

Wacław DOBRZAŃSKI

Wojciech SZWARC

Krzysztof JUREK

Andrzej PROKOP

Instytut Techniki Ciepłej

Politechnika Warszawska

INSTALACJA BADAWCZA Z CIŚNIENIOWYM KOTŁEM FLUIDALNYM

Streszczenie. W pracy przedstawiono opis instalacji badawczej z ciśnieniowym kotłem fluidalnym o mocy 3 MW, zlokalizowanej w laboratorium Instytutu Techniki Ciepłej Politechniki Warszawskiej. Omówiono założenia projektowe, dane techniczne oraz rozwiązania konstrukcyjne podstawowych układów i elementów instalacji.

1. WSTĘP

Zwiększający się udział w bilansie paliwowym wielu krajów niskojakościowych węgli o wysokiej zawartości popiołu i siarki oraz względy ekologiczne i ekonomiczne spowodowały rozwój technologii "czystego" spalania węgla. Obok opracowania i zastosowania technologii zmniejszających emisję do atmosfery pyłów oraz związków siarki i azotu z klasycznych urządzeń kotłowych w krajach rozwiniętych główne środki skoncentrowano na rozwoju dwu technologii: zgazowania węgla oraz kotłów z paleniskami fluidalnymi. Dotychczasowe wyniki badań nad procesem zgazowania węgla wskazują, że technologia ta może znaleźć zastosowanie w energetyce zawodowej nie wcześniej niż w przyszłej dekadzie. Zgromadzone do chwili obecnej doświadczenia w dziedzinie fluidalnego spalania węgla i stopień zaawansowania tej technologii dają podstawę do wyciągnięcia wniosku, że lata 90 w klasycznej energetyce zawodowej mogą stać się dekadą kotłów fluidalnych.

Wśród całego szeregu rozwiązań kotłów z paleniskami fluidalnymi jedynym typem właściwym dla bloków wielkiej mocy, instalowanych w energetyce zawodowej, są kotły z paleniskami ciśnieniowymi z warstwą stacjonarną (w przyszłości, być może, z warstwą cyrkulacyjną), pracujące w układzie parowo-gazowym bloku. Bloki tego typu, oferowane również Polsce przez koncern ABB, opierają się na doświadczeniach konstrukcyjno-eksploatacyjnych, uzyskanych na instalacjach pilotowych małych i średnich mocy. Nie uzyskano dotychczas danych z eksploatacji bloku w skali wielkoprzemysłowej. W tej sytuacji,

zdając sobie sprawę z licznych problemów związanych z budową i eksploatacją bloku parowo-gazowego z ciśnieniowym kotłem fluidalnym, uznano za celowe budowę w ramach CPBR-5.1 odpowiedniej instalacji badawczej, które to zadanie zlecono Instytutowi Techniki Ciepłej Politechniki Warszawskiej. Dałaby ona możliwość uzyskania danych dotyczących konstrukcji podstawowych węzłów i elementów urządzenia oraz ich eksploatacji z uwzględnieniem własności krajowych węgla energetycznych. Dane te mogą być wykorzystane w polskim przemyśle maszyn i urządzeń energetycznych, który, gdyby był tym zainteresowany, jest aktualnie technicznie zdolny do podjęcia produkcji prawie wszystkich elementów bloku parowo-gazowego z ciśnieniowym kotłem fluidalnym. Instalacja mogłaby również stanowić bazę do wstępnego szkolenia obsługi tego typu bloku.

2. ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE

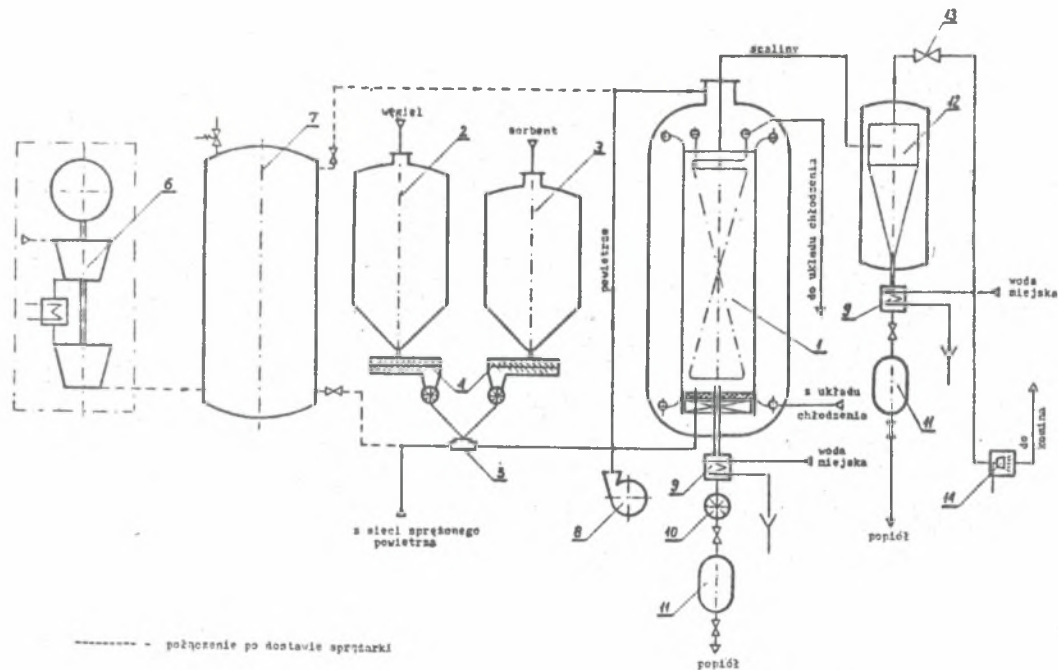
Projekt instalacji z ciśnieniowym kotłem fluidalnym został oparty na następujących założeniach:

1. Badawczy charakter instalacji narzuca rozwiązania konstrukcyjne niektórych węzłów i elementów pod kątem dostępności, możliwości przeprowadzania zmian, oprzyrządowania pomiarowego oraz uzyskania szerokiego zakresu parametrów roboczych;
2. Skala instalacji badawczej musi odpowiadać podstawowym warunkom techniczno-projektowym obiektu w skali technicznej z uwzględnieniem ograniczeń lokalizacyjnych (moc napędów potrzeb własnych, gabaryty i masa jednostkowa elementów);
3. Rozwiązania konstrukcyjno-projektowe i podstawowe parametry robocze instalacji muszą uwzględniać konkretne możliwości dostawców elementów instalacji oraz uwarunkowania finansowe i czasowe, wynikające z planu CPBR.

Uwzględniając powyższe założenia okazało się, że elementem narzucającym podstawowe parametry instalacji, a mianowicie moc cieplną kotła oraz ciśnienie w palenisku fluidalnym, jest sprężarka powietrza. Zamówiona w NRD sprężarka pozwala na uzyskanie mocy do 3 MW_t oraz nadciśnienia 0,6 MPa.

3. OGÓLNY SCHEMAT INSTALACJI

Schemat instalacji badawczej przedstawiono na rys.1. Główny element instalacji - ciśnieniowy kocioł fluidalny jest połączony z pięcioma układami: zasilania w powietrze, zasilania w paliwo i sorbent, odprowadzania spalin i chłodzenia. Instalacja oprzyrządowana jest aparaturą pomiarową z elementami sterowania.



Rys.1. Schemat instalacji badawczej z ciśnieniowym kotłem fluidalnym

1-ciśnieniowy kocioł fluidalny, 2-zasobnik węgla, 3-zasobnik sorbentu, 4-podajnik węgla/sorbentu, 5-strumienica, 6-sprężarka, 7-zbiornik wyrównawczy, 8-wentylator, 9-chłodnica popiołu, 10-dozownik popiołu, 11-zbiornik popiołu, 12-odpylacz cyklonowy, 13-zawór redukcyjny, 14-schładzacz spalin

Fig.1. The PFBC test installation diagram

1-PFBC boiler, 2-coal hopper, 3-sorbent hopper, 4-coal/sorbent feeder, 5-injector, 6-compressor, 7-equalizing tank, 8-fan, 9-ash cooler, 10-ash feeder, 11-ash storage, 12-cyclone, 13-pressure reducing valve, 14-flue gas cooler

4. CIŚNIENIOWY KOCIOŁ FLUIDALNY

Schemat ciśnieniowego kotła fluidalnego przedstawiono na rys.2. Kocioł typu wodnego składa się z dwóch głównych elementów: cylindrycznego zbiornika ciśnieniowego i zamkniętego w nim kanału spalin, mieszczącego palenisko fluidalne i rurowy wymiennik ciepła (elementy te zostały wykonane w SEFAKO wg dokumentacji konstrukcyjnej dostarczonej przez ITC PW).

Zbiornik ciśnieniowy o średnicy wewnętrznej 1400 mm i wysokości 4900 mm jest zamknięty dnami eliptycznymi, z których górne jest połączone z płaszczem zbiornika kołnierzowo. Przez górne dno jest przeprowadzony przewód wylotowy spalin z dławnicowym uszczelnieniem. Powietrze do kotła jest doprowadzone przez króciec wylotowy spalin, co zapewnia chłodzenie ścian zbiornika na całej jego wysokości. W dolnej cylindrycznej części zbiornika są umieszczone: otwór wiazowy ϕ 700 oraz króćce przepustowe przewodów pomiarowych i instalacji rozpalowej. Przez dolne dno zbiornika są przeprowadzone przewody dolotowy i wylotowy wody, zasilania w paliwo i sorbent oraz odpopielania paleniska. Kocioł jest posadowiony na 4 podporach przytwierdzonych do dolnego dna zbiornika.

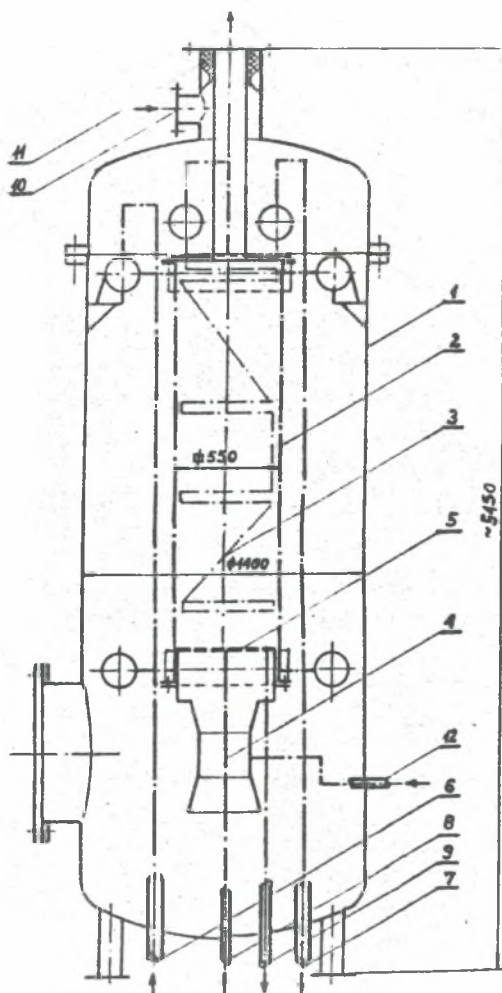
Kanał spalin, zawieszony na podporach w górnej części zbiornika, jest wykonany ze szczelnych ścian membranowych z rur ϕ 38 w podziałce 50 mm. Przekrój kanału wynosi 550x550 mm ($0,3 \text{ m}^2$, czemu odpowiada prędkość fluidyzacji 2 m/s przy mocy paleniska 3 Mw_t), jego wysokość 2870 mm. Rury każdej ze ścian są wprowadzone do oddzielnych komór górnych i dolnych. Ściany kanału są zakończone u góry i u dołu kołnierzami.

Górny wylot kanału spalin jest zamknięty przymocowaną do kołnierza pokrywą z wychodzącym z niej przewodem wylotowym spalin oraz przeprowadzonym przez nią konwekcyjnym wymiennikiem ciepła, wprowadzonym do kanału spalin. Wężownicowy wymiennik ciepła zbudowany jest z rur ϕ 26,9 w układzie przestawnym po 8 rur w rzędzie. Konstrukcja wymiennika jest dwupęczkowa, dolny pęczek zanurzony w złożu fluidalnym ma powierzchnię ogrzewalną $6,5 \text{ m}^2$ (całkowita powierzchnia ogrzewalna w obrębie paleniska fluidalnego, uwzględniając powierzchnię ścian membranowych, wynosi $9,9 \text{ m}^2$), pęczek górny, którego zadaniem jest schłodzenie spalin do poziomu 500°C - $6,1 \text{ m}^2$. Woda chłodząca przepływa kolejno przez cztery ściany kanału spalin i przez wężownice konwekcyjnego wymiennika ciepła.

Kanał spalin jest zamknięty od dołu rozdzielaczem powietrza typu kołpakowego. Przez płytę rozdzielacza jest przeprowadzony przewód paliwowy z umieszczonym nad nim stożkiem rozdzielczym oraz przewód odpopielania paleniska z wlotem na poziomie rozdzielacza.

Do skrzyni powietrznej rozdzielacza jest przytwierdzony gazowy palnik rozpalowy, którego konstrukcja umożliwia ciągłą zmianę w szerokim zakresie temperatury spalin.

Całkowita wysokość ciśnieniowego kotła fluidalnego wynosi 5450 mm.



Rys. 2. Schemat ciśnieniowego kotła fluidalnego

1-zbiornik ciśnieniowy, 2-kanal spalin ze ścian membranowych, 3-wężownicowy wymiennik ciepła, 4-rozpalowy palnik gazowy, 5-rozdzielacz powietrza, 6/7-wlot/wylot wody, 8-zasilanie w paliwo i sorbent, 9-odprowadzenie materiału złoża, 10-wlot powietrza, 11-wylot spalin, 12-zasilanie palnika rozpalowego

Fig. 2. The PFBC boiler diagram

1-pressure vessel, 2-tube wallas flue gas pass, 3-tubular heat exchanger, 4-gas start-up burner, 5-air distributor, 6/7-water inlet/outlet, 8-coal and sorbent feeding, 9-bedmaterial drain, 10-air inlet, 11-flue gas outlet, 12-start-up burner feeding

5. TRAKT SPALINOWY

Spaliny z kotła kierowane są do zbiornika ciśnieniowego, mieszczącego układ odpylania spalin. W chwili obecnej w zbiorniku jest zabudowany odpylacz cyklonowy, stanowiący I stopień układu (wykonany wg danych konstrukcyjnych Instytutu Energetyki). Za zbiornikiem jest umieszczony zawór redukcyjny (przewiduje się zamontowanie przed zaworem urządzenia do badania erozji łopatek turbinowych), skąd spaliny, po schłodzeniu ich wtryskiem wody, są kierowane do komina. Elementy ciśnieniowe traktu spalinowego są wykonane ze stali austenitycznej.

6. UKŁAD ZASILANIA W POWIETRZE

Głównym elementem układu zasilania w powietrze jest celkowa sprężarka rotacyjna typu 2VZWZ 125/396 produkcji VEB Kombinat Halle (NRD) o wydajności $2510 \text{ Nm}^3/\text{h}$ i ciśnieniu tłoczenia $0,7 \text{ MPa}$, zaopatrzona w chłodnice międzystopniową i końcową (dostawa sprężarki przewidziana jest w III kwartale 1990 r.). Ze sprężarki powietrze jest kierowane do zbiornika wyrównawczego, skąd przez zawór regulacyjny do króćca wlotowego kotła.

Powietrze do zasilania systemu pneumotransportu paliwa i sorbentu jest pobierane z sieci sprężonego powietrza Instytutu (możliwe jest również dodatkowe zasilanie zbiornika wyrównawczego strumieniem ok. $500 \text{ Nm}^3/\text{h}$ z tego źródła).

7. UKŁAD ZASILANIA W PALIWO I SORBENT

Pneumatyczny, ciśnieniowy układ zasilania kotła fluidalnego w paliwo i sorbent składa się z następujących elementów:

- zasobnika węgla o objętości $5,8 \text{ m}^3$,
- zasobnika sorbentu o objętości $1,8 \text{ m}^3$,
- dwu zespolonych podajników, składających się z połączonych szeregowo podajnika ślimakowego i dozownika celkowego, napędzanych silnikami elektrycznymi z regulowaną prędkością obrotową,
- strumienicy powietrznej do transportu pneumatycznego,
- przewodu doprowadzającego paliwo i sorbent do paleniska fluidalnego.

Podajniki węgla i sorbentu, podwieszane do zasobników, mają na wlocie wbudowane zasuwę odcinającą. Przewody zsypane obu podajników są połączone ze sobą nad strumienicą. Przestrzenie wewnętrzne zasobników są połączone z przestrzenią powietrzną kotła przewodami wyrównawczymi.

8. UKŁAD ODPOPIELANIA

UKład ten składa się z dwóch równoległych ciągów: odpopielania paleniska fluidalnego oraz odpopielania cyklonowego odpylacza spalin.

Ciąg odpopielania paleniska, podwieszony do króćca przewodu przelewowego w dolnym dnie zbiornika ciśnieniowego kotła, składa się kolejno z następujących elementów:

- chłodnicy popiołu z płytowym wkładem chłodzącym,
- dozownika celkowego, napędzanego silnikiem elektrycznym z regulowaną prędkością obrotową,
- kulowego zaworu odcinającego,
- zbiornika popiołu o objętości $0,9 \text{ m}^3$,
- dolnego kulowego zaworu odcinającego.

W analogicznym ciągu odpopielania odpylacza spalin nie umieszczono dozownika celkowego, zaś wkład chłodzący w chłodnicy popiołu jest typu rurowego.

9. UKŁAD CHŁODZENIA

Do chłodzenia dwu głównych elementów instalacji: ciśnieniowego kotła fluidalnego i sprężarki (chłodnice) wymagany jest strumień wody chłodzącej 50 t/h. Do tego celu został zaadaptowany istniejący w laboratorium ITC PW układ chłodzenia z wentylatorową chłodnią kominową i odpowiednim zespołem pomp obiegowych. Układ chłodzenia jest napełniany i uzupełniany wodą zmiękczoną, dodatkowo w systemie rurociągów został zainstalowany magnetyzer.

Do zasilania chłodnic popiołu i wtryskowego schładzania spalin woda jest pobierana z sieci wodociągowej.

10. UKŁAD POMIAROWY Z ELEMENTAMI STEROWANIA

Układ realizuje pomiar następujących wielkości:

- temperatur,
- ciśnień,
- różnicy ciśnień,
- prędkości obrotowej,
- składu chemicznego gazów.

W części analogowej układ pomiarowy został oparty na urządzeniach pracujących w przemysłowym standardzie sygnałów. Część analogowa jest połączona przy pomocy multipleksera z częścią cyfrową, bazującą na systemie z komputerem IBM PC/AT. Część cyfrowa układu realizuje przetwarzanie i rejestrację danych pomiarowych oraz zawiera elementy sterowania urządzeniami instalacji (prędkościami obrotowymi napędów, stopniem otwarcia zaworów z siłownikami pneumatycznymi).

11. REALIZACJA TECHNICZNA INSTALACJI

W chwili kończenia niniejszego referatu budowa instalacji badawczej z ciśnieniowym kotłem fluidalnym została praktycznie zakończona, poza zainstalowaniem na przygotowanym fundamencie sprężarki. Przeprowadzono próby poszczególnych elementów i urządzeń, zaś dla przeprowadzenia wstępnego rozruchu bezciśnieniowego instalacji w układ zasilania w powietrze wbudowano odpowiedni wentylator (poz.8 na rys.1)

Recenzent: prof. dr hab. inż. Tadeusz CHMIELNIAK

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД КОТЛА С КИПЯЩИМ СЛОЕМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Р е з ю м е

В работе проводится характеристика экспериментальной установки для изучения процессов сжигания топлива в кипящем слое под давлением 0,6 МПа. Тепловая мощность установки 3 МВ, она построена в лаборатории Теплотехнического института. Водяной котел с кипящим слоем построен в напорном резервуаре. Ротационный компрессор направляет воздух для пневмотранспорта топлива и его сжигания в кипящем слое. Высоту кипящего слоя регулирует напорное пневмослоудаление. Применено автоматическую систему управления с компьютером ПС/АТ. В настоящее время начался технологический пуск стеновой установки.

EXPERIMENTAL INSTALLATION WITH PRESSURIZED FLUIDIZED BED BOILER

S u m m a r y

The paper presents the pressurized fluidized bed combustion (PFBC) test installation. The installation of maximal thermal output 3 MW and combustion pressure 0,6 MPa is located at the Institute of Heat Engineering, Warsaw University of Technology. The PFBC water type boiler is integrated into the pressure vessel. The combustion air is fed by the rotary compressor. The fuel and sorbent are fed into the bed pneumatically. The height of the fluidized bed is controlled by the pressurized ash removal system. Flue gasses are cleaned in cyclones integrated into the separate pressure vessel. The measurement and control system is based on IBM PC computer. Now the installation is under commission.