
А.В. СМІХУЛА

ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ РЕКОНСТРУКЦІЇ КОТЕЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ З МЕТОЮ ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ТА ПОЛІПШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

Наукове повідомлення молодого вченого на засіданні Президії НАН України
15 лютого 2012 року

У повідомленні висвітлено основні технологічні засади реконструкції морально і конструктивно застарілого котельного обладнання з метою наближення основних показників до сучасного світового рівня. Реконструкція існуючих котлів від 4 МВт, на відміну від їх заміни, потребує значно менших капітальних вкладень, дозволяє знизити витрати природного газу та поліпшити екологічні показники.

Теплоенергетика України є базовою галуззю економіки і найбільшим споживачем природного газу. Енергетичні, промислові та опалювальні котли потужністю від 100 кВт і вище, що споживають понад 15 млрд м³/рік природного газу в Україні, розроблені ще в 60–70-ті роки ХХ ст., сьогодні морально і конструктивно застарілі, мають ККД, нижчий від сучасного рівня на 5–15%, з високими викидами в атмосферу оксидів азоту.

Однак котли, що перебувають в експлуатації, зокрема котли типів ТВГ і КВГ, розроблені Інститутом газу НАН України [1], досить надійні, що підтверджується безперебійністю тепло- та енергопостачання навіть за екстремально низьких температур, хоча нині майже всі вони відпрацювали заводський ресурс.

Заміна котельного обладнання, починаючи орієнтовно з котлів потужністю 4 МВт, потребує істотних капітальних затрат, а реконструкція цих котлів з наближенням їхніх основних показників до сучасного світового

рівня становитиме всього 20–40% вартості закупівлі й монтажу нового котла.

Основними цілями реконструкції котлів обрано такі:

- 1) подовження ресурсу експлуатації котлів ще на один заводський термін;
- 2) підвищення енергоефективності до рівня окупності впроваджуваних технологій;
- 3) доведення питомих викидів в атмосферу забруднювальних речовин до світових показників.

Котельне господарство України — концептуально і конструктивно було розраховане на використання дешевого палива [2], про що свідчать наступні факти:

- максимально спрощувались конструкції котлів та обладнання, що давало можливість спростити технології виробництва і зекономити метал, в тому числі високоякісні леговані сталі та інші високовартісні елементи і матеріали;
- установлення контрольно-вимірювальних приладів здійснювалось у мінімально можливому варіанті, а комплексна автоматика котла встановлювалась у поодиноких експериментальних цілях, а після проведення експериментів, як правило, вимикалась персоналом;

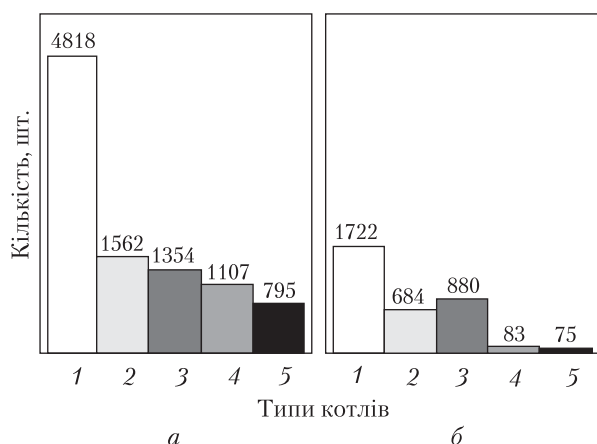


Рис. 1. — Кількість різних типів котлів потужністю 1–10 МВт, що експлуатуються (а), та кількість котлів, що відпрацювали понад 30 років і потребують реконструкції (б); 1 — загальна кількість котлів; 2 — ТВГ; 3 — ДКВР; 4 — котли інших типів; 5 — КВГ

- відомі також випадки, коли в результаті раціоналізаторських пропозицій досягали економії чорного металу (сталі 20), але при цьому зростали витрати палива (наприклад, ТВГ-8 і реконструйований ТВГ-8М).

Отже, потрібно привести технології, що використовуються в котлах при спалюванні палива, до економічно обґрунтованих з урахуванням ціни на паливо (природний газ).

Серед цих технологій доцільно виділити три основні групи:

Наприклад, серед котлів потужністю 1–10 МВт (рис. 1) котли з подовими паливниками типу ТВГ, КВГ та частково ДКВР становлять близько 50% загальної кількості, тому їх реконструкція є однією з пріоритетних [3].

З метою розроблення технології реконструкції застарілих подових палинкових пристроїв, які використовують у котлах ТВГ, КВГ та частково ДКВР, необхідно було вирішити такі наукові завдання:

1. Провести дослідження стабілізації відірваних турбулентних струменів природного газу на вертикальній керамічній поверхні (щілині) залежно від швидкості витоку газу, кута атаки струменів, діаметра та кроку соплових отворів.

2. Дослідити умови утворення оксидів азоту залежно від конструкційних параметрів паливника.

Для вивчення стабілізації полум'я природного газу на вертикальній поверхні (щілині) було створено лабораторний стенд і під керівництвом д.т.н., проф. І.Я. Сігала проведено експериментальні дослідження. Встановлено, що діапазон оптимальної відстані від соплового апарату до стінки щили-

ни становить $15 < L/d_0 < 30$, де d_0 – діаметр сопла, мм, L – відстань від зрізу сопла до щілини по його геометричній осі, мм; визначено залежність кута, під яким струмені газу подаються на стабілізатор (вертикальну поверхню щілини), від діаметра сопла. Для подового пальника встановлено залежність довжини факела L_{ϕ} від ширини щілини $a_{\text{щ}}$ та критерію Рейнольдса $L_{\phi}/a_{\text{щ}} = A \cdot \text{Re}^{0.17}$ (A – емпіричний коефіцієнт, що залежить від кроку сопел s/d_0 , s – відстань між сусідніми соплами в ряду, і для оптимального $6 < s/d_0 < 15$ рівний 4) та інші фактори [4, 5]. В результаті проведених досліджень було оптимізовано щілину і сам палинковий пристрій, зокрема, розроблено спеціальні калібровані сопла. Головна перевага каліброваних сопел перед отворами полягає в тому, що геометрія сопла витримується впродовж усього періоду експлуатації палинкового пристрою, що особливо важливо під час роботи котлів за режимними картами (майже всі котли потужністю до 10 МВт). Разом з палинками на котлі ТВГ-8М було випробувано нову конвективну поверхню нагрівання конструкції Є.М. Лавренцова з труби $\text{Ø}32 \times 3$ мм замість заводської $\text{Ø}28 \times 3$ мм (рис. 2) [6].

На основі проведених лабораторних досліджень зі стабілізації полум'я природного газу на вертикальній поверхні (щілині) вперше розроблено потужний подовий щілинний палиник потужністю 5 МВт/погонний метр колектора для встановлення його у холодній воронці котлів ПТВМ-50 та ПТВМ-100. Реконструкція топок котлів з використанням не задіяного повною мірою нижнього екранування топкової камери дає змогу збільшити площу ефективних поверхонь нагрівання ($F_M = F + F_n$, де F_n – поверхня поду, яка працює неефективно), що підвищить ККД котла (критерій Больцмана (Bo) при цьому зменшується), і віддалити геометричний максимум температур від першого конвективного пакета, що подовжує його ресурс завдяки збільшенню параметра $M = 0,54 - 0,2x_n$, що враховує максимум температур, де x_n – відносне положення

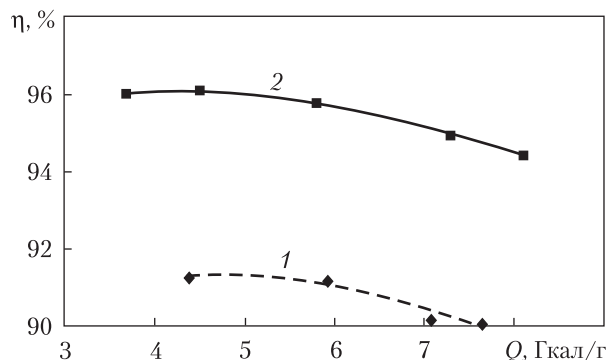


Рис. 2. Залежність ККД котла ТВГ-8М від навантаження до (1) та після (2) модернізації

максимуму температури факелу по висоті топки. Безрозмірна температура на виході з топки відповідно зменшується: $\theta''_T = 1/(M \cdot (a_T/Bo)^{0.6} + 1)$, де a_T – ступінь чорноти топкової камери [7, 8].

Палинки типу ГМ, ГМП та ГМГ до котлів ДЕ та ДКВР можуть працювати на двох типах палива – природному газі та мазуті. Відповідно конструкцію було оптимізовано на спалювання складнішого з точки зору спалювання – мазуту (наприклад, закручування повітря виконано так, щоб під час спалювання мазуту він не потрапляв на топкові екрани), по осі палиника змонтовано мазутну форсунку, що не дає можливості застосувати повітряний незакручений струмінь для організації стадійного спалювання природного газу. Крім того, природний газ подається крізь отвори, які змінюють геометрію під час експлуатації, і через деякий проміжок часу необхідно уточнювати режимну карту. Розроблено та запатентовано реконструкцію цих палиників у виключно газові палиники двостадійного спалювання, що дасть змогу підвищити ККД котлів на 1–2% та істотно знизити викиди оксидів азоту. Наприклад, у пристроях типу ГМГ в Україні спалюється близько 3 млрд м³ природного газу (установлені в котлах ДКВР – найпоширеніший котел на спиртових заводах та інших промислових підприємствах), що в разі їх реконструкції за запатентованою схемою дасть можливість зекономити понад 50 млн м³

природного газу за рік (за комерційної ціни газу 4 грн/нм³ економія становитиме близько 200 млн грн/рік).

ВИСНОВКИ

1. Майже всі котли в Україні (пальники, поверхні нагрівання, допоміжне обладнання, автоматика тощо) побудовані із застосуванням технологій 60-х років, в основі концепції яких закладено використання дешевого палива. Відповідно (за неможливості заміни) вони потребують реконструкції з впровадженням нових технологій, що враховують сучасний стан цін на енергоносії, передусім на імпортований природний газ.

2. Розроблено, випробувано та впроваджено щільні подові пальники нового покоління потужністю 3, 12, 26 МВт з каліброваними соплами та удосконаленою щільною, що можуть бути встановлені в котлах типів ТВГ, КВГ, частково ДКВР та ПТВМ, завдяки чому підвищиться ефективність роботи котлів (ККД на 1,5–2%, покращиться надійність роботи пальникових систем, у 4 рази збільшиться міжремонтний період для пальників).

3. Розроблено двостадійні пальники другого покоління зі спеціальним вогнетривким насадком, що можуть бути застосовані під час реконструкції котлів ДЕ, ДКВР, ПТВМ та інших зі зниженими викидами оксидів азоту.

4. Котли в котельнях, що не використовують мазут, потрібно оснастити пальниками, що спалюють виключно природний газ, що дасть змогу істотно знизити викиди оксидів азоту, збільшити коефіцієнт регулювання пальників до 6–10 та підвищити ККД котлів на 1–2%.

5. Варто підвищувати ККД котлів збільшенням поверхонь нагрівання (наприклад, заміною стандартної котлової труби Ø28 мм конвективної поверхні на трубу Ø32 мм), хоча це потребує використання додаткового металу. Технології ж глибокої утилізації те-

плоти димових газів потребують значних витрат через застосування нержавіючих сталей та необхідність модернізації цегляної (металевої) димової труби, що без реконструкції може бути зруйнована конденсатом упродовж одного опалювального періоду.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сигал І.Я., Лавренцов Е.М. Газовые водогрейные промышленно-отопительные котлы. — К: Техніка, 1967. — 144 с.
2. Сигал І.Я., Домбровська Е.П., Смихула А.В. та ін. Аналіз стану котельного господарства України з метою модернізації, продовження ресурсу чи заміни котлів малої і середньої потужностей // Екотехнологии и ресурсосбережение — 2003. — № 6. — С. 76–79.
3. Сигал І.Я., Домбровская Э.П., Смихула А.В. К вопросу о модернизации котельного хозяйства Украины // Экотехнологии и ресурсосбережение. — 2004. — № 3. — С. 66–69.
4. Смихула А.В., Сигал І.Я. Продление ресурса и модернизация муниципальных водогрейных котлов средней и большой мощности // Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики: Матер. XVI конф. стран СНГ с междунар. участием (6–10 июня 2006, Севастополь, Украина). — С. 38–40.
5. Сигал І.Я., Лавренцов Е.М., Смихула А.В., Домбровская Э.П. Разработка методов и оборудования для продления ресурса и повышения КПД действующих котлов ТВГ-КВГ, которые отапливают жилые и промышленные комплексы // Цільова комплексна програма НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин»: Зб. наук. ст. — К.: Інститут електроварювання ім. Є.О. Патона НАН України, 2009. — С. 339–343.
6. Лавренцов Е.М., Сигал І.Я., Смихула А.В. и др. Модернизация водогрейных котлов ТВГ // Энерготехнологии и ресурсосбережение — 2010. — № 6. — С. 70–76.
7. Кузнецов Н.В., Митор В.В., Дубовской И.Е., Красина Э.С. Тепловой расчет котельных агрегатов: Нормативный метод. — М.: Энергия, 1973. — 295 с.
8. Сигал І.Я., Смихула А.В., Дубоший А.Н., Домбровская Э.П. Повышение эффективности и продление ресурса котлов типа ПТВМ // Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики: Матер. XVIII междунар. конф. (10–14 июня 2008, Ялта, Украина). — С. 122–126.



Анатолій Володимирович СМІХУЛА

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу захисту атмосферного повітря від забруднення Інституту газу НАН України.

У 2002 р. закінчив теплоенергетичний факультет Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» й вступив до аспірантури Інституту газу НАН України. 2007 року захистив кандидатську дисертацію на тему: «Розробка та дослідження потужних подових щільних пальників для водогрійних башових котлів» (науковий керівник — д.т.н., проф., засл. діяч науки і техніки України І.Я. Сігал).

Має державні та академічні премії і відзнаки: 2002–2003 рр. — стипендіат Президента України; 2003 р. — диплом про отримання 3 премії Київської міської державної адміністрації за роботу на тему: «Зменшення викиду парникових газів котельним господарством м. Києва, модернізація застарілих типів котлів та продовження їх ресурсу»; 2009 р. — відзнака НАН України

для молодих учених «Талант, натхнення, праця»; 2011 р. — грамота Ради старійших енергетиків України за активну і плідну працю в організації та проведенні ІХ всеукраїнського конкурсу «Молодь — енергетиці України 2010: відкритий конкурс молодих енергетиків».

Є автором 22 наукових статей у вітчизняних періодичних та спеціальних виданнях, 9 патентів України.

Коло наукових інтересів — теплоенергетика, горіння, альтернативні палива. Керує науковими роботами студентів. Голова Державної комісії по захисту дипломних проектів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» студентів по спеціальності «Теплові електричні станції» кафедри «Теплоенергетичні установки теплових та атомних електростанцій» НТУУ «КПІ».
