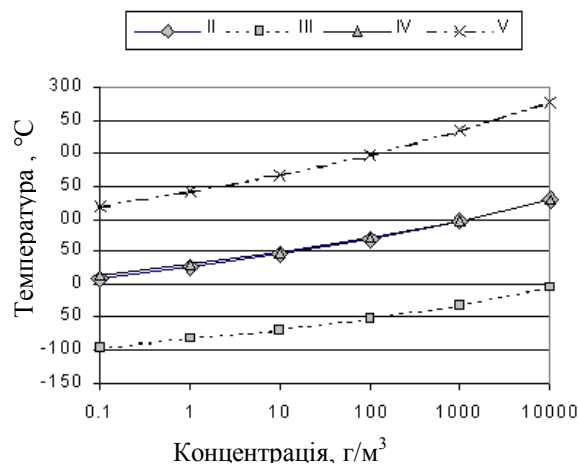


Рис. 2. Залежність температури точки роси смоли від її концентрації

Так як низькотемпературні смоли містять набагато менше молекул, ніж високотемпературні смоли, то температура їхньої точки роси набагато нижча [8].

Оскільки робота котлів на низькосортних паливах супроводжується відкладеннями смолянистих речовин на теплообмінних поверхнях і димоходах, то розробляючи котли малої

потужності обов'язково потрібно враховувати можливість конденсації смол.

Авторами проведено дослідження впливу інтенсивності теплообміну з обох сторін теплообмінної поверхні в конвективній частині котла на температуру стінки труби теплообмінника. Така інформація необхідна для вибору способу охолодження димових газів, за якого не відбувається конденсація смол у теплообміннику. Для газотрубного водогрійного котла із початковими параметрами: потужність $Q \leq 32$ кВт; паливо – деревина (склад палива $C=51\%$, $H_2=6,1\%$, $O_2=42,3\%$, $N_2=0,6\%$, $A=1\%$, $W=25\%$); триходова конструкція пучка; коефіцієнт надлишку повітря $\alpha=1,4$; температурний режим води $60/80$ °С; за різних значень коефіцієнта тепловіддачі від стінки до води $\alpha_g=200\dots900$ Вт/м²·К. При цьому коефіцієнт тепловіддачі з боку газів змінювався в межах $\alpha_z=7\dots19$ Вт/м²·К. Температура стінки пучка з боку газів визначалася залежно від навантаження котла (рис. 3).

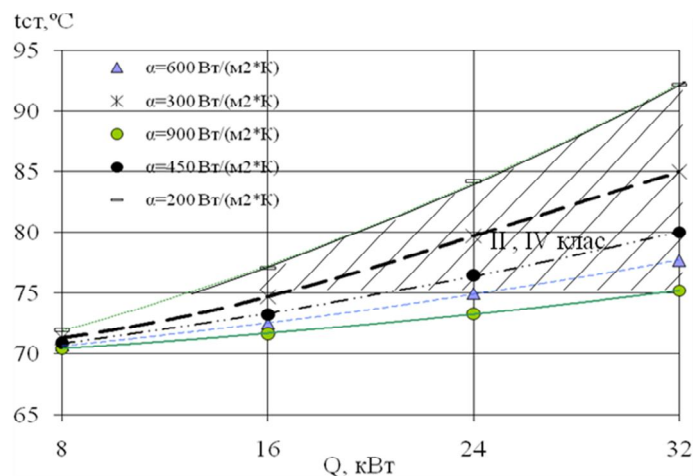


Рис. 3. Залежність температури стінки теплообмінника котла з боку газів від навантаження (охолодження водяне)

Варто зазначити, що в продуктах згоряння деревини та її відходів, а також інших низькосортних палив [9, 10] концентрація смол може бути в межах від 1000 до 10000 мг/м³. Це було враховано під час вибору температури конденсації смоли. За температури стінки теплообмінника котла зі сторони газів 75 °С і вище будуть відкладатися II та IV класи смол, тобто гетероциклічні компоненти та легкі поліциклічні ароматичні вуглеводні.

Якщо ж у конвективному пучку буде рухатися повітря із температурою на вході і на виході відповідно 10/50 °С із коефіцієнтом тепловіддачі $\alpha_n=15\dots90$ Вт/м²·К, то температура стінки пучка буде змінюватися, як показано на рис. 4.

При повітряному охолодженні за температури стінки 100 – 140 °С будуть відкладатися II та IV класи смол, а при температурі 240 °С і вище (V клас) – важкі поліциклічні ароматичні вуглеводні. Можна очікувати, що повітряні теплогенератори будуть більш ефективно працювати на низькосортних паливах (ширший діапазон надійної роботи, ніж у водогрійних).

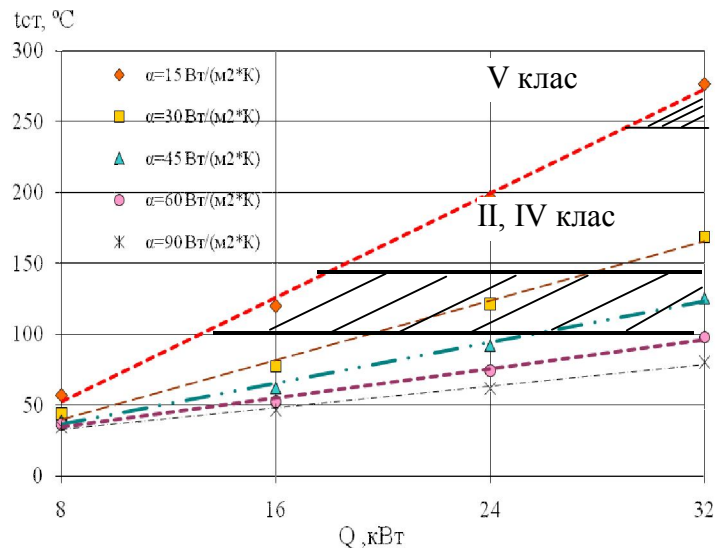


Рис. 4. Залежність температури стінки теплообмінника котла з боку газів від навантаження (охолодження повітряне)

На думку авторів, комбіноване використання поверхонь (спочатку повітряне охолодження димових газів, а потім – водяне) дозволить частково розв'язати проблему відкладення смол на поверхнях котла, а також передбачити місця їхнього відкладення з метою полегшеного доступу для очистки.

Для водяного охолодження котла методи запобігання конденсації смоли наведено в таблиці 3, де авторами також систематизовано інші проблеми спалювання низькосортних палив і методи їхнього розв'язання.

Таблиця 3

Проблеми спалювання низькосортних видів палива і методи їхнього розв'язання

№ п/п	Проблема	Методи розв'язання
1	Викиди твердих частинок (золи) [1, 3, 13]	<ol style="list-style-type: none"> 1) Створення двокамерних топок. 2) Установлення на виході з котла сегментних перегородок, що затримують золу в котлі *. 3) Установлення золовловлювачів. 4) Створення рециркуляції.
2	Відкладення смол у газоходах котла [7, 11, 12]	<ol style="list-style-type: none"> 1) Створення зон високої температури. 2) Відповідність потужності котла фактичному споживанню теплоти. 3) Використання буферних ємностей для згладжування нерівномірності споживання й роботи котла. 4) Ізоляція димоходів. 5) Дотримання низької вологості палива. 6) Підтримання температури зворотної води не менше 65 °С. 7) Установлення вторинних випромінювачів у топці (зон високих температур), каталізаторів. 8) Оптимізація подачі повітря порціями (первинне, вторинне, третинне) з метою якісної організації спалювання палива. 9) Запобігання тривалій роботи котла на мінімальному режимі.
3	Плавлення золи, зашлаковування колосникової решітки [3, 13]	<ol style="list-style-type: none"> 1) Водяне охолодження колосникової решітки. 2) Повітряне охолодження. 3) Використання вібраційної колосникової решітки *. 4) Низькотемпературне спалювання *. 5) Забезпечення рівномірного розподілу палива й шару вугілля по всій поверхні решіток з метою рівномірної подачі первинного повітря. 6) Використання обертової конусної топки. 7) Ступінчасте спалювання палива (за допомогою поділу топки на

		первинну і вторинну камери). 8) Використання топків з нижньою подачею палива.
4	Низька температура в зоні горіння під час спалювання вологих палив [14]	1) подача підігрітого повітря в зону горіння. 2) Виконання внутрішньої поверхні топків з теплоакмулювальних матеріалів (кераміки, майоліки).
5	Викиди CO [11]	1) Якісне змішування топкового газу із вторинним повітрям. 2) Застосування вторинних випромінювачів.

* – для котлів середньої потужності.

Висновки

У зв'язку зі зрощанням ціни на природний газ викликають інтерес альтернативні джерела енергії – низькосортні види палива. У великій енергетиці розроблено досить багато ефективних методів спалювання низькосортних палив у промислових котлах, а під час спалювання таких палив у котлах малої потужності виникає низка технічних та екологічних проблем.

Авторами виділено основні проблеми спалювання низькосортних видів палива в котлах невеликої потужності та методи їхнього усунення. Однією з основних є відкладання смол на теплообмінних поверхнях та димоходах котла. Для визначення режимів конденсації смол у котлі проведено дослідження впливу інтенсивності теплообміну з обох сторін теплообмінної поверхні в конвективній частині котла на температуру стінки труби теплообмінника. Визначено, що при повітряному охолодженні димових газів температура стінки теплообмінника складає 100 – 275 °С залежно від навантаження котла, а при водяному охолодженні – 75 – 95 °С, тобто в останньому випадку ймовірність відкладення смол на стінках теплообмінника вища.

На думку авторів, комбіноване використання поверхонь (спочатку повітряне охолодження димових газів, а потім – водяне) дозволить частково розв'язати проблему інтенсивності відкладення смол на поверхнях котла.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мисак Й. С. Паливні пристрої для спалювання низькосортних палив: навч. посіб. / Й. С. Мисак, Я. М. Гнатишин, Я. Ф. Івасик. – Л.: Львівська політехніка, 2002. – 135 с.
2. Котли опалювальні водогрійні теплопродуктивністю до 100 кВт. Загальні технічні умови: ДСТУ 2326–93. – [Чинний від 1995-01-01]. – К.: Держстандарт України, 1994. – 17 с. – (Державний стандарт України).
3. Справочник потребителя биотоплива / [под. ред. Виллу Вареса]. – Таллін: Таллінський технічний університет, 2005. – 183 с.
4. ГОСТ 30735-2001. Котлы отопительные водогрейные теплопроизводительностью от 0,1 до 4 МВт. Общие технические условия. – Минск, 2001. – 20 с.
5. Накоряков В. Е. Оценка экологической эффективности теплоисточников малой мощности / В. Е. Накоряков, С. Л. Елистратов // Промышленная энергетика. – 2009. – № 2. – С. 44 – 51.
6. Viessmann. Инструкция по проектированию [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.viessmann.ua>.
7. Альтшулер В. С. Новые процессы газификации твердого топлива / В. С. Альтшулер. – М.: Недра. – 1976. – 280 с.
8. "Thersites": website for tar dew point calculations. [Електронний ресурс] // Режим доступу: www.thersites.nl.
9. Соловьев В. Н. Отработка элементов технологии газификации местных видов топлива и органических отходов в обращенном режиме / В. Н. Соловьев, Л. А. Бида, Г. И. Фокина и др. – Минск, 2003. – 37 с.
10. Nimbkar Agricultural Research Institute [Електронний ресурс] // Режим доступу: www.nariphaltan.org.
11. Гришкова А. В. Уменьшение выбросов оксидов азота от водогрейных котлов путем внесения в топку промежуточного излучателя с оптимальными параметрами / А. В. Гришкова, Б. М. Красовский // Промышленная энергетика. – 2004. – № 5. – С. 32 – 33.
12. Степанов Д. В. Методи запобігання конденсації смол в котлах малої потужності на нетрадиційних паливах/ Д. В. Степанов, Л. А. Боднар // Энергетика та електрифікація. – 2010. – № 12. – С. 48 – 51.
13. Сарана В. В. Аналіз способів та обладнання для спалювання відходів переробки сільськогосподарських

культур і деревини / В. В. Сарана // Науковий вісник національного університету біоресурсів і природокористування України. – Вип. 134. Ч. 2. – 2009. – С. 41 – 53.

14. Новожилов Ю. Н. Схема подогрева воздуха в котлах малой мощности / Ю. Н. Новожилов // Промышленная энергетика. – 2003. – № 9. – С. 27.

15. Жовмир Н. М. Анализ нормативных требований к эмиссии загрязняющих веществ при сжигании биомассы / Н. М. Жовмир // Промышленная теплотехника – 2012. – № 1. – С. 77 – 86.

16. Ахтямов Ф. Г. Универсальный котел “ЭкоТермУниверсал” на альтернативных видах топлива / Ф. Г. Ахтямов // Энергетик. – 2010. – № 12. – С. 23 – 25.

17. Звягинцев В. Л. Котлы малой энергетики – мнение специалиста / В. Л. Звягинцев // Энергосбережение. – 2009. – № 5. – С. 13 – 15.

Боднар Лілія Анатоліївна – к. т. н., ст. викладач кафедри теплоенергетики.

Ткаченко Станіслав Йосипович – д. т. н., професор, завідувач кафедри теплоенергетики.

Дахновська Ольга Вікторівна – аспірант кафедри теплоенергетики.

Вінницький національний технічний університет.