

Крім того, верхній стопор 20 дає можливість реалізувати положення, при якому відбиваюча поверхня обернена вниз до землі. Останнє необхідне для зберігання ГК протягом ночі, в негоду, при сильному вітрі тощо. Кути  $\alpha$ , що дорівнюють  $65^\circ$ ,  $50^\circ$  і  $35^\circ$ , дають можливість працювати в режимі фіксованих положень ГК, яких може бути від одного до трьох протягом світлового дня. Зрештою, нескладно забезпечити фіксацію ГК при довільному куті  $\alpha$ .

Основний каркас ГК, який складається з деталей 1, 2 і 3, повинен бути жорстким і виготовлений зварюванням між собою вказаних деталей. Як матеріал бажано використовувати дюралюмінієві труби. Якщо відсутня можливість зварювання дюралюмінію, то можна використовувати тонкостінні сталеві труби. На рис. 2 показано профіль (в оцифрованому вигляді) дугоподібного елемента 2, який в процесі виготовлення повинен максимально витримуватись. По цьому ж профілю вигинають і дюралюмінієві Т-подібні планки 7.

Бажано, щоб труба-поглинач 6 була мідною, принаймні алюмінієвою, діаметром 80 – 100 мм. Можлива її заміна системою з трьох мідних (алюмінієвих) труб діаметром 35 – 45 мм, із взаємним розташуванням поздовжніх осей по вершинах правильного трикутника. Поверхню труб, яка обернена до відбиваючої поверхні, необхідно фарбувати чорною матовою фарбою. Найкращим було б селективне покриття труб, наприклад, з чорного хрому або геліотитанове.

В такий спосіб розроблена проста і дешева конструкція лінійного геліоконцентратора, який дає можливість отримати за рік 1500 – 1700 квт/год теплової енергії (при площі апертури приблизно  $5,5 \text{ м}^2$ ), тобто може бути вагомим елементом альтернативного енергозабезпечення індивідуального житла, сільського подвір'я та малих підприємств.

1. Дорошенко А.В., Глауберман М.А., Гліксон А.Л., Адамьян О.В. Сонячні системи автономного теплопостачання // *Мат. 1-ї наук.-практ. Конф. "Нетрадиційні і поновлювальні джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні"*. – Львів. – 31.05-01.06.2001. – С. 169 – 173. 2. Alpert D.J., Mancini T.R., Houser R.M. *Solar concentrator development in the United States / 5 th Symp. Sol. Higt-Temp. Technol. Davos, 27 – 31 Aug., 1990 // Sol. Energy Mater.* – 1991. – 24, № 1 – 4. – С. 307 – 319.

УДК 621.182.42

В. Матусевич, П. Янко

Національний університет "Львівська політехніка"  
кафедра теплотехніки та теплових електростанцій

## РОБОТА ПОВЕРХОНЬ НАГРІВУ КОТЛІВ ЗА УМОВ ЕРОЗІЙНОГО ЗНОШЕННЯ

© Матусевич В., Янко П., 2003

**The problem of deterioration of surfaces of heating of steam boilers and influence of particles of ashes and factors of surplus of air on process of erosive deterioration is considered.**

### Постановка проблеми

Більшість енергетичного обладнання було введено в експлуатацію у 60 – 70 роках ХХ ст. і, як правило, переважна його частина відпрацювала свій ресурс. Через істотне збільшення зольності значно погіршилась якість спалюваного твердого палива (в окремі періоди

зольність палива сягає 60 %), тому основною проблемою, яка розглянута у роботі, є проблема зношення поверхонь нагріву котлів частинками золи, у яких спалюється тверде паливо.

### **Аналіз останніх досліджень**

Як зазначено у літературі [1], 12 – 15 % золи при спалюванні твердого палива "зв'язується" у шлак, а 85 % і більше транспортується димовими газами через газоходи котла, викликаючи абразивні зношення на поверхнях котла. У [2] основна увага приділяється золі, за наявності якої, паливо доцільно спалювати у топках з циркулюючим киплячим шаром, але враховуючи застарілість більшості котельних агрегатів питання переобладнання топок на спалювання вугілля у ЦКШ не завжди має сенс. Крім того, як зазначено у [3], на проблему зношення поверхонь котлів мають вплив і інші характеристики спалюваного палива. В умовах експлуатації обладнання, яке відпрацювало свій ресурс, питання продовження термінів подальшої роботи котлів, які спалюють тверде паливо з великим вмістом золи, є актуальним.

**Метою статті** є розгляд і аналіз існуючих чинників, які мають вплив на процес ерозійного зношення частинками золи поверхонь нагріву енергетичних котлів, а також шляхи можливого вирішення існуючої проблеми. На основі проведених досліджень можна переконатись у доцільності вирішення питання стосовно окресленої проблеми.

Сутність абразивного процесу полягає в тому, що частинки золи, стикаючись із стінкою труб, збивають з поверхні мікроскопічні частинки металу. На подолання сил щеплення між молекулами металу необхідно витратити енергію, величина якої у першому наближенні пропорційна вазі зруйнованого металу. Золоче зношення повинно визначатись потоком енергії, який набігає з частинками золи на стінку. Конвективні поверхні нагріву парових котлів, при спалюванні у них твердого палива, зношуються під впливом золи і частинок палива, які не згоріли. Зношення бувають настільки великими, що в окремих випадках необхідною є заміна поверхонь нагріву котлів вже через 2 – 3 роки експлуатації, оскільки товщина стінок труб стає меншою, ніж товщина яка здатна чинити опір внутрішньому тиску. Золоче зношення металу труб є результатом механічної взаємодії твердих частинок, які знаходяться у потоці димових газів, і крім швидкості і концентрації, визначається ще їх температурою, ступенем нерівномірності полів швидкості і концентрації по перерізу газоходу, геометрією трубного пакета, фракційним складом золи, твердістю, міцністю і формою золових частинок. Майже усі ці чинники в умовах експлуатації можуть істотно змінюватись. Багатофакторність золового зношення дає підстави припустити стохастичний характер обумовлюваного ним процесу.

Механізм руйнування матеріалів при ерозійному зношенні остаточно не вивчений. Що стосується котельного обладнання, то тут найбільш ймовірним є втомний механізм зношення під впливом багатократної дії абразивних зерен золи і вугільного пилу на метал труб. У деяких випадках механічний характер взаємодії може підсилюватись корозійними процесами, які викликають утворення на поверхнях труб продукти корозії. Останні мають менші сили щеплення з основним металом стінки і тому легше відокремлюються під впливом дотику абразивного матеріалу [4].

Зношення поверхонь нагріву має загальний і місцевий характер. Найбільш небезпечним вважається місцеве зношення, хоча воно охоплює лише окремі ділянки поверхні нагріву, але відбувається у декілька разів інтенсивніше, ніж загальне, і тому цей вид зношення найчастіше призводить до непланових зупинок обладнання. Для запобігання пошкодженням поверхонь через золоче зношення необхідно здійснювати періодичний контроль стану труб. Ефективність контролю буде досить високою, якщо відоме розташування найбільш вразливих місць поверхонь нагріву.

Найчастіше пошкодження мають такі поверхні нагріву котлів:

- конвективні пароперегрівники, розміщені перед поворотною камерою, особливо крайні змійовики по усій довжині, що прилягають до стінок, а також нижні згини труб;
- поверхні нагріву, що розташовані в опускному газоході (після поворотної камери), особливо у щільних шахматних пучках;
- перший ступінь економайзера, де внаслідок зниження температури газового потоку підвищується концентрація золи і зменшується кінематична в'язкість газів (збільшується ймовірність зіткнення золових частинок зі стінкою труби);
- повітропідігрівники котлів. Золове зношення труб носить місцевий характер (зношення локалізується по глибині труби, периметру труби і окремих трубах, причому найбільше зношення золою відбувається завглибшки від одного до двох з половиною діаметрів труби через стискування потоку на вході).

Отже, механізм ерозійного зношення, як зазначалось, є досить складним процесом, вивчення його потребує серйозних зусиль як експлуатаційного персоналу, так і наукових організацій.

Кінетична енергія, яку несе із собою зола, а також частинки палива, які не згоріли, визначається за формулою

$$E = \frac{G \cdot W^2}{2 \cdot g}, \quad (1)$$

де  $G$  – витрата золи у газовому потоці, кг/см<sup>2</sup>;

$W$  – швидкість золової частинки, м/с;

$g_0$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Швидкість можна визначити за формулою

$$G = k \cdot W, \quad (2)$$

де  $k$  – концентрація золи в об'ємі газу, кг/м<sup>3</sup>.

Підставивши формулу (2) в (1), одержимо питомий потік кінетичної енергії золи (3):

$$e = \frac{k \cdot W^3}{2 \cdot g}. \quad (3)$$

Згідно з формулою (3) інтенсивність золового зношення пропорційна до концентрації золи в об'ємі димових газів і куба їх швидкості.

Золове зношення за час напрацювання обладнання  $\tau$  на основі цих міркувань можна виразити рівнянням

$$I = c_1 \cdot k \cdot W^3 \cdot \tau, \quad (4)$$

де  $c_1$  – коефіцієнт пропорційності, який залежить від швидкості частинки.

Коротко розглянемо умови роботи сучасних пиловугільних котлів. Вже згадувалось, що більшість котлів, які знаходяться в експлуатації, виробили свій ресурс. Як правило, усі котли нещільні, присмокту повітря в топку і поверхні нагріву в них у декілька разів більші за нормативні. Наявність присмоктів повітря негативно впливає не тільки на економічність, але і на зношення поверхонь, розміщених у горизонтальних і опускних газоходах.

Присмокту повітря у топку і газоходи призводять до збільшення кількості димових газів, а значить і до збільшення їхньої швидкості. Як вже повідомлялось, інтенсивність зношення збільшується від швидкості руху газів у кубі.

З іншого боку, зношення поверхонь залежить також від концентрації золи у потоці димових газів (пропорційно до концентрації золи). Останнім часом котли перейшли на спалювання палива погіршеної якості. Через низьку теплотворну здатність палива, що зумовлено великою зольністю, його витрати на котел збільшуються. Спалювання великої кількості багатозольного палива призводить до істотного збільшення концентрації золи у димових газах, а значить і до збільшення зношення.

Розглянемо вплив зміни присмоктів повітря по тракту і зміну зольності палива на зношення поверхонь нагріву, а також оцінимо зміну зношення від присмоктів повітря, проведену від початкового значення коефіцієнта надлишку повітря, що дорівнює 1,20. При цьому умовно прийнято, що величина зношення дорівнює одиниці. При зміні коефіцієнта надлишку повітря змінюються витрати димових газів, а також і швидкість потоку, а від нього, як відомо, і зношення поверхонь.

Для оцінки впливу зношення від присмоктів повітря скористаємось рівняннями (5) і (6), які визначають кількість газів та їх об'єм (формула проф. С.Я. Корницького):

$$Q_G = V_G \cdot (\alpha + \Delta\alpha) \cdot B \cdot \frac{273 + T_G}{273}; \quad (5)$$

$$V_G = (a_0 \cdot b + c) \cdot \frac{Q_n^p + 6 \cdot W^p}{100} + 0,0124 \cdot W^p, \quad (6)$$

де  $V_G$  – об'єм димових газів,  $\text{нм}^3/\text{кг}$ ;

$\alpha$  – коефіцієнт надлишку повітря перед поверхнею;

$\Delta\alpha$  – присмокт повітря перед поверхнею;

$B$  – повна витрата палива,  $\text{кг}/\text{год}$ ;

$T_G$  – температура газів перед поверхнею;

$^\circ\text{C}$ ,  $Q_n^p$  – нижча теплота згоряння палива,  $\text{ккал}/\text{кг}$ ;

$W^p$  – вологість палива, %;

$a_0, b, c$  – безрозмірні коефіцієнти (для кам'яного вугілля  $a_0 = 1,09$ ,  $b = 1,112$ ,  $c = 0,054$ ).

Аналіз рівнянь дає підстави стверджувати, що кількість газів і їх швидкість змінюються переважно як від надлишків повітря, так і від зміни присмоктів повітря по тракту. Із збільшенням кількості газів одночасно із зростанням швидкості зменшується концентрація золи у топці. З одночасним врахуванням зазначених чинників на основі проведених досліджень побудовано залежність (рис. 1), що характеризує зміну умовного зношення поверхні нагріву від коефіцієнта надлишку повітря.

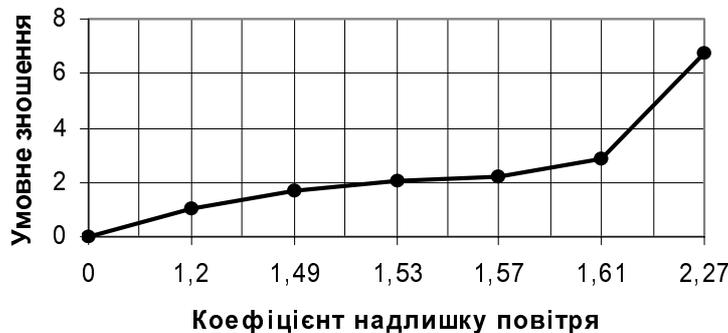


Рис. 1. Графік залежності величини умовного зношення від коефіцієнта надлишку повітря

Аналогічно можна оцінити зміну зношення поверхні від впливу зольності твердого палива. Вважаємо, що зольність палива змінюється від 15 до 40 %. Значення зольності 15 % приймемо за вихідне значення величини зношення, що умовно дорівнює одиниці. При визначенні величини зношення приймаємо, що витрата димових газів в усіх режимах однакова, а кількість золи змінна. На рис. 2 зображена динаміка зміни величини зношення поверхні від зольності палива.

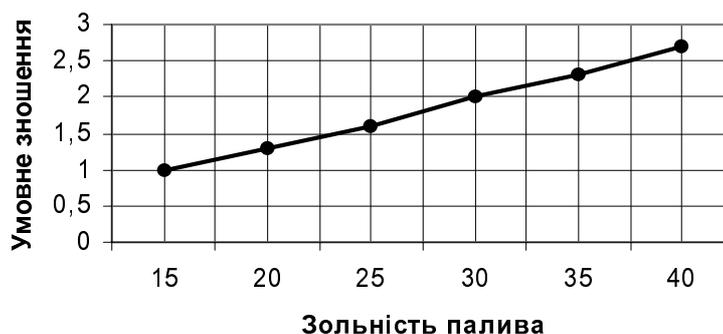


Рис. 2. Графік залежності величини умовного зношення від зольності твердого палива

Із показаних графічних залежностей видно, що стан котлів та якість палива істотно впливають на зношення поверхонь нагріву.

### Висновки

На підставі викладеного матеріалу можна зробити висновок, що для зменшення зношення поверхонь нагріву, елементів пилосистеми, пальників потрібно проводити заходи як режимного, так і конструктивного характеру для зменшення швидкості потоків при спалюванні високоякісного палива. А також встановлювати дірчасті коробки, відтинки труб, напрямні смуги, які сприяють вирівнюванню поля швидкостей по перерізу газоходу. Рекомендовані заходи дають змогу підвищити надійність поверхонь енергетичних котлів за умови використання твердого палива, яке має великий вміст золи.

1. Современная технология сжигания низкосортных низкорреакционных углей при реабилитации котлоагрегатов на энергоблоках мощностью 300 МВт / Н.А. Борисов, Й. Кен / Энергетика и электрификация. – 2002. – №3. – С. 16 – 21. 2. Використання технологій циркулюючого киплячого шару для спалювання відходів вуглезбагачення / Ю.П. Корчевой, М.А. Борисов, О.Ю. Майстренко, М.В. Чернявський, А. Еспель, Ж. Наке // Энергетика и электрификация. – 2002. – № 1. – С. 8 – 11. 3. Мисак Й.С., Івасик Я.Ф. Проблеми використання низькоякісних палив на ТЕС України / Вісник НУ "Львівська політехніка" "Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація". – 1999. – № 365. – С. 20 – 24. 4. Париллов В.А., Ушаков С.Г. Испытание и наладка паровых котлов. – М., 1986.