

УДК 536.621

**М. М. Чепурний**, к. т. н., доц.;**С. Й. Ткаченко**, д. т. н., проф.;**Н. В. Пішеніна**, асист.;**М. В. Бужинський**, студ.

## РЕКОНСТРУКЦІЯ ПАРОВИХ КОТЛІВ ДЛЯ СПАЛЮВАННЯ НИЗЬКОСОРТНИХ ТВЕРДИХ ПАЛИВ

*Запропоновано конструкцію парового котла для спалювання низькосортних твердих палив в низькотемпературному киплячому шарі.*

### Вступ

На теперішній час паливно-енергетичний комплекс країни опинився в скрутному стані через значну імпорту залежність в газовому паливі, ціни на яке постійно зростають. За останні роки скоротився видобуток вітчизняного твердого палива, а якість його помітно погіршилась. Внаслідок цього актуальною задачею стає пошук нових технологій для спалювання низькосортного вугілля замість спалювання природного газу в теплоенергетиці. Крім того, використання такого вугілля сприяла б підтримці гірничо-видобувної галузі. Однією з таких технологій є технологія спалювання твердих палив у киплячому шарі. Метод спалювання низькосортних твердих палив в киплячому шарі є однією з реальних і дешевих технологій використання високосірчастих і багатозольних палив [1—4].

Цей метод полягає в тому, що динамічна сила потоку повітря на частинку палива певної фракції в топці має дорівнювати силі земного тяжіння цієї частинки, внаслідок чого вона починає витати в топковому просторі. Якщо застосувати це явище для всіх частинок палива, що надходять в топку, то утворюється паливо-повітряне середовище певної висоти, яке має вигляд подібний до процесу кипіння. В наявній літературі пропонуються деякі нові конструкції парових котлів (парогенераторів) для спалювання твердих палив у киплячому шарі. Але за наших умов актуальною є задача пристосування існуючих типорозмірів парогенераторів для реалізації цього методу. На жаль, вітчизняній теплоенергетиці такого досвіду явно бракує.

В зв'язку з вищевикладеним ставилась задача здійснити реконструкцію типового котла, який працює на газоподібному паливі, з метою переведення його на спалювання низькосортних твердих палив, а також визначити основні показники його роботи.

### Основні результати

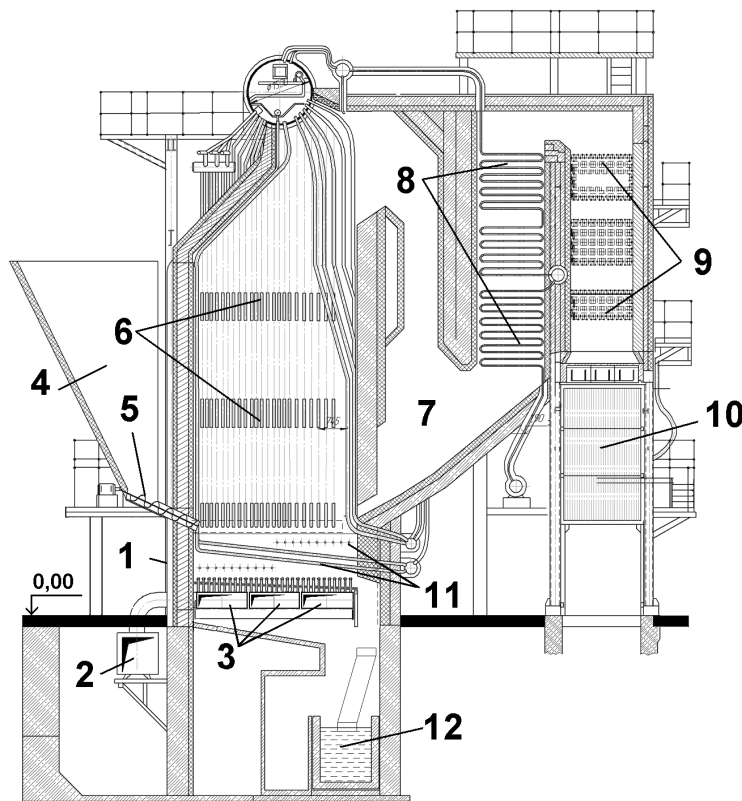
За базовий парогенератор, який підлягає реконструкції, вибраний типовий парогенератор БГ-35/40, установлений на Вінницькій ТЕЦ-1 і призначений для генерації 35 т/год. перегрітої пари з тиском 4 МПа і температурою 440 °С. Робочим паливом є природний газ з теплотою згорання 33,1 МДж/м<sup>3</sup>. Реконструкція котла здійснювалась за схемою з низькотемпературним киплячим шаром. При цьому передбачалось, що температура продуктів згорання на виході з киплячого шару не повинна перевищувати 900 °С з метою значного зменшення утворення оксидів азоту і сірки [5].

В процесі реконструкції було здійснено ряд перевірно-конструкторських розрахунків поверхонь нагріву парогенератора в зв'язку з переведенням його на спалювання донецького вугілля марки Д (відсів) з теплотою згорання 17,7 МДж/кг. Для зв'язування сірки та зменшення вмісту двоокису сірки в димових газах до палива додавався сорбент (вапняк) в пропорції 0,45 кг на один кілограм палива. Така пропорція давала можливість зменшити концентрацію SO<sub>2</sub> в продуктах згорання до такого значення, при якому не виникає конденсації водяної пари на поверхнях повітропідігрівника та унеможлиблюється низькотемпературна корозія цих поверхонь. Це дозволило зменшити температуру відхідних газів із котла до 125 °С.

На рисунку показано креслення реконструйованого парогенератора БГ-35/40, пристосованого для спалювання твердого палива в низькотемпературному киплячому шарі. Для створення кипля-

чого шару в топці котла замість поду змонтовано повітродозподільну решітку 1 з насадками. Повітря з повітропроводу 2 надходить в колектори 3 і далі в ковпачки повітродозподільної решітки, які виготовлені з термостійкої сталі. Повітря зі швидкістю 2,3...3 м/с надходить в топкову камеру і разом із паливом, яке надходить із бункера 4 за допомогою шнекових живильників 5, створює над решіткою так званий псевдокиплячий шар. Для запобігання провалу дрібних фракцій палива знизу топка обмежується металевою плитою з термостійкої сталі. Решітка і плита мають кут нахилу  $3^{\circ}$  у бік бункера шлаку 12. Повітродозподільна решітка з повітряними колекторами поділяють топку на три зони. Найбільша швидкість повітря створюється в першій зоні біля живильників палива. в другій зоні швидкість повітря зменшується внаслідок зменшення розмірів фракцій палива, які вже частково вигоріли. Найменша швидкість повітря створюється в третій зоні біля бункера для видалення шлаку. Конструкція решітки та гідродинамічний режим позонної подачі повітря дозволяє забезпечити спрямований рух палива в киплячому шарі від місця його подачі до місця видалення шлаку. Витрата подрібненого палива (дробленки) з розміром фракцій до 25 мм регулюється кількістю обертів шнекових живильників.

Для підтримання стабільної температури в киплячому шарі висотою в 1...1,2 м в нього занурено частину економайзерних і парогенерувальних поверхонь 11 з площею 10 і 45 м<sup>2</sup>, відповідно. Занурена частина економайзера складається із 20 труб діаметром 50 мм і довжиною 4 м, які перетинають топку паралельно фронтальній стінці. Занурені парогенерувальні поверхні складаються із 42 труб діаметром 76 мм і довжиною 4,5 м, які перетинають киплячий шар в повздовжньому напрямку і переходять у фронтальний екран.



Парогенератор БГ-35/40 з киплячим шаром:

- 1 — повітродозподільна решітка, 2 — повітропровід, 3 — повітряні колектори,  
 4 — бункер вугілля, 5 — шнековий живильник, 6 — екранні поверхні,  
 7 — «кишеня» для відсіювання уносу, 8 — пароперегрівник,  
 9 — конвективний економайзер, 10 — повітропідігрівник,  
 11 — занурені теплосприймальні поверхні, 12 — бункер видалення шлаку

В процесі реконструкції поперечний переріз топки збільшено на 0,7 м за рахунок перенесення тильної стінки. Реконструкція практично не змінила розмірів екранних труб 6 і фєстону, які працюють як доповнення до занурених парогенерувальних поверхонь. Але теплова потужність існуючих екранних труб зменшилась внаслідок зменшення температури в топці. Суттєвих змін

знали конструкції газоходів. Для уловлення фракцій, які не повністю прогоріли, газохід спроектовано таким, що він утворює так звану «кишеню» 7, де за рахунок зниження швидкості та сил тяжіння вони відфільтровуються і повертаються в третю зону на опалювання. Існуючий пароперегрівник 8 нарощується і переноситься в створений вертикальний газохід. Його площа поверхні нагріву збільшується в 1,7 рази, що зумовлено зменшенням температури димових газів на вході в пароперегрівник. Існуючий конвективний економайзер 9 конструктивно не змінився, але його площа поверхні нагріву зменшилась на 25 % завдяки тому, що частина економайзерних поверхонь занурена у киплячий шар. Площа поверхні нагріву повітропідігрівника 10 збільшилась на 87 м<sup>2</sup>, що дозволяє підігрівати повітря до стандартної температури 140 °С і зменшити температуру відхідних газів до 125 °С. Для наочності в табл. 1 зведені характеристики поверхонь нагріву та температурні режими існуючого та реконструйованого парогенератора.

Таблиця 1

#### Характеристики поверхонь і температурні режими типового і реконструйованого котлоагрегатів

Показники		Типовий котел	Реконструйований котел
Площа, м <sup>2</sup>	занурених поверхонь	–	55
	екранних труб	147	132
	фестону	123	123
	пароперегрівника	198	331
	економайзера	415	300
	повітропідігрівника	741	828
	поверхонь нагріву, загальна	1624	1769
Температура, °С	в топці	1820	900
	на виході з топки	1070	744
	перед пароперегрівником	940	700
	перед економайзером,	612	400
	перед повітропідігрівником	240	210
	відхідних газів	120	125
	гарячого повітря	140	140
	води на виході з економайзера	220	240

Із табл. 1 випливає, що забезпечення стандартних параметрів пари, води та повітря в реконструйованому паровому котлі досягається за рахунок збільшення поверхонь нагріву на 145 м<sup>2</sup>. Завдяки цьому його металоємність зростає на 4300 кг, а додаткові витрати на поверхні нагріву складають біля 155 тис. грн.

В табл. 2 наведені основні техніко-економічні показники роботи обох парогенераторів за умови: річний термін роботи 7200 год; вартість природного газу 2250 грн за 1000 м<sup>3</sup>; вартість вугілля 820 грн за тону; вартість вапняку 300 грн за тону. Розрахунки шкідливих викидів в атмосферу здійснювались за методикою [5].

Таблиця 2

#### Порівняльні техніко-економічні показники роботи котлів

Показники	Типовий котел	Реконструйований котел
Коефіцієнт корисної дії	0,915	0,885
Витрата робочого палива, м <sup>3</sup> /с; кг/с	0,92	1,77
Витрата вапняку, кг/с	–	0,796
Річні витрати на паливо, млн. грн.	53,654	38,076
Річні витрати на вапняк, млн. грн.	–	6,187
Загальні витрати на енергоносії, млн. грн.	53,654	44,263
Економія коштів на енергоносії, млн. грн.	–	9,391
Викиди NO <sub>x</sub> , г/с	13,664	6,695
Викиди SO <sub>2</sub> , г/с	–	35,821

Робота парового котла зі спалюванням твердого палива в низькотемпературному киплячому шарі характеризується зменшенням коефіцієнта корисної дії на 3 %, в основному, завдяки втратам теплоти від механічної неповноти згорання палива (втрати теплоти зі шлаком і золою). Порівняно з роботою типового котла майже вдвічі зменшуються викиди оксидів азоту, що зумовлено зменшенням утворення як термічних, так і швидких оксидів внаслідок зменшення температури в топці. Проте з'являються викиди діоксиду сірки. Розрахунки показали, що порівняно з іншими способами спалювання твердого палива, спалювання його в низькотемпературному киплячому шарі сприяє зменшенню викидів SO<sub>2</sub> на 50...55 % як за рахунок зв'язування сірки вапняком, так і за рахунок зменшення теплового напруження поперечного перерізу топки. Переведення котла на спалювання твердого палива за запропонованим методом не потребує значних капіталовкладень і дає значну економію коштів на енергоносії. Додамо також, що запропонована конструкція котла дає можливість спалювати відходи деревини та інші тверді відходи.

### Висновки

1. Переведення котлів на спалювання твердих палив у низькотемпературних киплячих шарах не потребує суттєвих конструктивних змін і капіталовкладень.
2. Зниження температурних режимів у газоходах котла сприяє надійнішій та довговічній роботі поверхонь нагріву.
3. Спалювання твердих палив і відходів забезпечує суттєву економію коштів на енергоносії.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Радованович М. Сжигание топлива в псевдооживленном слое : пер. с англ. / М. Радованович. — М. : Энергоатомиздат, 1990. — 248 с.
2. Баскаков А. П., «Котлы и топки с кипящим слоем / А. П. Баскаков, В. В. Мацнев, И. В. Распопов. — М. : Энергоатомиздат, 1996. — 352 с.
3. Вискин Ж. В. Сжигание угля в кипящем слое и утилизация его отходов / Ж. В. Вискин, В. И. Шелуженко, А. И. Иванов. — Донецк : Новый мир, 1997. — 284 с.
4. Казаков В. И. Современная технология сжигания твердого топлива в циркулирующем кипящем слое (ЦКС) на тепловых электростанциях / В. И. Казаков. — Екатеринбург : Урал, 2000. — 264 с.
5. Безгрешнов А. Н. Расчет паровых котлов в примерах и задачах / А. Н. Безгрешнов, Ю. М. Липов, Б. М. Шлейфер. — М. : Энергоатомиздат, 1991. — 240 с.
6. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). — СПб. : НПО ЦКТИ, 1998. — 256 с.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики

Надійшла до редакції 18.05.09  
Рекомендована до друку 15.06.09

**Чепурний Марко Миколайович** — професор; **Ткаченко Станіслав Йосипович** — завідувач кафедри; **Пішеніна Надія Володимирівна** — асистент.

Кафедра теплоенергетики;

**Бужинський Михайло Вікторович** — студент Інституту будівництва теплоенергетики та газопостачання.

Вінницькій національний технічний університет