

УДК 621.18

Л. А. Боднар, канд. техн. наук; Д. В. Степанов, канд. техн. наук, доц.

СИСТЕМАТИЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВОДОГРІЙНИХ КОТЛІВ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

Подано результати систематизації інформації за особливостями конструювання водогрійних котлів малої потужності, що працюють на твердому та газоподібному паливі. Проаналізовані основні фактори, що впливають на конструктивне виконання котлів на твердому паливі та режими їх роботи.

Вступ та постановка задачі

Останнім часом на українському ринку опалювального обладнання з'явилась різноманітна котельня продукція закордонних та вітчизняних виробників. Переважно водогрійні та парові котли малої потужності (до 100 кВт) виконуються жаротрубними чи жарогазотрубними. Ці котли відрізняються високим ККД, низькими викидами токсичних речовин, компактністю, високим рівнем автоматизації, простотою експлуатації і надійністю.

Відомо, що Нормативного методу теплового розрахунку для водогрійних котлів малої потужності (ВКМП) немає. Є окремі роботи [1–3], в яких запропоновано методики розрахунку ВКМП. Але для створення єдиної нормативної бази цих досліджень недостатньо. Першим кроком до створення такої бази є систематизація конструктивних особливостей водогрійних котлів малої потужності, що і є *метою цієї роботи*.

Фактори, що впливають на конструкцію котла

Конструктивні особливості ВКМП визначаються, перш за все, видом палива. Сучасні ВКМП поділяються на газові, твердопаливні, рідкопаливні, багатопаливні, електричні. Аналіз ринку опалювального обладнання [4, 5] показав, що найбільшого розповсюдження в Україні набули газові і твердопаливні ВКМП.

Авторами проаналізовані основні фактори, які впливають на конструктивне виконання котла на твердому паливі та режими роботи. Від рівня продуманості конструкції котла залежить ефективність його подальшої роботи, надійність і довговічність.

Потужність котла. Особливістю твердопаливних котлів є неможливість точно визначити їх теплову потужність. Це пов'язано з тим, що характеристики палива можуть значно відрізнятися, особливо в залежності від вологості і фракційності. Тому конструкція має бути підібрана з достатнім запасом.

Принцип спалювання суттєво впливає на конструкцію котла, визначає конструкцію і принцип роботи топкової камери, вибір матеріалів і можливості управління технологічним процесом.

Котли з прямим спалюванням виконуються однокамерними, зі сталі чи чавуну, інколи з футеровкою топки. Вони характеризуються поганою керованістю робочих процесів, низьким ККД (74–85 %).

Двокамерні (газогенераторні) котли мають ступеневу подачу повітря, що забезпечує одночасне зниження рівня викидів від неповного згорання і викидів NO_x за рахунок розділення етапів виходу летких компонентів і згорання газової фази. Це підвищує ефективність змішування газу з вторинним повітрям і зменшує кількість необхідного повітря, знижуючи локальний і загальний коефіцієнти надлишку повітря і збільшуючи температуру горіння.

Співвідношення первинного і вторинного повітря суттєво впливає на якість змішування повітря з паливом, час перебування палива в топці і значення температури горіння.

Фракційність та товщина шару палива. Відхилення в розмірі частинок як в сторону збільшення, так і в сторону зменшення знижують ефективність роботи топки і призводять до значного недопалу або забивання сопла та каналів котла. Наявність смол, властивість палива спікатись, і пов'язані з цим механічні і гідравлічні проблеми дуття, шуровки і стабільності всього процесу в цілому обмежують розмір фракцій дроблення. Розмір фракцій впливає на

конструктивні особливості котла, зокрема на розміри отворів в колосниковій решітці, розмір сопла, яке використовується в газогенераторних котлах.

Товщина шару палива має бути такою, щоб за номінальної продуктивності і мінімальної витрати енергії на продування первинного повітря через шар палива прогари шару палива були виключені.

Необхідною умовою надійної роботи котла є правильно розраховані розміри топки. Під час спалювання деревини виділяється велика кількість летких речовин, тому полум'я деревини має значну висоту. Якщо висота топкової камери невелика, леткі речовини осідають на своді, відбувається недопалювання смол і вони осідають в трубках теплообмінників і закоксовують його.

Вологість палива, що подається в топку, може складати 10–55 %. Спалювання вологого палива неекономне, приводить до зниження температури згорання, до високої кількості шкідливих викидів і відкладення смоли в димовій трубі. Для підвищення температури в зоні горіння топкову камеру утеплюють жаростійкими сегментами і шамотними дошками, або викладають з кераміки чи майоліки. Це покращує процес спалювання особливо для вологого палива.

Попередній підігрів повітря дозволяє підвищити температуру в зоні горіння і, відповідно, покращити якість спалювання палива. Повітря може бути підігрітим за рахунок відхідних газів або за рахунок використання теплоти шару палива. Для спалювання твердого палива з вологістю вищою 20 % температура дуттєвого повітря повинна бути не меншою 100 °С [6].

Зольність і здатність до смолоутворення. При спалюванні палива підвищеної зольності мають бути передбачені технічні рішення конструктивних елементів топкового пристрою, що гарантують безперервне сходження шлаку із зони горіння і можливість його видалення з топки вручну чи спеціальними механізмами. З метою полегшення обслуговування котла в конструюванні необхідно передбачати великий простір для золи (зольник).

Деякі види твердих палив, особливо деревина, схильні до смолоутворення. Для запобігання конденсації і відкладання смол у ВКМП передбачають ряд заходів: підтримують потужність котла у певних межах; встановлюють технологічні пристрої для очищення поверхонь; виконують теплоізоляцію димоходів тощо [7].

Аеродинаміка котла. Рух газів та повітря може відбуватись під дією природної тяги, дуттєвого вентилятора або димососа.

Перевагою котлів з природною тягою є енергонезалежність, недоліком — погана урегульованість роботи. Дуттєвий вентилятор дає можливість якісніше регулювати співвідношення первинного/вторинного повітря і покращувати теплотехнічні і екологічні показники котла. Димосос (втяжний вентилятор), на відміну від нагнітального, відсмоктує продукти згорання і цим зводить до мінімуму димлення під час запуску котла та завантаженні палива.

Під час роботи котла з вимушеною тягою, є можливість ускладнювати газовий тракт різноманітними інтенсифікаторами теплообміну як в топці, так і в конвективній частині, каталізаторами тощо. Це дасть можливість покращити теплообмін, екологічні та масогабаритні характеристики котла.

Подача палива. Для механізованої подачі палива використовують шнекові механізми і поршні. подача шнеком сильно обмежена розмірами фракцій. Брикети, вугілля, відходи деревини автоматично подати в топку можна лише поршнем. Такі котли зручні в експлуатації, але енергозалежні.

Конструктивні ознаки ВКМП на газовому та твердому паливі

На сьогоднішній день є велика кількість різних моделей котлів на твердому паливі, як вітчизняного так і закордонного виробництва. Слід зазначити, що скільки є моделей котлів стільки ж є конструкторських рішень. Тому чітких рекомендацій з конструювання котлів малої потужності на твердому паливі авторами не виявлено.

На основі аналізу літературних джерел, Internet-сайтів та рекламних матеріалів виробників, аналітичних статей в Internet проведена систематизація конструктивних особливостей ВКМП на газовому та твердому паливі (табл.).

Конструктивні ознаки ВКМП на газовому та твердому паливі

Ознака	Котел на газовому паливі	Котел на твердому паливі
1. Тип спалювання/котел	1.1 пряме спалювання 1.2 універсальний	1.1 пряме спалювання 1.2 газогенераторний 1.3 універсальний
2. Температура теплоносія	2.1 високотемпературний 2.2 низькотемпературний 2.3 конденсаційний	2.1 високотемпературний
3. Конструкція конвективного пучка	3.1 газотрубний 3.2 водотрубний 3.3 газоводотрубний	
4. Геометрична форма теплообмінника	4.1 трубчастий 4.2 пластинчастий	4.1 трубчастий
5. Кількість контурів	5.1 одноконтурний 5.2 двоконтурний	
6. Спосіб приготування гарячої води	6.1 одноконтурний з зовнішнім бойлером 6.2 двоконтурний з вбудованим змішувачем 6.3 двоконтурний з проточним водонагрівачем	
7. Матеріал топки	7.1 чавун 7.2 сталь 7.3 біметал (чавун/сталь)	7.1 чавун 7.2 сталь 7.3 кераміка 7.4 вогнетривка цегла 7.5 майоліка 7.6 сталь + кераміка, сталь + майоліка
8. Матеріал теплообмінника	8.1 чавун 8.2 сталь звичайна, жароміцна 8.3 мідь	
9. Форма топки	9.1 циліндрична 9.1.1 реверсна 9.1.2 неревверсна 9.2 прямокутного перерізу	9.1 циліндрична 9.2 прямокутного перерізу
10. Кількість ходів димових газів	10.1 одноходовий 10.2 двоходовий 10.3 триходовий 10.4 чотириходовий	
11. Кількість камер топки	11.1 однокамерна	11.1 однокамерна 11.2 двокамерна 11.3 трикамерна
12. Тип камери згорання		12.1 закрыта 12.2 відкрита
13. Тип пальника, колосникової решітки або сопла газифікатора	13.1 атмосферний (інжекційний) 13.1.1 атмосферний одно- або двоступеневий 13.1.2 атмосферний з плавною модуляцією 13.2 мікродифузійний 13.3 мікрофакельний 13.4 інфрачервоний 13.5 вентиляторний (з наддувом) 13.5.1 вентиляторний одноступеневий 13.5.2 вентиляторний двоступеневий 13.5.3 вентиляторний з плавною модуляцією 13.6 комбінований (газ-рідке паливо)	13.1 рухома колосникова решітка 13.1.1 охолодження водою 13.1.2 охолодження повітрям 13.2 нерухома колосникова решітка 13.2.1 охолодження водою 13.2.2 охолодження повітрям 13.3 сопло прямокутного поперечного перерізу 13.4 сопло круглого поперечного перерізу
14. Подача палива	14.1 автоматизована	14.1 автоматизована 14.2 ручна
15. Залежність від електроенергії	15.1 енергозалежні 15.2 енергонезалежні з самозапуском 15.3 енергонезалежні без самозапуску	15.1 енергозалежні 15.2 енергонезалежні
16. Тип розпалювання	16.1 п'езорозпалювання 16.2 електророзпалювання	16.1 ручний

Ознака	Котел на газовому паливі	Котел на твердому паливі
17. Димова труба	17.1 вертикальна 17.2 горизонтальна	17.1 вертикальна
18. Принцип видалення димових газів	18.1 природна тяга 18.2 примусова тяга 18.2.1 дуттєвий вентилятор 18.2.2 димосос	
19. Теплоносій	19.1 вода 19.2 розчин етиленгліколю 19.3 повітря	
20. Циркуляція теплоносія (води)	20.1. природна циркуляція 20.2. вимушена циркуляція	
21. Інтенсифікація теплообміну	21.1 пластина 21.2 шнек 21.3 дротова вставка 21.4 скручена, зігнута пластина 21.5 циліндрична вставка 21.6 сферичні виямки, канавки, виступи 21.7 оребрення 21.8 профілювання каналу і вставки	
22. Матеріал теплоізоляції корпусу котла	22.1 скловолокно 22.2 мінеральна вата 22.3 пінополіуретан 22.4 поліуретан	
23. Розташування теплообмінника	23.1 вертикальне 23.2 горизонтальне	
24. Розташування котла	24.1 підлогове 24.2 настінне	24.1 підлогове
25. Контрольно-вимірвальні прилади	25.1 термометр (термостат) 25.2 манометр 25.3 датчик тяги (регулятор тяги) 25.4 погодний контролер	25.1 термометр (термостат) 25.2 манометр 25.3 датчик тяги (регулятор тяги) 25.4 погодний контролер 25.5 регулятор обертів дуттєвого вентилятора
26. Системи захисту	26.1 від перегріву 26.2 від порушення циркуляції 26.3 від відключення електроенергії 26.4 від замерзання 26.5 датчик горіння	26.1 петля захисту від перегріву 26.2 вприскування води в зону горіння 26.3 від замерзання
27. Розширювальний бак	25.1. вбудований в котел 25.2. винесений за межі котла	

Конструкція сучасного ВКМП має задовольняти вимогам нормативних документів з охорони праці, екологічної та енергетичної ефективності [8], вимогам до зручності експлуатації, зовнішнього дизайну та ергономіки.

На основі проведеної систематизації та з використанням матеріалів [9–23] виділено такі заходи для підвищення надійності роботи, енергетичної та екологічної ефективності ВКМП:

- 1 – використання двоступеневих та модульованих мікрофакельних та інфрачервоних пальників в газових котлах;
- 2 – використання двокамерних котлів із ступеневою подачею повітря;
- 3 – підвищення рівня автоматизації пальника та котла в цілому;
- 4 – утеплення топок котлів, що працюють на високовологих паливах;
- 5 – збільшення ступеню екранування топок;
6. використання нержавіючих сталей та сплавів для утилізації теплоти конденсації пари з відхідних газів;
- 7 – використання насосів для циркуляції води;
- 8 – попередній підігрів повітря;
- 9 – якісна організація воднохімічного режиму;
- 10 – запобігання відкладання смол на поверхнях котла.

Висновки

На сьогоднішній день не існує усталеної методики проектування водогрійних котлів малої потужності. Для її створення потрібно, на першому етапі, систематизувати конструктивні ознаки ВКМП.

Виявлено фактори, що впливають на конструкцію водогрійних котлів малої потужності на твердому паливі.

На основі наявної літературної та іншої інформації систематизовано інформацію за 27 класифікаційними ознаками водогрійних котлів малої потужності на газовому та твердому паливі.

Проведені дослідження дозволили запропонувати заходи щодо підвищення надійності, енергетичної та екологічної ефективності водогрійних котлів малої потужності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Боднар Л. А. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата техн. наук : спец. 05.14.06 «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика» / Л. А. Боднар — Київ, НУХТ, 2010. — 23 с.
2. Петриков С. А. Прогрессивные способы интенсификации теплообмена в отопительных котлах / С. А. Петриков, Н. Н. Хованов // Промышленная энергетика. — 2003. — № 12. — С. 18—22.
3. Шахлина Н. М. Повышение эффективности работы газотрубных котлов за счет использования профилированных поверхностей теплообмена / Н. М. Шахлина, В. А. Мунц // Промышленная энергетика. — 2007. — № 9. — С. 28—30.
4. Ведрученко В. Р. Методика теплового расчета цилиндрических топочных устройств водогрейных котлов при сжигании жидкого и газового топлива / В. Р. Ведрученко, Н. В. Жданов // Промышленная энергетика. — 2008. — № 3. — С. 33—39.
5. Степанов Д. В. Технічні та екологічні показники водогрійних котлів потужністю до 100 кВт / Д. В. Степанов, С. Й. Ткаченко, І. Г. Чорна // Вісник Хмельницького національного університету. — 2006. — № 1. — С. 114—117.
6. Степанов Д. В. Тенденції розвитку теплогенерувального обладнання на твердому паливі / Д. В. Степанов, С. Й. Ткаченко, Л. А. Боднар // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2008. — № 3. — С. 46—49.
7. Справочник потребителя биотоплива / под ред. В. Вареса. — Таллин : Таллинский технический университет, 2005. — 183 с.
8. 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.
9. 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).
10. Васильев А. В. Повышение надежности жаротрубных водогрейных котлов / А. В. Васильев, Г. В. Антропов, А. И. Баженов // Промышленная энергетика. — 1998. — № 7. — С. 19—22.
11. Соколов Б. А. Котельные установки и их эксплуатация / Б. А. Соколов. — 2-е изд., испр. — М. : Изд. Центр «Академия», 2007. — 432 с. — ISBN 978-5-7695-3812-4.
12. Nussbaumer T. Combustion and co — combustion of biomass: fundamentals, technologies, and primary measures for emission reduction / T. Nussbaumer // Journal Energy & Fuels. — 2003. — Vol. 17. — P. 1510—1521.
13. Степанов Д. В. Експериментальні дослідження інтенсифікованого теплообміну в жаротрубному водогрійному котлі / Д. В. Степанов, С. Й. Ткаченко, Л. А. Боднар // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2008 — № 2. — С. 44—47.
14. Betul Ayhan. Investigation of turbulators for fire tube boilers using exergy analysis / Betul Ayhan // Turkey Journal engineering environmental science. — 2001. — № 5. — Pp. 249—258. — Режим доступу до журн. : <http://mistug.tubitak.gov.tr/bdyim/toc.php?dergi=muh&yilsayi=2001/4>.
15. Губарь С. А. Методы и способы повышения тепловой и экологической эффективности жаротрубных теплогенераторов малой мощности для локального теплоснабжения : дис. канд. техн. наук : 05.23.03 / Губарь Светлана Александровна. — Макеевка, 2004. — 214 с.
16. Звягинцев В. Л. Котлы малой энергетики— мнение специалиста / В. Л. Звягинцев // Энергосбережение. — 2009. — № 5. — С. 13—15.
17. Neshumayev D. Radiation heat transfer of turbulator inserts in gas heated channels / D. Neshumayev, T. Tiikma // Heat Transfer Research. — 2008. — Vol. 39(5). — P. 403—412.
18. Yrjola J. Modelling and experimental studies on heat transfer in the convection section of a biomass boiler / J. Yrjola, J. Paavilainen // Int. J. Energy Research. — 2006. — Vol 30 (12) — P. 939—953.
19. Пат. 41742 України, МПК7 F24Н1/24. Опалювальний котел на твердому паливі «Петра-2М» / Клочанов М. Г.; — № 200813680 ; заявл. 27.11.2008. ; опубл. 10.06.2009, Бюл. № 11.
20. Пат. 62409 України, МПК7 F24Н1/50. Твердопаливний водогрійний котел / Пятрас Г.; — № 201101763 ; заявл. 14.02.2011. ; опубл. 25.08.11, Бюл. № 16.
21. Пат. 77342 України, МПК7 F24Н3/02. Твердопаливний теплогенератор / Волков С. С.; — № 200502856 ; заявл. 29.03.2005 ; опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.
22. Пат. 62409 України, МПК7 F24Н1/50. Твердопаливний водогрійний котел / Пятрас Г.; — № 201101763 ; заявл. 14.02.2011. ; опубл. 25.08.11, Бюл. № 16.
23. Пат. 62409 України, МПК7 F24Н1/50. Піч для спалювання деревинних відходів / Хлебніков О. Є.; — № 2004031645 ; заявл. 5.03.2004. ; опубл. 16.01.2006, Бюл. № 1.

Рекомендовано до друку кафедрою теплоенергетики

Стаття надійшла до редакції 10.10.11
Рекомендована до друку 3.05.12

Степанов Дмитро Вікторович — доцент, **Боднар Лілія Анатоліївна** — старший викладач.
Кафедра теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця