
Spis treści

Wykaz ważniejszych oznaczeń	9
1. Wstęp	13
2. Sprawność i straty ciepłe kotła	16
3. Modernizacja w celu zmniejszenia straty wylotowej	25
3.1. Obniżenie temperatury spalin wylotowych	26
3.1.1. Modernizacja konwekcyjnych powierzchni ciśnieniowych	27
3.1.2. Modernizacja podgrzewacza powietrza	35
3.1.3. Sposoby intensyfikacji wnikania ciepła wewnątrz rur	40
3.1.4. Zwiększenie ilości ciepła przekazywanego w ROPP	41
3.1.5. Zwiększenie radiacyjnego współczynnika wnikania ciepła wewnątrz rur	44
3.1.6. Zastosowanie efektywnego systemu oczyszczania powierzchni ogrzewalnych z zanieczyszczeń popiołowych	44
3.1.6.1. Rodzaje i własności osadów popiołowych	45
3.1.6.2. Powstawanie osadów wysokotemperaturowych (WT)	51
3.1.6.3. Powstawanie osadów średnotemperaturowych (ST)	56
3.1.6.4. Urządzenia oczyszczające nadające się do zastosowania w kotłach	61
3.1.6.5. Określenie możliwego do osiągnięcia stopnia usunięcia osadów	69
3.1.6.6. Badania szybkości narastania osadów popiołowych i ocena stanu zanieczyszczeń w funkcji częstotliwości zdmuchiwania	71
3.1.6.7. Dobór optymalnej częstotliwości uruchamiania zdmuchiвачy na podstawie kryterium ekonomicznego	74

3.1.6.8.	Wpływ zanieczyszczeń na pracę regeneracyjnych obrotowych podgrzewaczy powietrza	83
3.1.7.	Zabudowa dodatkowego (nie włączonego w obieg czynnika w kotle) wymiennika ciepła	84
3.2.	Określenie zakresu bezpiecznego obniżania temperatury spalin wylotowych	84
3.2.1.	Punkt rosy spalin	84
3.2.2.	Metody określenia kwasowego punktu rosy	87
3.2.3.	Badania punktu rosy w kotłach	88
3.2.4.	Wnioski z pomiarów punktu rosy	91
3.2.5.	Praktyczne zależności do określania punktu rosy spalin	93
3.2.6.	Wpływ rozwiązań konstrukcyjnych podgrzewaczy rurowych na dopuszczalną temperaturę spalin wylotowych	95
3.2.7.	Zakres obniżenia temperatur spalin w regeneracyjnych obrotowych podgrzewaczach powietrza	97
3.2.8.	Podgrzewacz powietrza z rur ciepłych	99
3.2.9.	Wstępne podgrzewanie powietrza parą	101
3.3.	Dobór optymalnej temperatury spalin wylotowych	103
3.3.1.	Funkcja celu	103
3.3.2.	Określenie przebiegu zmiany sprawności kotła w funkcji obciążenia	106
3.3.3.	Schemat blokowy doboru temperatury spalin wylotowych	107
3.3.4.	Rozkłady temperatur spalin na odcinku od kotła do wylotu komina	111
3.3.4.1.	Rozkłady temperatury w odpylaczach kotłowych	111
3.3.4.2.	Wentylatory ciągu	112
3.3.4.3.	Wpływ układu odsiarczania spalin na rozkład temperatur	112
3.3.4.4.	Komin	118
3.4.	Obniżenie stosunku nadmiaru powietrza w kotle	118
3.4.1.	Ograniczenie przyssań powietrza do komory paleniskowej i ciągu konwekcyjnego	119
3.4.2.	Ograniczenie przyssań powietrza w podgrzewaczach powietrza	121
3.4.3.	Prowadzenie spalania przy mniejszym stosunku nadmiaru powietrza w palenisku	130
3.5.	Technika kondensacyjna	132
4.	Zmniejszenie emisji tlenków azotu	137
4.1.	Procesy powstawania tlenków azotu	137
4.2.	Wpływ parametrów pracy paleniska na emisję tlenków azotu	142
4.3.	Sposoby zmniejszenia emisji tlenków azotu	144
4.4.	Ocena efektywności metod zmniejszania emisji tlenków azotu	163
4.4.1.	Własności kaloryczne części lotnych węgla kamiennego	164
4.4.2.	Wpływ parametrów pracy na efektywność redukcji NO_x i własności eksploatacyjne kotła	168
4.5.	Wpływ szczelności komory paleniskowej na skuteczność pierwotnych metod denitracji spalin	172
4.6.	Ograniczenie emisji tlenków azotu w kotłach rusztowych	174
4.6.1.	Spalanie na ruszcie mechanicznym	174
4.6.2.	Ograniczenie emisji tlenków azotu	180

4.7.	Procesy korozji powierzchni ogrzewalnych komór paleniskowych w warunkach spalania niskoemisyjnego	184
4.7.1.	Wprowadzenie	184
4.7.2.	Podstawowe mechanizmy i warunki wystąpienia korozji ekranów	185
4.7.3.	Metody zapobiegania korozji ścian ekranowych	194
4.8.	Wpływ modernizacji układu paleniskowego na proces żużlowania	197
4.8.1.	Mechanizm procesu	197
4.8.2.	Wpływ własności paliwa	198
4.8.3.	Wpływ parametrów fizycznych procesu	200
4.8.4.	Wskaźniki określające skłonność węgla do żużlowania i zanieczyszczania powierzchni ogrzewalnych	203
4.9.	Przebudowa kotła pyłowego na fluidalny	208
4.9.1.	Przebudowa kotłów pyłowych na hybrydowe	208
4.9.2.	Przebudowa kotła pyłowego na fluidalny z warstwą pęcherzykową	211
4.9.3.	Przebudowa kotła pyłowego na fluidalny z warstwą cyrkulacyjną	212
5.	Modernizacja układu młynowego	215
5.1.	Jakość przemiału węgla do palenisk pyłowych	216
5.1.1.	Skład ziarnowy pyłu	216
5.1.2.	Wymagane granulacje pyłu do palenisk pyłowych	218
5.2.	Młyny stosowane do przemiału węgla i ich układy	224
5.3.	Modernizacje młynów wynikające z potrzeby zmniejszenia emisji tlenków azotu	228
5.3.1.	Poprawa jakości przemiału	229
5.3.2.	Zwiększenie wydajności układu mielącego	233
5.3.3.	Modernizacje w celu wyeliminowania osiadania pyłu w rurociągach	234
5.3.4.	Modernizacje młynów w celu uzyskania zróżnicowanej koncentracji pyłu w palnikach	236
5.3.5.	Poprawa rozdziału pyłu	238
5.3.6.	Poprawa dynamiki młyna	239
5.3.7.	Zmniejszenie zużycia energii elektrycznej	240
5.4.	Zastosowanie młynów węglowych do przemiału sorbentów mineralnych	242
5.5.	Mikronizacja węgla	243
6.	Modernizacja związana ze zmianą paliwa	245
6.1.	Wprowadzenie	245
6.2.	Zastąpienie węgla gazem ziemnym	247
6.3.	Zastąpienie węgla olejem opałowym	248
6.4.	Modernizacje w celu umożliwienia spalania różnych paliw w tym samym kotle	249
6.5.	Zjawiska vibracyjne w kotłach olejowych i gazowych	251
6.5.1.	Drgania generowane w komorze paleniskowej	251
6.5.2.	Drgania generowane w ciągu konwekcyjnym	256
6.5.3.	Metody pomiaru vibracji	261
6.5.4.	Sposoby przeciwdziałania drganiom	262
6.6.	Przystosowanie kotłów energetycznych do spalania biomasy	264
6.6.1.	Spalanie biomasy w osobnym palenisku	265
6.6.2.	Spalanie biomasy na ruszcie umieszczonym pod lejem żużlowym kotła	265

6.6.3.	Przemiał i pneumatyczne wprowadzanie biomasy do kotła	267
6.6.4.	Odgazowanie lub zgazowanie biomasy w urządzeniu zewnętrznym i dopalanie gazu w kotle	271
6.6.5.	Spalanie biomasy w zawieszinie wodnej przy użyciu palników olejowych	274
7.	Przedsięwzięcia służące zmniejszeniu erozji powierzchni ogrzewalnych kotłów	277
7.1.	Podstawy teoretyczne procesu erozji	278
7.2.	Eksplatacyjne sposoby zmniejszenia erozji pęczków konwekcyjnych	283
7.2.1.	Wpływ zmian obciążenia kotła na intensywność erozji	283
7.2.2.	Wpływ rodzaju paliwa na intensywność erozji	286
7.3.	Modernizacje w celu zmniejszenia erozji pęczków konwekcyjnych	288
8.	Modernizacja części ciśnieniowej w celu przedłużenia jej trwałości	294
8.1.	Zasady kompleksowej oceny stopnia zużycia elementów ciśnieniowych kotła	294
8.2.	Rozrzut temperatur pary w węzownikach przegrzewacza	298
8.3.	Wpływ schematu przepływowego przegrzewacza pary na rozkłady temperatur w komorach wylotowych stopni	308
9.	Zmiana wydajności i powiększenie zakresu dopuszczalnych zmian obciążeń kotła	312
9.1.	Przystosowanie kotła do pracy z wydajnością większą niż znamionowa	312
9.1.1.	Naturalny obieg wody w kotle	313
9.1.2.	Przegrzewacze pary	315
9.1.3.	Rozkład ciśnień pary w bloku	315
9.1.4.	Rozkład przyrostów entalpii w ekranach parownika i podgrzewaczu wody	316
9.1.5.	Układy młynowo-paleniskowe	318
9.1.6.	Część konwekcyjna kotła	318
9.2.	Powiększenie zakresu dopuszczalnych zmian obciążeń kotła	319
9.2.1.	Stabilność spalania	320
9.2.2.	Temperatury par pierwotnej i wtórnej	322
9.2.3.	Niedopuszczenie do wystąpienia rośnienia spalin	323
Załącznik		325
	Zależności do wyznaczania liczby Nusselta	325
	Stopień efektywności cieplnej Ψ	328
	Radiacyjny współczynnik wnikania ciepła α_r	330
	Opory przepływu spalin i powietrza przy poprzecznym omywaniu pęczków rur	332
	Opory przepływu spalin w rurach gładkich i po zastosowaniu intensyfikacji wnikania ciepła	334
	Parametry fizyczne czynników stosowanych do wypełniania rur cieplnych	335
	Przeliczniki emisji	335
Literatura		341
Skorowidz		359