

<sup>1</sup>Шушляков О.В. <sup>2</sup>Чернокрилюк В.В. <sup>3</sup>Шушляков Д.О.

<sup>1</sup>Харківський національний університет будівництва та архітектури

<sup>2</sup>Представник компанії Riello S.p.A. у СНД

<sup>3</sup>Харківської національної академії міського господарства

## ГЕНЕРАТОРИ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

У статті розглянуті питання підвищення енергетичної та екологічної ефективності генераторів теплової енергії при спалюванні твердого палива шаровим способом з двома зонами піролізу.

**Ключові слова:** тверде паливо, шарове спалювання, новий спосіб спалювання палива, конструкції, генератор теплової енергії.

В статье рассматриваются вопросы повышения энергетической и экологической эффективности генераторов тепловой энергии при сгорании твердого топлива послойным способом с двумя зонами пиролиза.

**Ключові слова:** твердое горючее, послойное горение, новый способ сгорания топлива, конструкции, генератор тепловой энергии.

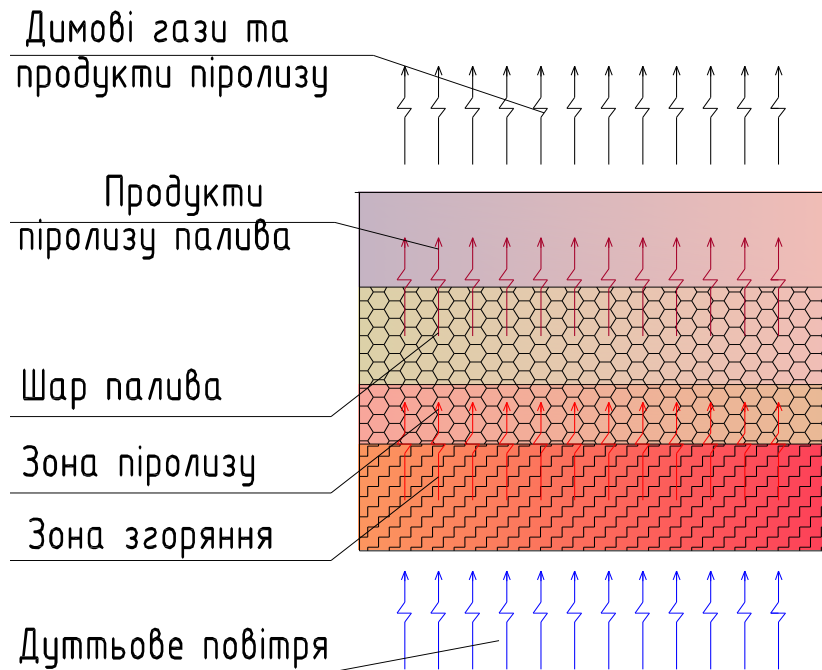
The article deals with improving energy efficiency and environmental generators of thermal energy by burning solid fuel ball way with two zones of paralysis.

**Keywords:** solid fuel burning layer, a new way to fuel combustion, design, generator heat.

**Постановка проблеми.** Моніторинг ринку обладнання для отримання теплової енергії показав, що на ринки України генератори теплової енергії (ГТЕ) постачають Німеччина, Польща, Чехія, Туреччина, Франція, Росія, країни Балтійського регіону та інші країни. ГТЕ, які поставляються, бувають електричні, газові, рідкопаливні, твердопаливні і комбіновані. Твердопаливні котли розрізняють за видами палива: котли, що працюють на вугіллі, торфі, дровах і на переробленому паливі. Традиційні види палива (газ, вугілля, рідкі види палива, одержувані з нафтопродуктів) постійно дорожчать, оскільки їх запаси зменшуються, збільшуються витрати на їх видобуток, переробку і транспортування, тому в даний час актуальною проблемою є пошук альтернативних видів палива і нових видів ГТЕ для більш ефективного спалювання цього палива.

**Виклад основного матеріалу.** В якості альтернативних видів палива можуть використовуватися різні відходи переробки біологічної сировини (відходи переробки деревини, сільськогосподарської продукції, промислових підприємств, наприклад, вугільної промисловості, тверді побутові відходи (ТПВ) комунальних підприємств, відходи комплексів з вирощування тварин і птахів, відходи очисних споруд стічних вод та інші відходи, здатні горіти).

В даний час тверде паливо, як правило, спалюється шаровим способом з подачею дуттьового повітря на горіння палива за схемою "знизу – вгору", при цьому втрати теплової енергії досягають 50% і більше. Схема шарового способу спалювання палива з подачею повітря знизу через колосникові ґрати показана на рис.1.

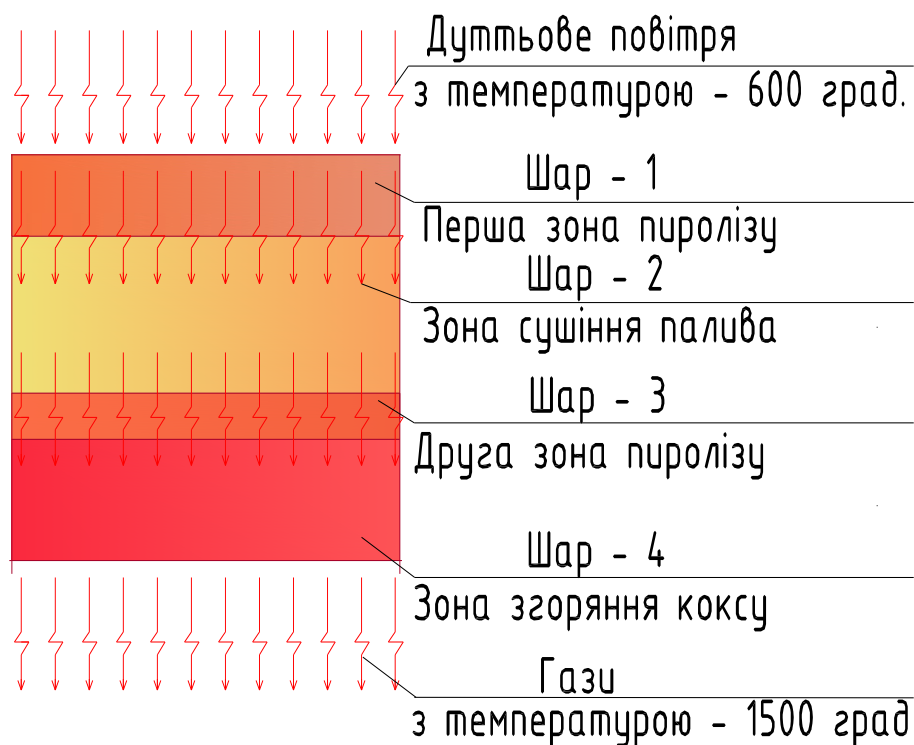


**Рис.1. Схема шарового горіння палива з подачею повітря "знизу – вгору"**

Як випливає з рис.1, над зоною горіння утворюється зона піролізу, в якій шар палива нагрівається до температури піролізу, відбувається повне або часткове випаровування вологи і газифікація палива з виділенням газоподібних компонентів палива: вуглецю, водню, кисню, азоту та інших газоподібних домішок, що містяться в паливі. В залишку буде міститися кокс і зола, які надходять в зону горіння, де кокс згорає з виділенням теплової енергії.

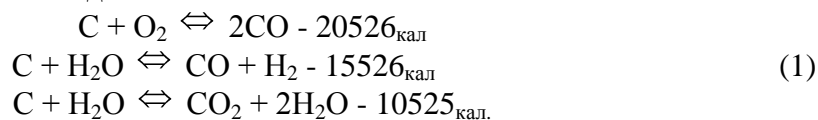
Газоподібні компоненти палива змішуються з димовими газами, частково згорають, але основна маса виноситься з ГТЕ і викидається в атмосферу, знижуючи ККД ГТЕ за рахунок хімічного недопалу. Якщо паливо подрібнене, то потоком газу дрібні частинки також можуть виноситися потоком димових газів з топки, знижуючи ККД ГТЕ за рахунок механічного недопалу. За рахунок викидів незгорілих компонентів палива і димових газів в приземному шарі атмосфери погіршується екологічна обстановка в регіоні.

**Аналіз отриманих результатів.** З метою зниження втрат теплової енергії і підвищення енергетичної та екологічної ефективності ГТЕ був запропонований новий спосіб шарового спалювання твердого палива з двома зонами піролізу [2, 3]. При цьому дуттьове повітря нагрівається вище температури піролізу палива (до 600 — 650°C) і подається на шар палива за схемою "зверху – вниз" [6].



**Рис. 2. Схема шарового горіння палива з подачею повітря "Зверху – вниз"**

У верхньому шарі палива відбувається нагрівання палива, вологи і випаровування вологи. При температурі часток палива вище температури піролізу, у верхньому шарі палива почнеться процес газифікації з виділенням газоподібних компонентів палива і парів води. Карбон, що виділився, буде вступати в хімічну реакцію з киснем повітря. Рівняння реакції будуть мати наступний вигляд:



Рівняння (1) для першої зони піролізу будуть ендотермічні, тому що при температурі менше  $700^\circ\text{C}$  взаємодія вуглецю з киснем супроводжується поглинанням теплової енергії, крім того, на нагрів палива і випаровування вологи теж витрачається тепло. Верхньою межею першої зони піролізу буде вільна поверхня палива, на якій температура дорівнює температурі дуттьового повітря

$$t_{\text{вг1зп}} = t_0 \quad (2)$$

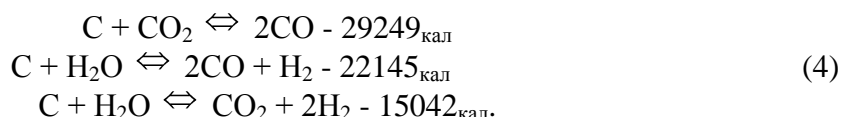
За ходом паро-газо-повітряної суміші тепло буде витрачатися на сушку палива і реакцію вуглецю з киснем, тому температура буде знижуватися. Нижньою межею першої зони піролізу і верхньою межею наступної зони (зони сушіння) будемо вважати умовну поверхню, на якій температура потоку газів і палива буде дорівнювати температурі піролізу палива  $t_{\text{п}}$ :

$$t_{\text{нг1зп}} = t_{\text{вгзс}} \leq t_{\text{п}}, \quad (3)$$

де  $t_{\text{нг1зп}}$ ;  $t_{\text{вгзс}}$  - температура, відповідно, нижньої межі першої зони піролізу і верхньої межі зони сушіння.

У зоні сушіння палива температура спочатку буде знижуватися, а потім почне підвищуватися за рахунок теплопередачі від більш нагрітого палива у другій зоні піролізу до менш нагрітого палива в зоні сушіння. Теплопередача буде здійснюватися за рахунок теплопровідності часток палива. Зниження температури в цій зоні обумовлено тим, що тепло буде витрачатися на видалення хімічно пов'язаної вологи з великих часток. Крім того, ка-

рбон буде взаємодіяти з киснем парів води з поглинанням тепла. Рівняння реакцій карбону з  $H_2O$  будуть мати вигляд:



Аналіз реакцій (1), (4) підтверджує те, що вільна енергія хімічних зв'язків карбону з киснем менше ніж інших хімічних речовин, тому карбон швидше інших газоподібних компонентів палива вступає в реакцію з киснем. При цьому, якщо температура газів менше  $700^\circ\text{C}$ , в основному утворюється  $CO$ .

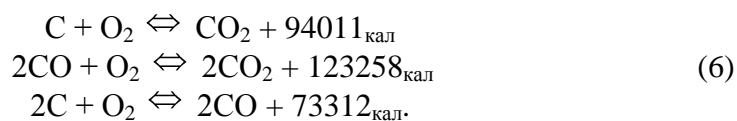
Нижньою межею зони сушіння і верхньою межею другої зони піролізу будемо вважати умовну поверхню, на якій температура потоку газів і палива знову буде дорівнювати температурі піролізу палива  $t_{\text{п}}$ :

$$t_{\text{нгзс}} = t_{\text{вг2зп}} = t_{\text{п}}, \quad (5)$$

де  $t_{\text{нгзс}}$ ;  $t_{\text{вг2зп}}$  - температура, відповідно, нижньої межі зони сушіння і верхньої межі другої зони піролізу.

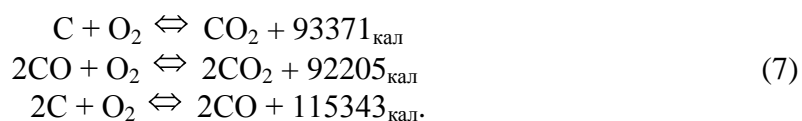
У другій зоні піролізу паливо нагрівається за рахунок теплопередачі конвекційним шляхом і за рахунок теплопровідності палива від зони горіння до другої зони піролізу. Радіаційний обмін практично дорівнює нулю.

Хімічні реакції взаємодії водню з киснем у другій зоні піролізу будуть мати вигляд:



З рівняння (6) видно, що при підвищенні температури вище  $700^\circ\text{C}$  хімічні реакції екзотермічні і протікають в основному з утворенням  $CO_2$ . Реакції(1), (4), (6) конвертовані, тому в процесі горіння палива, в залежності від температури в об'ємі топки, будуть утворюватися  $CO$  або  $CO_2$ . При температурі вище  $1000^\circ\text{C}$  більше утворюється  $CO_2$ .

Нижньою межею другої зони піролізу і верхньою межею зони горіння будемо вважати умовну поверхню, на якій температура потоку газів і палива буде дорівнювати температурі горіння палива  $t_{\text{г}}$ . Хімічні реакції карбону з киснем в зоні горіння будуть мати вигляд:



Аналіз хімічних реакцій процесу горіння палива дозволяє вважати, що чим вище температура газів, тим більше швидкість реакції і більше виділяється вільної енергії, при цьому більше утворюється  $CO_2$ . При низьких температурах збільшується кількість  $CO$  і зменшується виділення вільної енергії хімічних зв'язків.

В зоні горіння згорає кокс і всі продукти піролізу. В зв'язку з тим, що температура в шарі коксу досягає  $1500 - 1800^\circ\text{C}$ , то при проходженні продуктів горіння палива через шар коксу будуть згоряти всі небезпечні домішки, а пари води будуть частково дисоціюватися на водень і кисень. За рахунок кисню, що виділяється при дисоціації води, забезпечується більш повне згорання палива при меншому коефіцієнті надлишку повітря.

Для реалізації запропонованого шарового способу спалювання твердого палива була розроблена конструкція генератора теплової енергії з двома зонами піролізу (ГТЕДЗП) [5], у якого топка виконується з монолітних жаростійких елементів. Колосникові грати-

теплообмінник призначена для підігріву дуттьового повітря, а зольник суміщений з теплообмінником, в якому нагрівається теплофікаційна вода. Гази на виході з зольника очищаються за допомогою інерційного золовідділювача. ГТЕДЗП має трубчастий секційний теплообмінник з трубами змінного діаметра по ходу газу, який використовується для підігріву води для систем гарячого водопостачання.

Завантаження крупнокускового палива в ГТЕДЗП здійснюється вручну, а переробленого палива – пневмомеханічним способом. В якості палива для ГТЕДЗП може використовуватися будь-яке тверде паливо з вологістю не більше 40%.

При використанні в якості палива ТПВ комунальних або горючих відходів промислових підприємств димові газы очищаються за допомогою двоступеневої газоочисної установки (ДОУ). В якості першого ступеня можуть використовуватися пиловловлювачі вихрові з центральною трубою (ПВЦ), а в якості другого ступеня – вихрові турбулентні промивачі з пристроєм для створення високочастотних імпульсних коронних розрядів (ВТПКР) [4]. За допомогою ВТПКР проводиться одночасно комплексне очищення газів і рідини мокрим, сухим і електричним способами. Кожен із способів реалізується максимально можливим числом методів очищення. Ефективність очищення від зважених домішок становить 99,9%, а від газоподібних – 96% - 97%.

Крім ГТЕДЗП запропоновано комбінований генератор теплової енергії (КГТЕДЗП), в якому одночасно спалюються палива, що знаходяться в різних агрегатних станах, наприклад, тверде паливо і водновугільне паливо (ВВП). КГТЕДЗП відрізняється від ГТЕДЗП тим, що в зольник-теплообмінник вмонтований пальник ТВП, теплообмінник для підігріву води для ГВП виконаний на теплових трубах, заповнених рідиною з домішкою дисперсних частинок розміром  $1,0 \cdot 10^{-9}$  м. Дисперсні частки в зоні випаровування теплових труб збільшують кількість центрів утворення парових міхурів і за рахунок цього збільшується інтенсивність охолодження газів не менш ніж в 3 рази [1].

Відомо, що водно-вугільне паливо містить близько 60% вугільного пилу з розміром часток  $1,0 \cdot 10^{-9}$  м і 40% води. Для того, щоб ВВП зайнялося, необхідно підвищити температуру до температури дисоціації води. При цьому вода дисоціюється, утворюючи водень і кисень. Кисень активно вступає в хімічну реакцію з вуглецем (див. рівняння (6)), а водень буде згоряти в зоні змішування продуктів згоряння твердого палива та ВВП. В зв'язку з тим, що для спалювання твердого палива в топку ГТЕДЗП подається повітря більше теоретично необхідного обсягу, то в продуктах згоряння твердого палива завжди міститься деяка кількість кисню. При змішуванні продуктів згоряння твердого палива та ВВП буде відбуватися повне згоряння водню з виділенням теплоти, затраченої на випаровування води в ВВП. У КГТЕДЗП буде забезпечено повне згоряння всіх компонентів твердого та рідкого палива.

У ВВП міститься більше 40% води, тому відносна вологість продуктів згоряння палива буде підвищена, що буде сприяти коагуляції зважених домішок. При глибокому охолодження газів в газоводяному теплообміннику (в останній секції по ходу газів) буде відбуватися конденсація парів води з виділенням прихованої теплоти пароутворення, що буде підвищувати енергетичну ефективність КГТЕДЗП. Охолоджені димові газы з краплиною рідиною будуть надходити в вихровий турбулентний промивач ВТПКР для комплексного їх очищення і осушення перед викидом в атмосферу. Конденсат, який виділяється при осушення газів, очищатиметься в локальній системі оборотного водопостачання і повторно використовуватиметься для технічних потреб, в тому числі для приготування ВВП.

**Висновки.** Таким чином, генератори теплової енергії нового покоління відрізняються тим, що в їх топках відсутній хімічний і механічний недопал палива, зменшені втрати теплової енергії з димовими газами, забезпечується повнота згоряння палива, у тому числі при спалюванні палива, що знаходяться в різних агрегатних станах. Запропоновані конструкції можуть застосовуватися в якості незалежних джерел теплової енергії або як передтопки для існуючих газових котлів, при цьому котли можуть працювати на

будь-якому паливі. ГТЕДЗП і КГТЕДЗП можуть ефективно використовуватися в якості пікових підігрівачів в комбінованих системах теплопостачання.

### Література

1. Кузма-Кичта Ю.А. Кипение наножидкостей./ Кузма- Кичта Ю.А., Лавриков А.В., Цуриков Д.Ф.//Московский энергетический институт. Российский научный центр Курчатовский институт.

2. Патент на корисну модель 49221 Україна. Генератор теплової енергії / О.В. Шушляков, Д.О. Шушляков, С.В. Овчаренко – заявл. 02.10.2009; опубл. 26.04.2010. Бюл. № 8.

3. Пат.України № а201111435 Спосіб одержання теплової енергії і конструкція генератора теплової енергії з двома зонами піролізу професора Шушлякова О.В, дата подання 28. 09. 2011

4. Пат. України № 9454 Вихровий турбулентний промивач з пристроєм, що генерує імпульсні коронні розряди / М.І. Бойко, Л.В. Кириченко, Д.О. Шушляков, О.В. Шушляков; заявл. 17.05.2010, опубл. 10.05.2011, бюл. № 9.

5. Шушляков А.В. Повышение КПД генераторов тепловой энергии как фактор повышения их экологической эффективности / А.В. Шушляков, О.Ю. Паламарчук, С.В. Овчаренко // Науковий вісник будівництва. – В. 49. – Харків, ХОТВАБУ, 2008. – С. 285 – 295.

6. Шушляков А.В. Повышение энергетической и экологической эффективности систем теплоснабжения./ А.В. Шушляков, А.И. Бондарь//Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. Вип.3.-Харків – Кременчук, 2011. С.56-63.

*Поступила в редакцію 3 травня 2012 р.*