

1456

STANISŁAW NIEWIADOMSKI

**MASZYNY i APARATY
PRZEMYSŁU CHEMICZNEGO**

Część I



PAŃSTWOWE WYDAWNICTWA TECHNICZNE

Prof. inż. STANISŁAW NIEWIADOMSKI



Arch. 233

66.02/66.04:371.67

MASZYNY i APARATY PRZEMYSŁU CHEMICZNEGO

Część I



W A R S Z A W A 1954

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWA TECHNICZNE

Opiniodawca
mgr inż. Stefan Gil

Redaktor naukowy PWT
inż. Wanda Wallmoden



1456

W książce podano opis typowych urządzeń i aparatów stosowanych w przemyśle chemicznym. W części pierwszej omówiono podstawy procesów spalania oraz urządzenia przeznaczone do prowadzenia i dalszego wyzyskania tych procesów, jak paleniska, generatory, piece i kotły parowe. Ponadto opisane są również metody ogrzewania za pomocą energii elektrycznej.

Centralny Urząd Szkolenia Zawodowego pismem z dnia 26.V.1954 r. Nr. VIII. PD zatwierdził książkę jako podręcznik dla Wydziału Aparatury Chemicznej Technikum Mechanicznego dla III klasy

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE

Redaktor techniczny B. Radzikowska Korektor techniczny T. Mikurecka

PWT, Warszawa 1954. Wydanie 1. Nakład 4.146 egz. Ark. wyd. 16,4. Ark. druk. 16,26. Format A5. Pap. druk. sat. kl. VII, 70 g, 86 × 122. Rękopis oddano do składania 29.VII.54. Podpisano do druku 6.XI.54. Druk ukończono 16.XI.54. Symbol 50097/ChI. Cena zł 12.—

Drukarnia im. Rewolucji Październikowej, Warszawa. Zam. 972a/54. 5-B-52005

1955 K2/4-3

16.11.54
Dime

Prof. inż. Stanisław Niewiadomski - Maszyny i aparaty przemysłu chemicznego

Błędy dostrzeżone w druku

Str.	Wiersz	Jest	Powinno być
43	18 od dołu	kcal/kf.°C	kcal/kg.°C
66	9 od dołu	o ejów	lejów
196	15 od góry	106 kG/m ²	106 kG m ²
206	19 od góry	kwasy siarkowego	kwasy siarkowego

SPIS TREŚCI

Rozdział I. Wstęp

1. Znaczenie przemysłu chemicznego	5
2. Podstawy rozwoju przemysłu chemicznego w Polsce	6
3. Rozwój przemysłu chemicznego w Planie 6-letnim	10
4. Pomoc ZSRR i współpraca z krajami Demokracji Ludowej	11

Rozdział II. Spalanie

5. Paliwa	12
6. Wartość opałowa	21
7. Współczynnik nadmiaru powietrza	27
8. Objętość gazów spalinowych	33
9. Temperatura spalania	37
10. Spalanie pyłu węglowego, paliwa ciekłego i gazowego	44

Rozdział III. Paleniska

11. Klasyfikacja palenisk	46
12. Paleniska ręczne	48
13. Paleniska o zasilaniu ciągłym	57
14. Paleniska mechaniczne	65
15. Palniki i paleniska do paliw gazowych, ciekłych i do pyłu węglowego	71
16. Materiały ogniotrwałe	82

Rozdział IV. Generatory

17. Procesy i reakcje chemiczne w generatorze	85
18. Generatory o rusztach nieruchomych	91
19. Generatory o ruszcie obrotowym i generatory na żużel ciekły	95
20. Urządzenia do zasilania generatorów paliwem	99
21. Produkcja gazu wodnego	102
22. Obsługa generatora i warunki bezpieczeństwa pracy	106
23. Gazyfikacja podziemna	110

Rozdział V. Piece

24. Klasyfikacja pieców	112
25. Piece szybowe	113
26. Piece trzonowe	117
27. Piece kręgowe i komorowe	123
28. Piece tunelowe	130
29. Piece obrotowe	133
30. Piece muflowe i piece z atmosferą ochronną	137

Rozdział VI. Kotły parowe

31. Wiadomości wstępne, Kocioł walczakowy	145
32. Kotły płomienicowe, płomieniówkowe i kombinowane	154
33. Kotły wodnorurkowe	162
34. Kotły opromieniowane i kotły wysokoprężne	170
35. Przegrzewacze, podgrzewacze i osprzęt kotłów	176
36. Przewody rurowe do pary i wody	184

Rozdział VII. Kominy i wyciągi

37. Ciąg	188
38. Kominy	192
39. Obliczanie kominów stalowych	194
40. Przewody wentylacyjne i wyciągi	198

Rozdział VIII. Oczyszczanie wody

41. Woda surowa i jej zanieczyszczenia	203
42. Zastosowanie wody	206
43. Oczyszczanie wody od zawiesin, koloidów i gazów	207
44. Zmiękczenie wody	214

Rozdział IX. Ogrzewanie elektryczne

45. Wiadomości wstępne	221
46. Materiały oporowe, ich oporność właściwa i dopuszczalna temperatura	223
47. Elektryczne piece oporowe	227
48. Piece łukowe	232
49. Piece indukcyjne, elektrodowe urządzenia grzejne, ogrzewanie pojemnościowe i ogrzewanie promiennikowe	236

Rozdział X. Magazynowanie materiałów

50. Magazynowanie otwarte i w budynkach	240
51. Magazynowanie węgla	247
52. Mechanizacja i obsługa transportu magazynów	249
53. Zasobniki	252
54. Ochrona przed pożarami. Urządzenia i przyrządy bezpieczeństwa	254

Wykaz piśmiennictwa	258
--------------------------------------	------------

Rozdział I

W S T Ę P

1. Znaczenie przemysłu chemicznego

Kraj nasz wszedł w okres niezwykle intensywnego rozwoju gospodarczego. Przemysł rozwija się i zwiększa swoją produkcję, wzrasta produkcja rolna, co rok buduje się więcej mieszkań, fabryk, szkół i budynków przeznaczonych do celów socjalnych i kulturalnych. Jedną z najszybciej rozwijających się gałęzi życia gospodarczego jest przemysł chemiczny. Jego produkcja w okresie ostatnich czterech lat (1950-1953) wzrosła 2,5 raza i jest 4,3 raza większa od produkcji przedwojennej. Tak szybki rozwój przemysłu chemicznego wynika z jego wielkiego znaczenia dla całej gospodarki narodowej.

Przemysł chemiczny jest przemysłem podstawowym. Na jego produkcji opierają się inne gałęzie przemysłu, których rozwój uzależniony jest od rozwoju przemysłu chemicznego. Od przemysłu chemicznego uzależnione są przemysły: włókienniczy (farby, włókna sztuczne), skórzany (garbniki), poligraficzny (papier, farby), górnictwo (materiały wybuchowe) oraz motoryzacja (paliwa ciekłe i wyroby gumowe) i inne.

Przemysł chemiczny wywiera wpływ również na inne dziedziny życia gospodarczego. Rolnictwo potrzebuje wielkich ilości nawozów sztucznych podnoszących wydajność gleby, środków owadobójczych chroniących rośliny przed szkodnikami itp., ochrona zdrowia — wielu lekarstw i środków leczniczych.

Jest zrozumiałe, że trzeba stworzyć potężny, nowoczesny, wszechstronnie rozwinięty przemysł chemiczny, aby móc produkować dużo wyrobów włókienniczych, książek, rowerów czy samochodów, aby podnieść poziom rolnictwa, zwalczać choroby i zapewnić należyłą ochronę zdrowia obywateli.

2. Podstawy rozwoju przemysłu chemicznego w Polsce

Podobnie jak powyżej przykładowo podane gałęzie przemysłu uzależnione są od przemysłu chemicznego, tak z kolei i przemysł chemiczny uzależniony jest od dostawy surowców (górnictwo, rolnictwo, leśnictwo), energii (górnictwo, energetyka) oraz maszyn, urządzeń i aparatów potrzebnych do produkcji (przemysł maszynowy). Toteż rozwój przemysłu chemicznego możliwy jest tylko przy odpowiednim zaopatrzeniu w surowce, zapewnieniu odpowiednich źródeł energii i dobrze rozbudowanym przemyśle budowy maszyn i aparatów dla fabryk chemicznych.

Zaopatrzenie w surowce. Dla rozwoju każdego przemysłu bardzo duże znaczenie ma istnienie bazy surowcowej, koniecznej dla danej produkcji. Przemysł więc rozwija się zwłaszcza w tych miejscach, gdzie ma dogodne zaopatrzenie w surowce. Brak surowców wpływa ujemnie na rozwój przemysłu, gdyż powoduje dodatkowe koszty transportu i uzależnia produkcję od dostaw surowców. Polski przemysł chemiczny pod względem zaopatrzenia w surowce znajduje się w warunkach korzystnych. Posiadamy w kraju obfite i różnorodne złoża mineralne, zawierające wiele podstawowych surowców dla przemysłu chemicznego. Rolnictwo i leśnictwo dostarczają również znaczną ilość surowców (zwłaszcza dla przemysłu tłuszczowego i papierniczego).

Istnieje możliwość zmniejszenia importu surowców dla przemysłu chemicznego przez zastąpienie ich surowcami krajowymi. Dużym osiągnięciem w tym zakresie było uruchomienie produkcji kwasu siarkowego z gipsu i anhydrytu (surowce krajowe) zamiast prowadzonej dotychczas produkcji kwasu siarkowego z pirytów, sprowadzanych z zagranicy.

Źródła energii. Oprócz surowców niezbędna dla produkcji jest energia, dzięki której z surowców można wytworzyć produkt gotowy. Ilość i rodzaj potrzebnej energii zależne są od rodzaju produkcji. Przemysł chemiczny w porównaniu z innymi przemysłami cechuje bardzo duże zapotrzebowanie energii.

Przemysł czerpie energię z następujących źródeł:

1. energii chemicznej pewnych ciał (zwanymi paliwami) wyzwolonej w postaci ciepła,

2. energii mechanicznej (potencjalnej i kinetycznej) wody,
3. energii mechanicznej atmosfery.

Z powyższych źródeł energii najważniejszą rolę odgrywa energia chemiczna paliw; dostarcza ona przeważającej części energii zużywanej do celów przemysłowych. Paliwem najpowszechniej stosowanym w przemyśle jest węgiel. Inne paliwa, np. torf, gaz ziemny, ropa naftowa, mają w przemyśle znaczenie podrzędne. Dokładniejsze omówienie paliw podane jest w jednym z następujących rozdziałów podręcznika.

Bardziej korzystne niż otrzymywanie energii z paliw jest wykorzystanie mechanicznej energii wody rzek. Energia taka jest tańsza. Otrzymanie jej nie powoduje zużycia tak użytecznych materiałów, jakimi są paliwa, wymaga jednak dużych wkładów inwestycyjnych (budowa zapór i zbiorników wodnych).

Oprócz omówionych poprzednio źródeł energii, wyzyskiwanych obecnie dla zaspokojenia potrzeb człowieka, w przyszłości energia atomowa będzie wykorzystywana dla dobra ludzkości. Zastosowana po raz pierwszy w czasie II wojny światowej przez Stany Zjednoczone jako broń masowej zagłady energia atomowa w Związku Radzieckim wyzyskiwana jest do pracy pokojowej.

W Związku Radzieckim dzięki wysiłkom pracowników naukowych i technicznych została uruchomiona pierwsza na świecie elektrownia wykorzystująca energię atomową.

Inne źródła energii poza energią chemiczną paliw i energią mechaniczną wody nie mają obecnie większego znaczenia dla celów przemysłowych.

Energia uzyskana przez spalanie paliwa może być bezpośrednio użytkowana w przemyśle tylko w tych wypadkach, gdy jest potrzebne uzyskanie energii cieplnej. Przemysł chemiczny oprócz energii cieplnej zużywa duże ilości energii elektrycznej i mechanicznej. W tym celu energia cieplna przekształcana jest w siłowniach w energię elektryczną. Energię mechaniczną otrzymuje się przez przekształcenie energii elektrycznej w silnikach elektrycznych lub cieplnej w silnikach cieplnych.

Energię otrzymaną przez wykorzystanie energii wody również przekształca się w energię elektryczną. Tylko bardzo małe zakła-

dy (np. młyny wodne) bezpośrednio wyzyskują energię mechaniczną wody.

Przemysł w Polsce opiera swoją produkcję głównie na energii otrzymanej z węgla kamiennego i produktów z przeróbki węgla (koks, gaz świetlny). Inne paliwa mają przeważnie zastosowanie lokalne, jak gaz ziemny (rzeszowskie), węgiel brunatny (Wielkopolska, Dolny Śląsk), torf (białostockie). Udział energii uzyskanej przez wykorzystanie energii wody jest nieznaczny. Rozbudowa elektrowni wodnych na większą skalę nastąpi w następnym planie 5-letnim w związku z rozbudową całej gospodarki wodnej w Polsce.

Przemysł budowy aparatury chemicznej w Polsce przedwojennej był słabo rozwinięty. Mimo stosunkowo niewielkiego zapotrzebowania na aparaturę, spowodowanego powolnym rozwojem przemysłu chemicznego, znaczna część aparatury sprowadzana była z zagranicy, gdyż przemysł krajowy jej nie wykonywał, chociaż posiadał potencjalne możliwości produkowania jej w dostatecznym zakresie. Polityka gospodarcza ówczesnego rządu oraz zależność naszego przemysłu od kapitalistów zagranicznych uniemożliwiały jego rozwój. Po wojnie, gdy rozpoczęła się odbudowa, a następnie rozbudowa i unowocześnianie przemysłu chemicznego, zaistniała konieczność znacznego powiększenia przemysłu budowy aparatury chemicznej.

Aparaturę chemiczną oraz maszyny i urządzenia, stosowane w fabrykach przemysłu chemicznego, można podzielić na dwie grupy. Do pierwszej zaliczane są różnego rodzaju aparaty i urządzenia, w których zachodzą właściwe operacje technologiczne, związane bezpośrednio z procesami wytwórczymi różnych gałęzi przemysłu chemicznego, do drugiej zaś — szereg maszyn i urządzeń technicznych o charakterze pomocniczym. Do pierwszej grupy urządzeń przemysłowych należą: reaktory, autoklawy, aparaty destylacyjne, rektyfikacyjne i ekstrakcyjne, dyfuzory, aparaty kontaktowe, saturatory, piece i niektóre urządzenia do rozdzielania ciał, miesadła oraz inne podobne aparaty. Do grupy drugiej zaliczamy: kotły i silniki parowe, wymienniki ciepła, silniki spalinowe i elektryczne, pompy, sprężarki, dmuchawy,

wentylatory, urządzenia transportowe, rozdrabniarki, przewody rurowe, zbiorniki, aparaturę pomiarową i kontrolną oraz inne urządzenia ułatwiające prowadzenie właściwych operacji technologicznych.

Oczywiście przemysł chemiczny nie może się obejść zarówno bez aparatów, w których zachodzą właściwe procesy technologiczne, jak i bez wymienionych wyżej maszyn i urządzeń pomocniczych. Przemysł budowy aparatury chemicznej wraz z przemysłami pokrewnymi (przemysł budowy maszyn) musi więc produkować dla przemysłu chemicznego wszelkie potrzebne mu aparaty, maszyny i urządzenia techniczne.

Władze Polski Ludowej doceniając znaczenie przemysłu budowy aparatury chemicznej dla przemysłu chemicznego, a tym samym dla ogólnej gospodarki narodowej w Planie 6-letnim przewidziały pięciokrotny wzrost produkcji tego przemysłu w stosunku do produkcji z roku 1949.

Ażeby można było to zrealizować, zorganizowano specjalne biura projektów, których zadaniem jest opracowywanie dokumentacji technicznej i przygotowywanie projektów maszyn, aparatów i urządzeń przemysłowych dla nowowznoszonych lub przebudowywanych fabryk chemicznych. Obecnie, w czwartym roku planu 6-letniego, przemysł budowy maszyn i aparatów przeznaczonych dla przemysłu chemicznego nie tylko wykonuje urządzenia i aparaty pomocnicze, jak pompy, sprężarki, dmuchawy, mieszadła, urządzenia transportowe, zbiorniki, przewody rurowe itp., ale również sporządza aparaty, w których zachodzą właściwe procesy technologiczne. Należą do nich reaktory, autoklawy, dyfuzory, aparaty destylacyjne i rektyfikacyjne, ekstrakторы i inne aparaty przemysłowe.

Bardzo ważnym zagadnieniem jest zasilenie przemysłu budowy aparatury chemicznej kadrą specjalistów, techników i inżynierów, gdyż przemysł ten odczuwa duży brak fachowców. W tym celu wprowadzono wykłady w zakresie maszynoznawstwa i aparatury chemicznej na wydziałach mechanicznych Szkół Inżynierskich oraz Politechnik i zorganizowano szkoły średnie przygotowujące specjalistów w tej dziedzinie.

3. Rozwój przemysłu chemicznego w Planie 6-letnim

Plan 6-letni postawił przed przemysłem chemicznym zadanie zwiększenia produkcji przeszło 3,5-krotnie (czyli około 5,8-krotnie w stosunku do produkcji przedwojennej).

Produkcja podstawowych produktów przemysłu chemicznego zgodnie z ustawą o Planie 6-letnim powinna osiągnąć w roku 1955 poziom następujący:

Produkt	Produkcja w roku 1955 w tys. tonn	Uwagi
Nawozy azotowe	230,8	w przeliczeniu na czysty składnik
Nawozy fosforowe	250,0	jak wyżej
Środki owadobójcze	26,9	
Soda kalcynowana	389,0	
Wodorotlenek sodowy (soda kaustyczna)	162,0	
Kwas siarkowy	540,0	
Barwniki	7,9	
Kauczuk syntetyczny	13,0	
Sztuczny jedwab	16,6	
Włókno steelonowe	2,0	
Celuloza	414,0	
Papier	530,0	
Penicylina	8 000,0 (miliardów jednostek)	

Około 7-krotnie zwiększy się produkcja środków leczniczych przy jednoczesnym znacznym rozszerzeniu asortymentu. Zostaną stworzone podstawy przemysłu tworzyw sztucznych i przemysłu syntezy organicznej; będzie uruchomiona produkcja takich artykułów jak paliwa syntetyczne, kwasy tłuszczowe, kauczuk syntetyczny, fenol. Rozwinie się chemiczny przemysł przetwórczy.

Przebieg realizacji Planu 6-letniego wykazał, że zadania nakreślone Planem nie tylko mogą być wykonane, ale znacznie przekroczone. W roku 1953 poziom produkcji osiągnięty przez

przemysł chemiczny był już około 2,5 raza większy niż w roku 1949. Osiągnięcia w realizacji Planu 6-letniego przemysłu chemicznego i całego przemysłu ciężkiego umożliwiły rozwinięcie produkcji środków spożycia. W latach 1954 — 1955 specjalnie będą się rozwijać te gałęzie przemysłu chemicznego, od których zależy produkcja rolnictwa i przemysłu lekkiego. Wytyczne w tym zakresie znajdują się w tezach przedzjazdowych IX Plenum KC PZPR, które głoszą między innymi:

„W rozwoju przemysłu środków wytwórczości należy zapewnić dalszy rozwój przemysłu chemicznego. Przy dalszym szybkim rozwoju produkcji surowców chemicznych należy przyspieszyć tempo rozwoju tych gałęzi przemysłu chemicznego, które zaspokoją potrzeby produkcyjne rolnictwa, oraz tych gałęzi, od których zależy wzrost produkcji w przemyśle artykułów konsumpcyjnych. W szczególności należy zapewnić zwiększenie produkcji kwasu siarkowego, produkcji nawozów sztucznych, zwłaszcza azotniaku, superfosfatu granulowanego, produkcji środków owadobójczych, produktów syntetycznych, mas plastycznych, włókien sztucznych, barwników szlachetnych i produktów farmaceutycznych“.

4. Pomoc ZSRR i współpraca z krajami Demokracji Ludowej

Bardzo poważnym czynnikiem umożliwiającym rozbudowę przemysłu w Polsce jest pomoc Związku Radzieckiego i współpraca z krajami Demokracji Ludowej. Związek Radziecki w latach międzywojennych, zdany wyłącznie na własne siły, rozbudował potężny, oparty na najnowszych zdobyczach nauki i techniki, przemysł chemiczny.

Poziom techniczny tego przemysłu wskutek pracy wielu wybitnych uczonych, inżynierów i racjonalizatorów radzieckich jest bardzo wysoki.

Osiągnięcia ZSRR w dziedzinie postępu technicznego mają duże znaczenie również i dla naszego przemysłu, gdyż Związek Radziecki pomagając budować przemysł w Polsce nie ogranicza się tylko do dostarczania nam maszyn, aparatów i urządzeń fabrycznych, ale dzieli się z nami swoimi doświadczeniami i osiągnięciami naukowymi i technicznymi, dostarcza projekty fabryk

ze szczegółową dokumentacją techniczną i przekazuje nowoczesne metody produkcyjne.

Oprócz Związku Radzieckiego przemysł polski współpracuje z przemysłami krajów Demokracji Ludowej, a w szczególności z Czechosłowacją, Niemiecką Republiką Demokratyczną i Węgrami, które dzielą się z nami swoimi osiągnięciami i dostarczają nam szeregu maszyn i urządzeń otrzymując od nas pomoc w tych dziedzinach techniki, w których zdążyliśmy je wyprzedzić.

Bratnia pomoc Związku Radzieckiego, współpraca z krajami Demokracji Ludowej, a przede wszystkim ofiarna praca i zapał tysięcy robotników, techników, inżynierów i uczonych polskich jest gwarancją, że nie tylko w krótkim czasie uzupełnimy nasze braki w dziedzinie postępu technicznego i rozbudowy przemysłu, ale dorównamy krajom, które wyprzedziły nas pod tym względem.

Rozdział II

SPALANIE

5. Paliwa

Głównym źródłem energii wykorzystywanej do celów technicznych jest paliwo. Poza paliwem ludzkość wykorzystuje energię potencjalną i kinetyczną wody, tzw. biały węgiel, oraz energię kinetyczną wiatru.

Energia kinetyczna i potencjalna wody ma duże znaczenie tylko w niewielu krajach pozbawionych węgla, a posiadających dobre warunki wyzyskania energii wody, np. w Szwajcarii, Szwecji. W krajach tych elektrownie wodne dostarczają przeszło 70% energii elektrycznej.

W Polsce z energii mechanicznej wody przed wojną wytwarzano zaledwie 4,4%, a w roku 1947 tylko 11,4% energii elektrycznej zużywanej na cele przemysłowe i do oświetlenia. Znacznie lepiej niż u nas przedstawia się sprawa wykorzystywania sił wodnych w ZSRR, gdzie po wojnie wybudowano kilka potężnych elektrowni wodnych, nie licząc szeregu zakładów średnich i mniejszych.

Rząd Polski Ludowej, doceniając znaczenie „białego węgla“ dla gospodarki narodowej dąży do usunięcia zacofania pod tym wzglę-

dem przez budowę nowych elektrowni wodnych w tych miejscach, gdzie to ze względów terenowych jest możliwe.

Energia kinetyczna powietrza wykorzystywana użytecznie w silnikach powietrznych, nazywanych powszechnie wiatrakami, nie posiada istotnego znaczenia dla przemysłu i gospodarki narodowej. W Holandii, kraju wiatraków, energia wytwarzana przez wiatraki stanowi tylko około 1,5% całej energii używanej w tym kraju.

Paliwo w Polsce i wielu innych krajach dotychczas jest najważniejszym źródłem energii. Zapasy jego jednak na świecie są ograniczone, należy więc zużywać wszelkiego rodzaju paliwa w sposób oszczędny, wyciągając z nich jak najwięcej korzyści gospodarczych. Oszczędne zużycie paliwa konieczne jest nie tylko ze względu na ogólną gospodarkę narodową czy ogólnoswiatową, ale również i ze względu na rentowność produkcji w przedsiębior-

Podział paliw

Tablica 1

Stan skupienia paliwa	Paliwo naturalne	Paliwo sztuczne
Stały	Węgiel kamienny Węgiel brunatny torf drewno	Węgiel drzewny koks brykiety pył węglowy
Ciekły	ropa naftowa	destylaty naftowe destylaty smoły węglowej spirytus
Gazowy	gaz ziemny	gaz świetlny gaz koksowniczy gaz generatorowy gaz wodny gaz wielkopiecowy

stwach przemysłowych. Są fabryki i zakłady przemysłowe, w których umiejętnie wytwarzanie energii cieplnej z paliwa oraz oszczędne jej zużycie decyduje nie tylko o rentowności, ale nawet o opłacalności produkcji a więc w związku z tym o istnieniu przedsiębiorstwa.

Paliwem nazywamy każdy materiał palny występujący w dużych ilościach, łatwo dostępny i dogodny dla transportu, który opłaca się spalać w celu otrzymania ciepła. Papier, deski, zboże, oliwa i bardzo wiele innych materiałów, chociaż świetnie się palą wydzielając dużo ciepła, nie są paliwem, gdyż nie opłaca się ich spalać dla otrzymania ciepła. Natomiast węgiel, koks, torf, ropa naftowa, gaz ziemny i szereg innych materiałów zaliczamy do paliw.

Paliwa dzielimy na dwie grupy: na naturalne i sztuczne, a każdą z tych grup na paliwo stałe, ciekłe i gazowe. W tablicy 1 podana jest klasyfikacja najważniejszych paliw według powyższego podziału.

Drewno stosowane jest w przemyśle głównie jako paliwo pomocnicze używane na rozpałkę, a jako paliwo zasadnicze — tylko w wyjątkowych przypadkach, przeważnie w postaci odpadków nie nadających się do innych celów przemysłowych. Jest to zbyt cenny materiał, ażeby można było go normalnie spalać w zakładach przemysłowych. Wilgotność drewna surowego wynosi od 30 do 50%, drewna zaś wysuszonego na powietrzu waha się w granicach od 15 do 25%. Zawartość popiołu w drewnie jest mała, mniejsza niż w innych paliwach stałych i rzadko przekracza 1%.

Torf jako paliwo przemysłowe ma w Polsce drugorzędne znaczenie. W stanie surowym zawiera do 60% wilgoci, a po wysuszeniu na powietrzu — od 20 do 25% wilgoci. Ilość popiołu w torfie wynosi od kilku do 50%. Torf zawierający więcej niż 20% popiołu nie jest stosowany w przemyśle do celów opałowych. Torf nie nadaje się do transportu kolejowego, gdyż zawiera dużo nieużytecznego balastu (wody i popiołu) oraz łatwo się kruszy z powodu małej wytrzymałości mechanicznej. Z tego względu stosowany jest jako paliwo tylko w pobliżu miejsca wydobycia.

Węgiel brunatny występuje w Polsce w wielu miejscowościach. Podobnie jak torf posiada znaczenie lokalne i poza miejscem wydobycia nie może konkurować z węglem kamiennym, gdyż zawiera dużo wilgoci (bezpośrednio po wydobyciu od 20 do 40%) i dużo popiołu, czasami nawet więcej niż torf.

Węgiel kamienny jest głównym i najważniejszym źródłem energii cieplnej. Znajduje się on na wszystkich kontynentach. Największe na świecie pokłady węgla kamiennego posiada ZSRR, poza

tym duże pokłady węgla są w Stanach Zjednoczonych, a w Europie — w Anglii, Niemczech i w Polsce.

Węgiel kamienny klasyfikuje się na: *długopłomienny* zawierający dużo części lotnych, które wydzielają się z węgla podczas spalania, i *krótkopłomienny* zawierający mało części lotnych; węgiel *spiekający* się dający koks w postaci spieczonych kawałków albo stopiony w większe bryły i *niespiekający* się dający koks w postaci proszku. Według zastosowania węgiel kamienny klasyfikujemy na *koksowniczy* dostarczający koks spieczony w zwarte bryły, a płomień krótki silnie świecący, *gazowniczy* dający koks spieczony w mniejsze kawałki, a płomień długi, i *kuźniczy* spiekający się i dający skoncentrowany pod spieczoną skorupą silny żar, natomiast palący się krótkim płomieniem. Według sposobu obróbki węgla w kopalni węgiel jest klasyfikowany na węgiel *płatany* w celu usunięcia z niego domieszek niepalnych i *niepłatany* oraz na *pospółkę*, która jest mieszaniną kawałków różnej wielkości i miału, i węgiel *sortowany* według wielkości kawałków. W zależności od wymiarów kawałków węgiel dzielimy na gruby I, gruby II, kostkę I, II i III, orzech, groszek I i II, grysik oraz miał I, II i III.

Antracyt jest to paliwo wydobywane głównie w ZSRR, Stanach Zjednoczonych i w Anglii; ma on błyszczący czarny kolor i gładką powierzchnię; paliwo to zawiera mało części lotnych, pali się płomieniem krótkim, niebieskawym i daje koks sproszkowany. W Polsce nie posiadającej pokładów antracytu nie jest on stosowany.

Brykiety stanowią paliwo sztuczne, wyrabiane z miału węgla kamiennego, brunatnego lub z miału koksowego przez prasowanie w temperaturze 60°C pod ciśnieniem 200 — 300 at z dodatkiem smoły jako lepiszcza w ilości 6 do 9%. Brykiety mają duże znaczenie gospodarcze, gdyż umożliwiają zużycie miału powstającego w wielkich ilościach przy wydobywaniu i magazynowaniu węgla kamiennych i brunatnych. Są one dogodnie dla transportu, przechowywania i palenia, nie wietrzeją i nie ulegają samozapaleniu.

Koks jako paliwo nie zawierające prawie wcale części lotnych spala się prawie bezdymnie i z tego powodu jest stosowany w przemyśle — w piecach hutniczych, generatorach, a poza przemysłem w kotłach do centralnego ogrzewania. Zapala się on tru-

dno, pali się płomieniem krótkim dając silny skoncentrowany żar. Rozróżniamy koks *hutniczy* i *gazowniczy*. Koks pierwszego rodzaju jest produktem destylacji rozkładowej (suchej destylacji węgla) w piecach koksowniczych; jest on spieczony w większe bryły, posiada dość dużą wytrzymałość na ściskanie oraz dość duży ciężar właściwy. Koks drugiego rodzaju jest produktem ubocznym otrzymywanym w wyniku destylacji rozkładowej węgla w gazowniach; jest on lżejszy, mniej ścisły i nie tak silnie spieczony jak koks hutniczy oraz posiada mniejszą od niego wytrzymałość mechaniczną.

Pył węglowy jako paliwo ostatnio nabiera coraz większego znaczenia, gdyż spalanie węgla w postaci pyłu zmniejsza jego zużycie, umożliwia otrzymywanie w palenisku wyższych temperatur i przynosi duże korzyści gospodarcze z tego względu, że na pył węglowy przerabia się mało użyteczny i tani miał. Pył węglowy można wytwarzać z węgla dowolnego gatunku. Proces wytwarzania jednak jest dość skomplikowany, gdyż rozdrobnienie pyłu powinno być stosunkowo duże (wymiarzy cząstek pyłu nie powinny przekraczać 0,07 mm). Wadą pyłu węglowego jako paliwa jest jego duża higroskopijność i wybuchowość oraz dość duże koszty otrzymywania.

Paliwa ciekłe. Do paliw ciekłych zaliczamy: ropę surową, naftę, benzynę, spirytus, mieszanki do silników spalinowych, olej gazowy, mazut (pozostałość po destylacji ropy), oleje ze smoły pogazowej, produktu destylacji węgla. Paliwa ciekłe są znacznie droższe od paliw stałych i gazowych; dlatego też używane są w tych przypadkach, gdy nie mogą być zastąpione paliwami innego rodzaju, np. stosowane są do napędu silników spalinowych na okrętach, samochodach i samolotach, gdyż zajmują mniej miejsca i są lżejsze niż paliwa stałe. Używa się ich w przemyśle do otrzymywania wysokich temperatur oraz w zagłębiach naftowych, gdzie spalane są gorsze gatunki ropy. W Polsce nie ma bogatych złóż roponośnych. Nasze zagłębie naftowe na Podkarpaciu jest małe i z tego powodu ropa naftowa jako paliwo przemysłowe ma znaczenie drugorzędne.

Paliwa gazowe dzielimy na paliwa *naturalne* — gaz ziemny — i *sztuczne* — gaz świetlny, koksowniczy, generatorowy, wielkopieczowy i inne. Gaz świetlny jest głównym, a gaz koksowniczy

ubocznym produktem destylacji rozkładowej węgla w gazowniach i koksowniach; gaz generatorowy powietrzny, wodny i mieszany powstaje przez zgazowanie koksu, węgla kamiennego, brunatnego, torfu i innych paliw stałych w odpowiednich urządzeniach, zwanych generatorami; gaz wielkopieczowy są to gazy spalinowe opuszczające wielki piec.

Gaz ziemny w Polsce znajduje się na Podkarpaciu w dość dużych ilościach. Przed wojną nie był on w dostateczny i właściwy sposób eksploatowany, toteż dość duże jego ilości marnowały się. Po wojnie Rząd Polski Ludowej usunął błędy gospodarki kapitalistycznej i zwiększając wydobycie gazu ziemnego wybudował przewód rurowy biegnący z zagłębia naftowego do Warszawy, dłu-

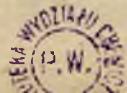
T a b l i c a 2

Orientacyjny skład i wartości cieplne paliw technicznych¹⁾

Nazwa paliwa	Ciepło spalania w kcal/kg*)	Wartość opałowa w kcal/kg*)	Zawartość procentowa				
			A (popiół)	C	H ₂	O ₂	H ₂ O
▲Węgiel śląski	7320	7100	4	83	5,1	10,1	5
▲Węgiel dąbrowski	6430	6100	6,3	73	5,5	10,3	11,6
▲Węgiel krakowski	5670	5200	12,1	64,5	5,4	10,3	15,2
▲Węgiel doniecki (ZSRR)	7050	6800	12,5	85,5	5,2	4,7	4
▲Węgiel brunatny (polski)	4193	4124	7,7	72,9	5,7	19,3	30
Koks	—	7300	10	87,5	1	—	1,5
▲Torf świeży	786	240	0,9	—	—	—	85
▲Torf suszony na powietrzu	4000	3560	4,5	58,8	5,3	33,4	25
▲Drewno świeże	2400	2000	0,25	50,4	6,2	4,3	50
▲Drewno suszone na powietrzu	4000	3650	0,42	—	—	—	51
Ropa naftowa	10300	9700	—	82,2	12,1	—	—
Mazut	10500	9900	—	86,5	12,5	—	—
Benzyna	11000	10600	—	84	16	—	—
Alkohol etylowy (bezwodny)		6400	—	52,18	13,04	34,8	—

* Ciepło spalania i wartość opałowa patrz pkt 6.

¹⁾ Pozycje oznaczone ▲ zaczerpnięto z książki prof. B. Stefanowskiego „Gospodarność cieplna siłowni przemysłowych“. PWSZ, Warszawa 1952.



gości kilkuset kilometrów, doprowadzający to paliwo do zakładów przemysłowych i do domów mieszkalnych.

Każde paliwo stałe, ciekłe i gazowe zawiera składniki palne, które łącząc się podczas reakcji spalania z tlenem powodują wydzielanie się ciepła, oraz składniki niepalne, które prawie zawsze stanowią balast szkodliwy dla procesu spalania. Do składników palnych należą przede wszystkim węgiel, wodór, a poza tym siarka, a do składników niepalnych — azot, woda oraz popiół. Oprócz wymienionych składników w paliwie prawie zawsze jest tlen, który chociaż sam się nie pali, bierze jednak czynny udział w spalaniu. Węgiel i wodór wchodzi w skład wszystkich paliw, pozostałe zaś składniki znajdują się w paliwach stałych, a niektóre również — w paliwach ciekłych i gazowych.

W tablicy 2 podany jest orientacyjny skład różnych paliw stałych i ciekłych, a w tablicy 3 przeciętny skład paliw gazowych.

Tablica 3

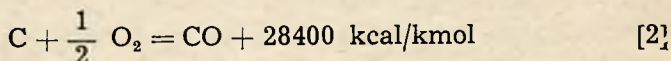
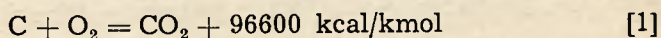
Przeciętny skład paliw gazowych

Nazwa paliwa	Zawartość procentowa							Wartość opałowa kcal/m ³
	CO	CO ₂	H ₂	CH ₄	Węglowodory	O ₂	N ₂	
Gaz ziemny	—	—	—	98,3	1,7	—	—	8300
Gaz świetlny	14	6	50	19,7	2	0,8	7,5	3650
Gaz koksowniczy	8	2	50	28,3	4	0,7	7	4450
Gaz wielkopieczowy	28	8	4	—	—	—	60	960
Gaz powietrzny	23	5	6	3	0,2	—	62,8	1140
Gaz wodny	42	5	49	0,5	—	—	3,5	2580
Gaz mieszany	28	3	12	3	0,2	—	53,8	1450

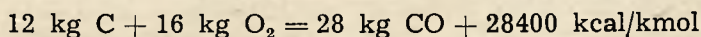
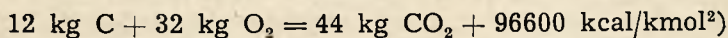
Jeżeli paliwo stałe poddać ogrzewaniu bez dostępu powietrza, to po osiągnięciu odpowiednio wysokiej temperatury wydzielają się z niego gazy. Paliwo rozkłada się w ten sposób na część lotną i stałą. Ilość gazów wydzielających się przy tym z paliwa charakteryzuje zdolność paliwa do dawania przy spalaniu długiego lub krótkiego płomienia.

Węgiel (C) jest głównym i najważniejszym składnikiem paliw stałych. W paliwie znajduje się on w stanie związanym wchodząc

w skład dość skomplikowanych związków organicznych. Przy spalaniu węgiel łączy się z tlenem albo na dwutlenek węgla, przy czym wydziela się ciepło w ilości około 96 600 kcal/kmol, ¹⁾ albo na tlenek węgla wydzielając przy tym około 28 400 kcal/kmol. Reakcja spalania węgla przedstawia się więc w sposób następujący:

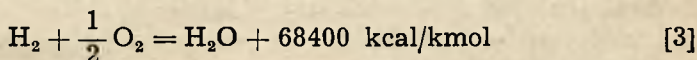


lub

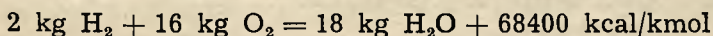


Wodór (H₂) znajduje się w paliwach stałych również w postaci związanej: wchodzi w skład związków organicznych oraz wody. W obliczeniach technicznych dla uproszczenia zakładamy jednak, że związana jest jedynie część wodoru — tworzy ona z całkowitą ilością tlenu znajdującego się w paliwie wodę, pozostały zaś wodór jest wolny.

Ilość wodoru związanej z tlenem zgodnie z reakcją jego utleniania



lub



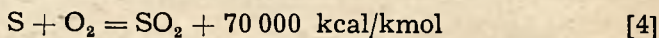
wynosi $\frac{1}{8} O$ kg, gdzie O jest ilością kg tlenu znajdującego się w paliwie. Ilość zaś wodoru wolnego, która może się spalić i wydzielić ciepło, wynosi $(H - \frac{1}{8} O)$ kg, gdzie H jest ilością kg wodoru zawartego w paliwie. Duża ilość wolnego wodoru w paliwie powoduje powstawanie przy spalaniu długiego płomienia.

¹⁾ Molem albo gramocząsteczką nazywamy ilość gramów jakiejś substancji, równą liczbowo jej ciężarowi cząsteczkowemu. Kilomol jest to ilość kg substancji, równa liczbowo ciężarowi cząsteczkowemu (1 kmol = = 1000 moli). Ciężar cząsteczkowy jest to stosunek ciężaru jednej cząsteczki substancji do 1/16 ciężaru atomu tlenu, przyjętej za jednostkę.

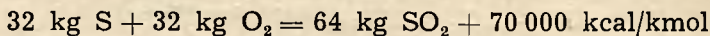
²⁾ Ciężar atomowy węgla = 12.

Przy spalaniu wodoru powstaje para wodna lub ciekła woda. W pierwszym wypadku wydziela się około 68 400 kcal/mol, a w drugim tylko około 57 700 kcal/mol. Różnica wynosząca 10 700 kcal/mol jest ciepłem parowania wody.

Siarka (S), chociaż przy spalaniu według reakcji



lub



wydziela ciepło w ilości około 70 000 kcal/kmol czyli 2250 kcal/kg, jest jednak szkodliwym i z tego powodu niepożądanym składnikiem paliwa. Szkodliwe działanie siarki polega na tym, że powstający przy spalaniu dwutlenek siarki (SO_2) nagryza metalowe części palenisk i kanałów dymowych, ścianki kotłów i aparatów przemysłowych ogrzewanych bezpośrednio gazami spalinowymi, działa niszcząco na otaczającą fabrykę roślinność itd. Zawartość siarki powyżej 5% czyni paliwo mało przydatnym do celów przemysłowych.

Tlen (O_2) jest niepożądanym składnikiem paliwa. Wiąże on wódór na wodę, zmniejszając ilość ciepła, wydzielającą się przy spalaniu paliwa.

Azot (N_2) nie bierze udziału w spalaniu stanowiąc balast. Zawartość jego w paliwie stałym jest mała (w węglu kamiennym normalnie mniej niż 1%, a w torfie dochodzi czasami do 3%) i z tego powodu wpływ jego na proces spalania nie jest bardzo duży.

Popiół. Zawartość popiołu w zależności od gatunku paliwa waha się w granicach od 0% w paliwie gazowym do 60% w palnych łupkach bitumicznych.

Popiół jest szkodliwym składnikiem paliwa, gdyż:

1. obniża ilość ciepła wydzielającego się przy spalaniu,
2. powoduje stratę ciepła w żużlu,
3. zanieczyszcza ruszt szlaką, przez co utrudniony jest dopływ powietrza do paleniska,
4. działa niszcząco na obmurze paleniska.

W skład popiołu wchodzi tlenki żelaza, krzemu, glinu, wapnia i magnezu. Podczas spalania paliwa popiół w zależności od swego składu albo przybiera postać ciała sypkiego i spada do paleniska,

albo tworzy stopione kawałki, które — gdy są porowate — noszą nazwę żużlu, a gdy są ściśle nazwę szlaki.

Żużle zależnie od składu bywają łatwo topliwe — gdy temperatura ich mięknięcia wynosi od 1000 do 1200°C, albo trudno topliwe — mięknią w temperaturze około 1300°C, a płynne są w temperaturze 1400°C. Łatwo topliwy żużel zalewa ruszt i utrudnia przez to dopływ powietrza do paleniska. Powoduje to spalanie paliwa przy niedostatecznej ilości powietrza, powstawanie wskutek tego tlenku węgla (CO) i związane z tym straty oraz komplikuje obsługę paleniska, gdyż zmusza do usuwania co pewien czas żużla i szlaki z powierzchni rusztów.

Woda (H₂O) wchodząca w skład paliw stałych jest niepożądanym balastem, gdyż obniża ilość ciepła wydzielającego się przy spalaniu paliwa nie tylko wskutek tego, że zmniejsza procentową zawartość w paliwie składników palnych, ale również i z tego względu, że na jej odparowanie w czasie spalania zużywa się około 600 kcal/kg. Wobec tego spalanie bardzo wilgotnych paliw nie jest wskazane; należy je uprzednio wysuszyć.

Procentowa zawartość wilgoci w różnych paliwach podana jest w tablicy 4.

Tablica 4
Wilgotność różnych paliw w ‰

Nazwa paliwa	Wilgotność paliwa	
	Suszonego na powietrzu	Zwy- kłego
Drewno	15—20	30—40
Torf	20—25	25—60
Węgiel bru- natny	10—30	20—50
Węgiel kamienny	1—10	2—20
Antracyt	0,5—1,5	1,5—5
Ropa naftowa	—	1—3

6. Wartość opałowa

Miarą jakości paliwa z punktu widzenia gospodarki cieplnej jest jego *wartość opałowa*. Jeżeli spalimy 1 kg paliwa stałego lub ciekłego, albo 1 m³ paliwa gazowego i odbierzemy od produktów spalania powstałe przy tym ciepło, chłodząc produkty spalania do temperatury początkowej powietrza i skraplając przy tym znajdującą się w nich parę wodną, to otrzymana ilość ciepła nazywa się *ciepłem spalania*. Wartością opałową zaś nazywamy ilość cie-

plą, którą otrzymamy przy spaleniu 1 kg paliwa i ochłodzeniu powstałych gazów spalinowych do temperatury początkowej powietrza w taki sposób, aby para wodna *nie uległa skropleniu*. Wobec tego wartość opałowa jest mniejsza od ciepła spalania o ilość ciepła, która się wydziela przy skraplaniu pary (dla paliwa gazowego ciepło spalania i wartość opałowa odnosi się do 1 m³ gazu, a nie do 1 kg gazu).

Zwykle gazy spalinowe opuszczające piece i kotły parowe mają temperaturę wyższą niż 100°C, a więc zawarta w nich para wodna uchodzi do komina nieskroplona i unosi ciepło skraplania, które nie jest wyzyskane. Z tego powodu dla techników wartość opałowa ma większe znaczenie od ciepła spalania.

Wartość opałową paliwa można określić przeprowadzając odpowiednie badania laboratoryjne, albo obliczyć na podstawie wzorów empirycznych.

Oznaczenie wartości opałowej metodą eksperymentalną wykonuje się dla paliwa stałego i ciekłego przez spalanie odpowiednio przygotowanej próbki w bombie kalorymetrycznej. Bomba (rys. 1) jest to grubościenne stalowe naczynie o pojemności koło 0,3 litra, zamknięte hermetycznie nagwintowaną pokrywą, w której znajdują się otwory zamykane korkami oraz dwa przewodniki elektryczne połączone ze źródłem prądu. Po przywiązaniu do przewodników bardzo cienkim drucikiem lub nitką bawełnianą o znanym cieple spalania odpowiednio przygotowanej i dokładnie zważonej próbki

Rys. 1. Bomba kalorymetryczna: 1 — korpus bomby, 2 — pokrywa, 3 — rurka do tlenu, 4 — otwory zamykane korkami, 5 — zaciski do przewodników elektrycznych

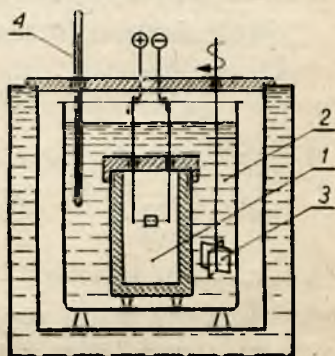
paliwa stałego pokrywą zakręca się hermetycznie; następnie wykręca się jeden z korków i napełnia bombę tlenem sprężonym do 25 at. Potem bombę z próbką umieszcza się w kalorymetrze (rys. 2) zawierającym odważoną ilość wody i zapala się ją włączając prąd elektryczny. Ciepło wydzielające się wskutek spalania się próbki

ogrzewa wodę w kalorymetrze. Znając początkową i końcową temperaturę wody, jej ilość oraz stałą kalorymetru można obliczyć ciepło spalania.

Dla określenia wartości opałowej należy oznaczyć ilość H_2O w produktach spalania. W tym celu bombę wyjmuje się z kalorymetru, łączy rurką gumową z dokładnie zważonym małym naczyniem zawierającym chlorek wapniowy ($CaCl_2$) i po otwarciu kurków przedmucha bombę suchym powietrzem. Po wysuszeniu bomby waży się naczynie z chlorkiem wapniowym, który w czasie przedmuchiwania pochłonął wilgoć. Przyrost ciężaru równa się ilości wilgoci w bombie, a więc ilości wody zawartej w spalanej próbce. Znając ilości wody w próbce można obliczyć procentową zawartość wilgoci w paliwie, a mnożąc ilość H_2O (wyrażoną w kg) zawartą w 1 kg paliwa, przez 600 (kcal/kg) i odejmując otrzymany wynik od wartości ciepła spalania można ustalić wartość opałową paliwa.

Obliczenie wartości opałowej przy pomocy wzorów empirycznych oparte jest na założeniach, że 1) paliwo, w którego skład w rzeczywistości wchodzi skomplikowane, powiązane ze sobą związki chemiczne, jest mieszaniną pierwiastków wykrytych w nim przy pomocy elementarnej analizy chemicznej, oraz wody i popiołu; 2) całkowita ilość tlenu, znajdująca się w paliwie, jest związana z wodorem na wodę. Przyjmując dla składników palnych paliwa odpowiednie wartości ciepła spalania oraz uwzględniając ich procentową zawartość w paliwie po przeprowadzeniu odpowiednich obliczeń otrzymuje się ciepło spalania paliwa, a odejmując od niego ciepło zużyte na odparowanie wody — jego wartość opałową.

Wobec tego, że paliwo w rzeczywistości nie jest mieszaniną pierwiastków, wody i popiołu, we wzorach na wartość opałową zamiast rzeczywistych wartości ciepła spalania poszczególnych pierwiastków występują wartości przybliżone tak dobrane,



Rys. 2. Kalorymetr: 1 — bomba, 2 — kalorymetr, 3 — miernik, 4 — termometr

aby obliczona wg tych wzorów wartość opałowia paliwa była zbliżona do wartości opałowej otrzymanej w sposób doświadczalny. Spośród wielu wzorów empirycznych, ustalonych w powyższy sposób, uzyskuje się dobre wyniki stosując wzory następujące:

1. Wzór znanego chemika rosyjskiego D. I. Mendelejewa

$$W = 8100 C + 29000 H - 2600 (O - S) - 600 H_2O \text{ kcal/kg} \quad [5]$$

2. Wzór chemika francuskiego Dulonga

$$W = 8140 C + 28700 \left(H - \frac{1}{8} O \right) + 2220 S - 600 H_2O \quad [6]$$

3. Wzór związku inżynierów niemieckich (V.D.I.)

$$W = 8100 C + 29000 \left(H - \frac{1}{8} O \right) + 2500 S - 600 H_2O \quad [7]$$

We wzorach tych litery C , H , O , S i H_2O określają ilości kg (lub udziały wagowe) węgla, wodoru, tlenu, siarki i wilgoci, zawarte w jednym kilogramie paliwa. Wzór związkowy (V.D.I.) często podawany bywa w postaci

$$W = 81 C + 290 \left(H - \frac{1}{8} O \right) + 25 S - 6 H_2O$$

gdzie C , H , O , S oznaczają zawartości procentowe odpowiednich ciał a H_2O — procentową zawartość wilgoci w paliwie.

Jak było wyjaśnione w pktcie 5, we wzorach tych $H - \frac{1}{8} O$ oznacza ilość wolnego, niezwiązanego z tlenem wodoru, który może się utlenić podczas spalania, a $\frac{1}{8} O$ jest ilością wodoru zgodnie z założeniami autorów wzorów związanego z O kg tlenu na wodę.

Wartość opałowia obliczona na podstawie powyższych wzorów różni się jednak od wartości opałowej tego paliwa, ustalonej w sposób doświadczalny przy użyciu bomby kalorymetrycznej. Różnica ta jest stosunkowo mała dla węgla kamiennego, koksu i antracytu, natomiast jest dość duża (dochodzi w niektórych przypadkach do 10% wartości opałowej) dla węgla brunatnego, torfu, drewna i innych paliw o małej wartości opałowej i dużej zawartości tlenu. Jeden z badaczy niemieckich Foerster ustalił metodą kalorymetryczną, że wartość opałowia pewnego gatunku węgla kamiennego wynosi: $W = 7330 \text{ kcal/kg}$, obliczona natomiast

ze wzoru związkowego (V.D.I.) wartość ta była równa $W_1 = 7250$ kcal/kg, a ze wzoru Dulonga $W_2 = 7230$ kcal/kg. Różnica więc pomiędzy wielkościami wartości opałowej ustalonymi przez niego w sposób eksperymentalny i rachunkowy wynosi około 1%. Większą różnicę wynoszącą przeszło 7% badacz ten otrzymał dla węgla brunatnego ustalając za pomocą bomby kalorymetrycznej, że dla pewnego gatunku węgla brunatnego wartość opałowa wynosi $W = 4690$ kcal/kg, a z obliczeń wynikało, że $W_1 = 4350$ kcal/kg. W tabelicy 2 podane są wartości opałowe i ciepło spalania najważniejszych paliw stałych.

Paliwo gazowe składa się z mieszaniny różnych gazów zarówno palnych, jak tlenek węgla (CO), wodór (H_2), metan (CH_4) i inne węglowodory jak i gazów niepalnych np. dwutlenek węgla (CO_2), azot (N_2), para wodna (H_2O), które stanowią balast. Skład chemiczny paliwa gazowego określa się zwykle w procentach objętościowych, a wartość opałową — w kcal/m³. W tabelicy 3 podany jest skład chemiczny niektórych paliw gazowych, a w tabelicy 5 — ciepło spalania i wartości opałowe najważniejszych gazów technicznych.

Oznaczanie wartości opałowej paliwa gazowego w sposób eksperymentalny wykonuje się albo za pomocą specjalnego kalorymetru konstrukcji Junkersa, albo przy pomocy obliczenia w przypadku, gdy znany jest skład objętościowy paliwa gazowego

$$W = \sum V_x \cdot W_x$$

We wzorze tym V_x oznacza objętość (w m³) poszczególnych gazów palnych zawartych w 1 m³ paliwa gazowego, a W_x — wartość opałową odpowiednich gazów (tabl. 5).

Temperatura zapłonu. Obserwując proces spalania się różnych paliw zauważymy, że jedne paliwa łatwo się zapalają np. suche

Tabela 5
Wartość opałowa i ciepło spalania
gazów technicznych w kcal/m³

Gazy	Wzór chemiczny	Wartość opałowa w kcal/m ³	Ciepło spalania w kcal/m ³
Wodór	H_2	2580	3060
Tlenek węgla	CO	3040	3040
Metan	CH_4	8490	9470
Etylen	C_2H_4	13440	14400
Etan	C_2H_6	16500	15060
Acetylen	C_2H_2	13910	13430

drewno, używane na podpałkę do rozpalania innych paliw, inne paliwa, jak koks, rozpalają się trudno. Własność łatwego lub trudnego zapalania się paliwa charakteryzuje tak zwana *temperatura zapłonu*. Jest to temperatura, do jakiej trzeba ogrzać paliwo, lub chociażby jakąś jego część, aby wywołać jego zapalenie się (zapłon).

Proces zapłonu i samozapłonu różnych paliw nie jest jeszcze do-tychczas dobrze zbadany. Stwierdzono jednak, że niektóre węglowodory cięższe zapalają się w niż-

Tablica 6
Temperatury
zapłonu niektórych paliw

Paliwo	Tempera- tura zapłonu w °C
Drewno	220—300
Torf	225—280
Węgiel brunatny	250—450
Węgiel kamienny	400—500
Koks	500—700
Ropa naftowa	530—580
Smoła (węglowa)	500—650
Wodór	450
Etylen	485
Tlenek węgla	590
Metan	645

szej temperaturze niż węglowodory lżejsze (etylen zapala się w temp. 485°C, a metan — w temp. 645°C).

Tym się tłumaczy, dlaczego torf i węgiel brunatny, które podczas suchej destylacji wydzielają dość dużo cięższych węglowodorów, mają temperaturę zapłonu niższą niż koks pozbawiony części lotnych.

Wysokość temperatury zapłonu, jak wykazały ostatnie badania uzależniona jest od ciśnienia, obecności gazów biernych (azot), nadmiaru powietrza i katalitycznego działania różnych ciał (np. ściśn. paleniska).

W tablicy 6 podane są temperatury zapłonu różnych paliw ustalone doświadczalnie.

Przykład 1. Na podstawie wzoru D. I. Mendelejewa i wzoru związkowego obliczyć wartość opałową węgla kamiennego o składzie C — 72%, H₂ — 3%, O₂ — 10%, S — 0,8%, N₂ — 1%, H₂O — 5% i A (popiół) — 8,2% i porównać otrzymane wyniki z wartością opałową tego węgla, ustaloną za pomocą bomby kalorymetrycznej i wynoszącą W = 6400 kcal/kg.

Rozwiązanie. Podstawiając do wzoru D. I. Mendelejewa, a następnie do wzoru związkowego udziały wagowe poszczególnych składników danego paliwa ze wzoru pierwszego otrzymamy

$$W_1 = 8100 \cdot 0,72 + 29000 \cdot 0,03 - 2600(0,1 - 0,008) - 600 \cdot 0,05 = 6433 \text{ kcal/kg}$$

a ze wzoru drugiego

$$W_2 = 8100 \cdot 0,72 + 29000 \left(0,03 - \frac{1}{8} 0,1 \right) + 2500 \cdot 0,008 - 600 \cdot 0,05 = 6340 \text{ kcal/kg}$$

Wobec tego różnica pomiędzy wartością ustaloną kalorymetrycznie a obliczoną ze wzoru D. I. Mendelejewa wynosi

$$\frac{W - W_1}{W} \cdot 100 \% = \frac{6433 - 6400}{6400} \cdot 100 \% = 0,55 \%$$

a pomiędzy wartością opałową kalorymetryczną i obliczoną ze wzoru związkowego wynosi

$$\frac{W - W_2}{W} \cdot 100 \% = \frac{6400 - 6340}{6400} \cdot 100 \% = 0,94 \%$$

Przykład 2. Obliczyć wartość opałową gazu wodnego (mieszanego) generatorowego o następującym składzie: CO — 27%, CO₂ — 2,5%, H₂ — 13%, CH₄ — 2,8% i N₂ — 54,7%.

Rozwiązanie. Składnikami palnymi danego gazu generatorowego są tlenek węgla, wodór, metan (wartości opałowe tych gazów podane są w tabelicy 5).

Ze spalania tlenku węgla powstanie

$$Q_{\text{CO}} = V_{\text{CO}} \cdot W_{\text{CO}} = 0,27 \cdot 3040 = 820,8 \text{ kcal}$$

ze spalania wodoru

$$Q_{\text{H}_2} = V_{\text{H}_2} \cdot W_{\text{H}_2} = 0,13 \cdot 2580 = 335,4 \text{ kcal}$$

i ze spalania metanu

$$Q_{\text{CH}_4} = V_{\text{CH}_4} \cdot W_{\text{CH}_4} = 0,028 \cdot 8500 = 238 \text{ kcal}$$

Wobec tego wartość opałowa gazu generatorowego o składzie podanym w warunkach zadania wyniesie

$$\begin{aligned} W &= \sum V_x \cdot W_x = V_{\text{CO}} \cdot W_{\text{CO}} + V_{\text{H}_2} \cdot W_{\text{H}_2} + V_{\text{CH}_4} \cdot W_{\text{CH}_4} = \\ &= 820,8 + 335,4 + 238 = 1394,2 \text{ kcal} \end{aligned}$$

Zadanie 1. Obliczyć wartość opałową koksu o następującym składzie C — 86%, H₂ — 0,6%, O₂ — 1,5%, N₂ — 1,6%, S — 1,1%, H₂O — 2,2%, popiół — 7%.

Zadanie 2. Obliczyć wartość opałową i ciepło spalania gazu wielkopieczowego o składzie CO — 27%, CO₂ — 8,5%, H₂ — 4,5%, N₂ — 60% oraz określić różnicę pomiędzy nimi.

7. Współczynnik nadmiaru powietrza

Oprócz paliwa do spalania potrzebny jest tlen. Spalanie paliwa jest bowiem reakcją utleniania jego składników. Ilość tlenu, która jest potrzebna do spalania palnych składników paliwa stałego tj. węgla (C), wodoru (H₂) i siarki (S), można obliczyć na podstawie

podanych poprzednio (w pktcie 5 na str. 19) równań chemicznych przedstawiających reakcje utleniania tych składników.

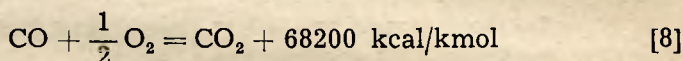
Z równań tych wynika, że:

1. Do spalania 12 kg węgla na dwutlenek węgla potrzeba 32 kg tlenu, czyli do spalania 1 kg węgla potrzeba $\frac{32}{12} = \frac{8}{3}$ kg tlenu.

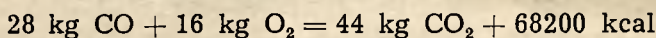
Wydziela się przy tym $\frac{96600}{12} = 8050$ kcal na 1 kg węgla.

Jeżeli węgiel spala się na tlenek węgla, to wystarczy $\frac{16}{12} = \frac{4}{3}$ kg tlenu na 1 kg węgla, ale wydziela się przy tym tylko $\frac{28400}{12} = \sim 2360$ kcal na 1 kg spalonego węgla.

Reakcja spalania węgla na tlenek węgla jest *spalaniem niezupełnym*, nie kończy bowiem procesu utleniania C, gdyż tlenek węgla w dalszym ciągu można spalać na CO₂ zgodnie z równaniem



lub



natomiast utlenianie węgla na CO₂ jest *spalaniem zupełnym*, gdyż CO₂ jest gazem niepalnym. Spalając węgiel na CO otrzymujemy o 96600 — 28400 = 68200 kcal/kmol mniejszą ilość ciepła, a więc spalanie niezupełne powoduje stratę ciepła wynoszącą około 70%.

2. Do spalania 2 kg wodoru trzeba zużyć 16 kg tlenu, a do spalania 1 kg wodoru — $\frac{16}{2} = 8$ kg tlenu.

3. Do spalania 32 kg siarki potrzeba 32 kg tlenu, czyli do spalania 1 kg siarki — 1 kg tlenu.

Jeżeli 1 kg paliwa stałego zawiera C kg węgla, H kg wodoru, S kg siarki, O kg tlenu, N kg azotu, H₂O kg wilgoci i A kg popiołu, to do spalania tego paliwa teoretycznie potrzeba $\frac{8}{3} C + 8H + S$ kg tlenu. Wobec tego, że paliwo zawiera tylko O kg tlenu, resztę tlenu w ilości

$$\text{O}_t = \frac{8}{3} C + 8H + S - O \text{ kg}$$

należy doprowadzić do paleniska z zewnątrz.

Źródłem tlenu jest powietrze, a że tlen trudno jest oddzielić od pozostałych składników powietrza, to zamiast czystego tlenu doprowadzane jest do procesu powietrze.

Suche powietrze można z grubsza rozpatrywać jako mieszaninę azotu i tlenu, przy czym azot stanowi około 79% objętościowych albo 77% wagowych całkowitej ilości mieszaniny, a tlen 21% objętościowych lub 23% wagowych. Wobec tego ilość powietrza potrzebna teoretycznie do spalania 1 kg paliwa o podanym powyżej składzie wynosi

$$L_t = \frac{100}{23} \left(\frac{8}{3} C + 8H + S - O \right) \text{ kg} \quad [9]$$

Teoretyczna ilość tlenu potrzebnego do zupełnego spalania 1 m³ paliwa gazowego zawierającego CO% tlenku węgla, H₂% wodoru, CH₄% metanu, C₂H₄% etylenu i O% tlenu wynosi

$$O_t = \frac{1}{2} CO + \frac{1}{2} H_2 + 2CH_4 + 3C_2H_4 - O \text{ m}^3$$

a odpowiadająca tej ilości tlenu teoretyczna ilość potrzebnego powietrza równa się

$$L_{ot} = \frac{100}{21} \left(\frac{1}{2} CO + \frac{1}{2} H_2 + 2CH_4 + 3C_2H_4 - O \right) \text{ m}^3 \quad [10]$$

Jeżeli do spalania paliwa doprowadzać tylko teoretycznie potrzebną ilość powietrza, to część węgla, jak wskazuje praktyka, ulega niezupełnemu spalaniu (na tlenek węgla), gdyż wskutek rozcieńczenia tlenu powietrza azotem nie wszystkie cząsteczki tlenu spotykają się z węglem i biorą udział w spalaniu. Wydziela się przy tym tylko 2420 kcal ciepła na każdy kilogram węgla, który spalił się niecałkowicie, zamiast 8080 kcal/kg otrzymywanych przy zupełnym spalaniu węgla.

Trzeba jeszcze zaznaczyć, że wytwarzający się przy niezupełnym spalaniu tlenek węgla, tzw. czad, jest gazem trującym, szkodliwym dla zdrowia, a nawet niebezpiecznym dla życia. Czad przy złym ciągu przez nieszczelności w paleniskach i piecach może się dostać do powietrza, którym oddychają ludzie, i spowodować zatrucie lub nawet śmierć.

Dla uniknięcia niezupełnego spalania i związanych z tym dużych strat ciepła, oraz czadu podczas procesu spalania należy do-

prowadzać więcej powietrza niż teoretycznie potrzeba. Jednak zbyt wielki nadmiar powietrza nie jest wskazany, chociaż daje większą pewność, że cała ilość węgla, biorąca udział w spalaniu, spali się całkowicie. Doprowadzanie powietrza potrzebnego do spalania w większym, niż to jest konieczne, nadmiarze powoduje obniżenie się temperatury spalania i zwiększenie strat kominowych. Ciepło, które wydziela się przy spalaniu, wykorzystywane jest do podniesienia temperatury reagentów i produktów reakcji. Jeżeli będzie doprowadzony zbyt duży nadmiar powietrza, to objętość produktów spalania, czyli gazów spalinowych, będzie duża i wskutek tego będą one ogrzane do niższej temperatury, natomiast gdy nadmiar powietrza nie jest za duży, temperatura spalin w palenisku jest wyższa. Temperatura gazów spalinowych, opuszczających instalację kotłową lub piec w kominie, przy ciągu naturalnym, wynosi przeciętnie od 200 do 300°C, a przy forsownym spalaniu jest nawet wyższa. Gazy więc unoszą dość dużą ilość ciepła, która — jako nie wykorzystana użytecznie — stanowi stratę kominową. Im nadmiar powietrza jest większy, tym więcej jest spalin, a więc tym większa jest strata kominowa.

Z powyższego wynika, że zbyt duży nadmiar powietrza nie jest korzystny, gdyż wpływa na obniżenie się temperatury paleniska i powoduje duże straty kominowe; natomiast zbyt mały nadmiar nie zapewnia zupełnego spalania całkowitej ilości węgla znajdującego się w palenisku, powoduje spalanie się części węgla na CO i w związku z tym — powstawanie dużych strat wskutek niezupełnego spalania. Nadmiar więc powietrza nie powinien być ani za mały, ani za duży.

Najkorzystniejszy z punktu widzenia gospodarki cieplnej nadmiar powietrza został ustalony dla różnego rodzaju paliw na podstawie praktyki.

Wielkość nadmiaru powietrza określa tzw. *współczynnik nadmiaru powietrza* λ , który jest stosunkiem ilości powietrza rzeczywiście doprowadzonego L do ilości powietrza teoretycznie potrzebnego do zupełnego spalania paliwa L_t , a więc:

$$\lambda = \frac{L}{L_t}$$

Najkorzystniejszy współczynnik nadmiaru powietrza ustalony praktycznie dla różnego rodzaju paliw podano w tablicy 7.

Z tablicy tej wynika, że współczynnik nadmiaru powietrza jest tym mniejszy, im łatwiej jest wymieszać powietrze z paliwem.

Tablica 7

Współczynnik nadmiaru powietrza

Paliwo	Palenisko	Współczynnik nadmiaru powietrza λ	Przeciętna temperatura w palenisku w °C
Węgiel kamienny	o zasilaniu ręcznym	1,5—2,0	} 1100—1350
„ „	taśmowe	1,3—1,6	
Węgiel brunatny	o zasilaniu ręcznym	1,5—1,8	} 1000—1200
„ „	schodkowe	1,3—1,5	
Drewno	szybowe	1,3—1,4	950—1200
Torf	„	1,3—1,4	950—1200
Ropa naftowa		1,2—1,3	1400—1500
Pył węglowy		1,2—1,4	1300—1450
Paliwo gazowe		1,1—1,25	—

Rzeczywista ilość powietrza, którą należy doprowadzić do paleniska, ażeby osiągnąć całkowite spalanie 1 kg paliwa stałego, wynosi:

$$L = \lambda \cdot L_t = \frac{100}{23} \left(\frac{8}{3} C + 8H + S - O \right) \cdot \lambda \text{ kg} \quad [11]$$

Bardzo często zachodzi konieczność ustalenia nie ciężaru, lecz objętości doprowadzanego powietrza. W tym celu obliczoną ilość powietrza (w kg) dzielimy przez jego ciężar właściwy, który w warunkach normalnych (0°C i 760 mm Hg) wynosi 1,293 kg/m³; w przypadku gdy temperatura powietrza wynosi t°C i ciśnienie — B mm słupa rtęci, wówczas ciężar właściwy powietrza równa się

$$\gamma = 1,293 \frac{273}{273 + t} \cdot \frac{B}{760}$$

Współczynnik nadmiaru powietrza doprowadzonego do spalania można obliczyć, jeżeli znany jest skład chemiczny gazów spalinowych ze wzoru

$$\lambda = \frac{1}{1 - \frac{79}{21} \cdot \frac{O - \frac{1}{2} CO}{N}} \quad [12]$$

gdzie O , CO i N oznaczają ilości tlenu, tlenku węgla i azotu, w procentach objętościowych, zawarte w gazach spalinowych.

Skład objętościowy gazów spalinowych ustalany jest zwykle przez przeprowadzenie ich analizy przy pomocy aparatu Orsata, w którym poszczególne składniki gazów spalinowych są kolejno pochłaniane przez odpowiednie związki chemiczne.

Przykład I. Obliczyć teoretyczną ilość powietrza, potrzebną do spalania 1 kg torfu o składzie: $C - 52\%$, $H_2 - 4\%$, $O_2 - 21\%$, $N_2 - 1,3\%$, $S - 0,2\%$, $H_2O - 14\%$, popiołu $- 7,5\%$.

Rozwiązanie. Do spalania węgla potrzeba tlenu $\frac{8}{3} C = \frac{8}{3} \cdot 0,52 = 1,387$ kg, do spalania wodoru $8 \cdot H = 8 \cdot 0,04 = 0,32$ kg; a do spalania siarki $1 \cdot S = 0,002$ kg. Uwzględniając, że torf o danym składzie zawiera $O = 0,21$ kg tlenu, otrzymamy, że teoretycznie potrzebna ilość tlenu wyniesie

$$\begin{aligned} O_t &= \frac{8}{3} C + 8H + S - O = \frac{8}{3} \cdot 0,52 + 8 \cdot 0,04 + 0,002 - 0,21 = \\ &= 1,499 \text{ kg} \end{aligned}$$

Natomiast teoretycznie potrzebna ilość powietrza będzie równa

$$L_t = \frac{100}{23} O_t = 6517 \text{ kg}$$

Przykład II. Ile powietrza należy doprowadzić do spalania 72 m³ gazu świetlnego na godzinę przy współczynniku nadmiaru powietrza $\lambda = 1,2$, jeżeli skład chemiczny gazu jest następujący: $CO - 18\%$, $CO_2 - 7\%$, $H_2 - 49\%$, $CH_4 - 16,6\%$, $C_2H_4 - 1,8\%$, $O_2 - 0,8\%$, $N_2 - 6,8\%$.

Rozwiązanie. Do spalania 1 m³ gazu potrzeba

$$\begin{aligned} L_v &= \frac{100}{21} \left(\frac{1}{2} CO + \frac{1}{2} H_2 + 2CH_4 + 3C_2H_4 - O \right) \cdot \lambda = \\ &= \frac{100}{21} \left(\frac{1}{2} \cdot 0,18 + \frac{1}{2} \cdot 0,49 + 2 \cdot 0,166 + 3 \cdot 0,018 - 0,008 \right) \cdot 1,2 = \\ &= 4,074 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

a do spalania 72 m³/godz gazu świetlnego potrzeba

$$L_v = 72 \cdot 4,074 = 293,3 \text{ m}^3/\text{godz}$$

Przykład III. Przeprowadzając analizę gazów spalinowych za pomocą aparatu Orsata stwierdzono, że ich skład objętościowy jest następujący: CO₂ — 11,9%, O₂ — 7,9%, CO — 0,3%. Obliczyć, przy jakim współczynniku nadmiaru powietrza zachodzi spalanie paliwa.

Rozwiązanie. Ilość azotu zawartego w gazach spalinowych wynosi $N = 100 - 11,9 - 7,9 - 0,3 = 79,9\%$. Podstawiając odpowiednie wartości liczbowe do wzoru na współczynnik nadmiaru powietrza otrzymamy, że spalanie odbywało się przy

$$\lambda = \frac{1}{1 - \frac{79}{21} \frac{O - \frac{1}{2} CO}{N}} = \frac{1}{1 - \frac{79}{21} \frac{7,9 - \frac{1}{2} \cdot 0,3}{79,9}} = 1,57$$

Zadanie 3. Obliczyć, ile kg powietrza należy doprowadzić przy współczynniku nadmiaru $\lambda = 1,65$ do spalania drewna o składzie: C — 40%, H₂ — 5%, O₂ — 35%, N₂ — 0,8%, H₂O — 18,7%, popiołu — 0,5%.

Zadanie 4. Do spalania 180 m³/godz gazu wodnego o składzie CO — 41%, CO₂ — 5%, H₂ — 49,6%, CH₄ — 0,6%, N₂ — 3,8% doprowadzono powietrze w ilości 480 m³/godz. Obliczyć współczynnik nadmiaru powietrza.

Zadanie 5. Obliczyć objętość powietrza (w m³/godz) doprowadzonego do spalania 120 kg/godz węgla kamiennego o składzie C — 72%, H₂ — 3%, O₂ — 10%, S — 0,8%, N₂ — 1%, H₂O — 5%, popiołu — 8,2%, jeżeli współczynnik nadmiaru powietrza wynosi $\lambda = 1,6$.

Zadanie 6. Przy jakim współczynniku nadmiaru powietrza zachodzi spalanie, jeżeli skład gazów spalinowych według Orsata jest następujący: CO₂ — 12,4%, O₂ — 7,5%, CO — 0,3%, N₂ — reszta.

-8. Objętość gazów spalinowych

Ilość gazów spalinowych, powstających przy spalaniu paliwa, można obliczyć na podstawie bilansu materiałowego procesu spalania. Jeżeli nie uwzględniać strat węgla zawartego w popiele (żużlu) i w sadzy, to ilość spalin z 1 kg paliwa wyrazi się następującym równaniem

$$G_{sp} = 1 + L - A \text{ kg}$$

gdzie A jest ilością popiołu (w kg), znajdującą się w 1 kg paliwa.

Dla potrzeb technicznych ważniejsze od oznaczenia ciężaru gazów spalinowych jest określenie ich objętości, którą można obli-

czyć na podstawie równań spalania podanych w pktcie 5 na stronie 19.

Z równań tych wynika, że:

1. Przy spalaniu 12 kg, czyli 1 kmola węgla powstaje 44 kg (1 kmol) dwutlenku węgla, wobec czego ze spalania 1 kg węgla powstaje $\frac{44}{12} = \frac{11}{3}$ kg, lub $\frac{22,4}{12} = 1,867$ m³ dwutlenku węgla, gdyż objętość 1 kmola dowolnego gazu pod ciśnieniem 760 mm Hg i w temperaturze 0°C równa się 22,4 m³.

2. Przy spalaniu 2 kg, czyli 1 kmola wodoru, powstaje 18 kg (1 kmol) pary wodnej, wobec czego ze spalania 1 kg wodoru powstaje $\frac{18}{2} = 9$ kg albo $\frac{22,4}{2} = 11,2$ m³ pary wodnej.

3. Przy spalaniu 32 kg, czyli 1 kmola siarki powstaje 64 kg (1 kmol) dwutlenku siarki, a ze spalania 1 kg siarki powstaje $\frac{64}{32} = 2$ kg, lub $\frac{22,4}{32} = 0,7$ m³ dwutlenku siarki.

Podczas spalania do gazów spalinowych przechodzi para wodna, która wytwarza się wskutek parowania znajdującej się w paliwie wilgoci, przy czym z każdego kilograma H₂O powstaje $\frac{22,4}{18} = 1,244$ m³ pary wodnej. Poza tym do spalin przechodzi azot zawarty w paliwie; objętość 1 kg azotu wynosi $\frac{22,4}{28} = 0,8$ m³.

Jeżeli 1 kg paliwa stałego zawiera C kg węgla, H kg wodoru, S kg siarki, O kg tlenu, N kg azotu, H₂O kg wilgoci i A kg popiołu, to — jak wynika z powyższych rozważań — objętość gazów spalinowych powstałych przy spaleniu 1 kg paliwa wyniesie:

$$V = 1,867 C + 11,2 H + 0,7 S + 0,8 N + 1,244 H_2O + 0,79 L_v + (\lambda - 1) \cdot O_{vt} \text{ m}^3 \quad [13]$$

gdzie: L_v jest to objętość powietrza (w m³) doprowadzonego do spalania przy współczynniku nadmiaru powietrza λ , a O_{vt} — teoretyczna objętość tlenu (w m³) potrzebna do całkowitego spalania paliwa. Iloczyn $0,79 L_v$ jest objętością azotu znajdującego się w doprowadzonym powietrzu, a $(\lambda - 1) \cdot O_{vt}$ stanowi nadmiar tlenu w m³ nie wyzyskanego podczas spalania.

Trzeba pamiętać, że objętość gazów spalinowych V m³, obliczona w sposób powyższy, jest objętością sprowadzoną do warunków normalnych, tj. temperatury 0°C i ciśnienia 760 mm słupa rtęci.

Objętość spalin w temperaturze $t^{\circ}\text{C}$ oblicza się ze wzoru

$$V_t = V \frac{273 + t}{273}$$

Znacznie prościej oblicza się objętość gazów spalinowych powstających przy spalaniu paliwa gazowego. Jeżeli 1 m^3 tego paliwa zawiera CO m^3 tlenku węgla, CO_2 m^3 dwutlenku węgla, H_2 m^3 wodoru, CH_4 m^3 metanu, C_2H_4 m^3 etylenu i N_2 m^3 azotu, to objętość spalin oblicza się na podstawie następujących rozważań:

1) ze spalania 1 m^3 tlenku węgla, zgodnie z równaniem $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 = \text{CO}_2$ powstaje 1 m^3 dwutlenku węgla,

2) ze spalania 1 m^3 wodoru, zgodnie z równaniem $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}$ wytwarza się 1 m^3 pary wodnej,

3) ze spalania 1 m^3 metanu, zgodnie z równaniem $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$, powstaje 1 m^3 dwutlenku węgla i 2 m^3 pary wodnej, razem 3 m^3 spalin,

4) ze spalania 1 m^3 etylenu, zgodnie z równaniem $\text{C}_2\text{H}_4 + 3\text{O}_2 = 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$, wytwarza się 2 m^3 dwutlenku węgla i 2 m^3 pary wodnej, otrzymuje się więc 4 m^3 gazów spalinowych.

Biorąc powyższe pod uwagę oraz uwzględniając, że dwutlenek węgla i azot z paliwa przechodzą do spalin otrzymamy, że przy spalaniu 1 m^3 paliwa gazowego o danym składzie przy współczynniku nadmiaru powietrza λ powstają gazy spalinowe, których objętość w normalnych warunkach (w temp. 0°C i pod ciśnieniem 760 mm Hg) wynosi

$$V = \text{CO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2 + 3\text{CH}_4 + 4\text{C}_2\text{H}_4 + \text{N}_2 + 0,79L_v + (\lambda - 1) \cdot O_{vt} \text{ m}^3$$

Przykład I. Węgiel kamienny o składzie C — 72%, H_2 — 3%, O_2 — 10%, S — 0,8%, N_2 — 1%, H_2O — 5%, A (popiół) — 8,2% spalany jest przy współczynniku nadmiaru powietrza $\lambda = 1,6$. Obliczyć ciężar i objętość gazów spalinowych w normalnych warunkach (tj. w temp. 0°C i pod ciśn. 760 mm Hg) powstających przy spalaniu 1 kg węgla.

Rozwiązanie. Ilość powietrza potrzebna do spalania 1 kg danego paliwa przy współczynniku nadmiaru powietrza $\lambda = 1,6$ wynosi:

$$L = \frac{100}{23} \left(\frac{8}{3} C + 8H + S - O \right) \lambda = \frac{100}{23} \left(\frac{8}{3} \cdot 0,72 + 8 \cdot 0,03 + 0,008 - 0,1 \right) \cdot 1,6 = \\ = 14,386 \text{ kg}$$

objętość zaś powietrza wynosi

$$L_v = \frac{L}{\gamma} = \frac{14,386}{1,293} = 11,126 \text{ m}^3$$

w tym teoretyczna ilość tlenu potrzebna do spalania 1 kg tego paliwa w normalnych warunkach jest równa

$$O_t = \frac{8}{3} C + 8H + S - O = \frac{8}{3} \cdot 0,72 + 8 \cdot 0,03 + 0,008 - 0,1 = 2,068 \text{ kg}$$

a jego objętość

$$O_{vt} = \frac{O_t}{\gamma} = \frac{2,068}{1,429} = 1,447 \text{ m}^3$$

Ciężar gazów spalinowych powstających przy spaleniu 1 kg danego paliwa wynosi

$$G_{sp} = 1 + L - A = 1 + 14,386 - 0,082 = 15,304 \text{ kg}$$

Objętość zaś spalin w normalnych warunkach

$$\begin{aligned} V &= 1,867 C + 11,2 H + 0,7 S + 0,8 N + 1,244 H_2O + 0,79 L_v + (\lambda - 1) O_{vt} = \\ &= 1,867 \cdot 0,72 + 11,2 \cdot 0,03 + 0,7 \cdot 0,008 + 0,8 + 1,244 \cdot 0,05 + 0,79 \cdot 11,126 + \\ &\quad + (1,6 - 1) \cdot 1,447 = 11,406 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Przykład II. Jaka jest objętość gazów spalinowych w temp. 260°C, powstających przy spalaniu gazu generatorowego o składzie: CO — 24%, CO₂ — 5%, H₂ — 6%, CH₄ — 3%, C₂H₄ — 0,2%, N₂ — 61,8% przy współczynniku nadmiaru powietrza $\lambda = 1,2$.

Rozwiązanie. Objętość powietrza potrzebna do spalania 1 m³ danego gazu wynosi

$$\begin{aligned} L_v &= \frac{100}{21} \left(\frac{1}{2} CO + \frac{1}{2} H_2 + 2CH_4 + 3C_2H_4 \right) \lambda = \\ &= \frac{100}{21} \left(\frac{1}{2} \cdot 0,24 + \frac{1}{2} \cdot 0,06 + 2 \cdot 0,03 + 3 \cdot 0,002 \right) \cdot 1,2 = 1,235 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

w tym teoretyczna ilość tlenu

$$\begin{aligned} O_t &= \frac{1}{2} CO + \frac{1}{2} H_2 + 2CH_4 + 3C_2H_4 = \frac{1}{2} \cdot 0,24 + \frac{1}{2} \cdot 0,06 + 2 \cdot 0,03 + \\ &\quad + 3 \cdot 0,002 = 0,216 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Objętość zaś spalin w normalnych warunkach równa się

$$\begin{aligned} V &= CO + CO_2 + H_2 + 3CH_4 + 4C_2H_4 + N_2 + 0,79 L + (\lambda - 1) O_t = \\ &= 0,24 + 0,05 + 0,06 + 3 \cdot 0,03 + 4 \cdot 0,002 + 0,618 + 0,79 \cdot 1,235 + \\ &\quad + (1,2 - 1) \cdot 0,216 = 2,085 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

a w temp. 260°C objętość tych gazów wyniesie

$$V_{260} = 2,085 \frac{273 + 260}{273} = 4,071 \text{ m}^3$$

Zadanie 7. Jaki ciężar będą posiadały gazy spalinowe powstałe przy spalaniu 1 kg koksu o składzie: C — 87%, H₂ — 0,8%, S — 0,6%, H₂O — 4%, A — 7,6%, jeżeli spalanie zachodziło przy $\lambda = 1,55$.

Zadanie 8. Obliczyć objętość gazów spalinowych w temp. 320°C, powstałych przy spalaniu 220 kg koksu na godzinę o składzie podanym w zadaniu 7 przy współczynniku nadmiaru powietrza $\lambda = 1,5$.

Zadanie 9. Jaką objętość w normalnych warunkach będą posiadały gazy spalinowe powstałe przy spalaniu gazu ziemnego o składzie podanym w tablicy 3 przy współczynniku nadmiaru powietrza $\lambda = 1,22$.

9. Temperatura spalania

Ciepło powstające przy spalaniu traci się częściowo przez promieniowanie, reszta zaś przeznaczona jest na ogrzanie produktów spalania, czyli gazów spalinowych. Wobec tego w czasie spalania mają one dość wysoką temperaturę, którą przyjęto uważać za temperaturę spalania. Można ją obliczyć na podstawie bilansu cieplnego procesu spalania, który przedstawia się w sposób następujący:

Przychód

1. ciepło zawarte w paliwie

$$G_{pal} \cdot c_{pal} \cdot t_{pal}$$

2. ciepło otrzymane przy spalaniu paliwa

$$G_{pal} \cdot W$$

3. ciepło zawarte w powietrzu

$$G_{pal} \cdot L \cdot c_{p,pow} \cdot t_{pow}$$

Rozchód

1. ciepło zawarte w spalinach

$$G_{sp} \cdot c_{p,sp} \cdot t_{sp}$$

2. straty ciepła

$$S$$

Przyrównując przychód i rozchód otrzymamy, że:

$$G_{pal} \cdot c_{pal} \cdot t_{pal} + G_{pal} \cdot W + G_{pal} \cdot L \cdot c_{p,pow} \cdot t_{pow} = G_{sp} \cdot c_{p,sp} \cdot t_{sp} + S$$

We wzorach tych literą L oznaczono ilość powietrza, potrzebną do spalania 1 kg paliwa.

Straty ciepła, powstałe w czasie spalania, są spowodowane a) promieniowaniem, b) niezupełnym spalaniem i c) niecałkowitym spalaniem (niespalona część węgla dostaje się do popielnika albo pozostaje w szlacie i żużlu, lub niespalona uchodzi w postaci sadzy).

Rozpatrując proces spalania z teoretycznego punktu widzenia przy założeniu, że przebiega on w warunkach idealnych bez strat ciepłych, z poprzedniego równania otrzymamy teoretyczną temperaturę spalania, która wynosi

$$t_i = \frac{G_{pal} (c_{pal} \cdot t_{pal} + W + L \cdot c_{p, pow} \cdot t_{pow})}{G_{sp} \cdot c_{p, sp}} \quad [14]$$

Wzór ten można uprościć przyjmując, że 1) ciepła właściwe powietrza $c_{p, pow}$, paliwa c_{pal} i gazów spalinowych $c_{p, sp}$ są sobie równe, 2) temperatury powietrza t_{pow} i paliwa t_{pal} są również jednakowe i równe t_o oraz 3) $G_{sp} = G_{pal} (1 + L)$; wtedy otrzymamy

$$t_i = \frac{W}{(1 + L) c_{p, sp}} + t_o \quad [15]$$

Ze wzoru powyższego wynika, że teoretyczna temperatura spalania zależy od: 1) wartości opałowej paliwa, 2) ilości doprowadzanego do spalania powietrza, czyli od współczynnika nadmiaru powietrza λ i 3) temperatury powietrza i paliwa. Im paliwo ma większą wartość opałową, tym spalanie odbywa się w wyższej temperaturze. Zmniejszając ilość doprowadzanego powietrza do dopuszczalnego, ze względu na zupełne spalanie, minimum osiągnąmy wyższą temperaturę spalania. Podwyższenie temperatury powietrza wprowadzanego do spalania wpływa również na wzrost temperatury spalania.

Teoretyczna temperatura spalania praktycznie jest jednak nieosiągalna, gdyż proces spalania zawsze jest połączony z użytecznym i nieużytecznym promieniowaniem ciepła oraz z innymi stratami. Przyjmując, że ciepło wypromieniowane użytecznie wynosi P kcal, a straty ciepłne powstałe wskutek promieniowania nieużytecznego, niezupełnego spalania itp. zachodzące przy spalaniu 1 kg paliwa wynoszą S kcal, otrzymamy, że na ogrzanie gazów spalinowych pozostanie

$$W - (P + S) \text{ kcal/kg}$$

Wobec tego rzeczywista temperatura spalania wyniesie

$$t_{sp} = \frac{W - (P + S)}{(1 + L) c_{p, sp}} + t_o \text{ } ^\circ\text{C} \quad [16]$$

Ciepłota właściwe gazów

Temp. gazu t °C	C _p w kcal/kg							C _p w kcal/Nm ³								
	CO ₂	N ₂	H ₂ O	O ₂	H ₂	CO	SO ₂	Suche powietrze	CO ₂	N ₂	H ₂ O	O ₂	H ₂	CO	SO ₂	Suche powietrze
	0	0,196	0,248	0,439	0,218	3,403	0,248	0,145	0,240	0,384	0,311	0,356	0,312	0,306	0,311	0,425
200	0,219	0,250	0,447	0,223	3,448	0,250	0,158	0,242	0,431	0,312	0,362	0,319	0,310	0,313	0,464	0,313
400	0,236	0,253	0,459	0,231	3,463	0,254	0,169	0,246	0,484	0,316	0,372	0,329	0,311	0,318	0,495	0,318
600	0,251	0,257	0,474	0,237	3,478	0,260	0,177	0,251	0,492	0,322	0,384	0,339	0,313	0,325	0,518	0,324
800	0,261	0,262	0,490	0,243	3,503	0,265	0,183	0,256	0,513	0,328	0,397	0,347	0,315	0,332	0,535	0,331
1000	0,270	0,267	0,506	0,248	3,532	0,270	0,187	0,261	0,530	0,334	0,410	0,353	0,317	0,338	0,548	0,337
1200	0,277	0,272	0,520	0,251	3,572	0,275	0,191	0,265	0,544	0,340	0,422	0,359	0,321	0,344	0,559	0,343
1400	0,283	0,276	0,535	0,255	3,612	0,279	0,194	0,269	0,556	0,345	0,434	0,364	0,325	0,349	0,567	0,347
1600	0,288	0,279	0,548	0,258	3,652	0,282	0,196	0,272	0,565	0,349	0,444	0,368	0,328	0,353	0,573	0,352
1800	0,292	0,282	0,562	0,260	3,696	0,285	0,198	0,275	0,573	0,353	0,455	0,372	0,332	0,356	0,579	0,355
2000	0,295	0,285	0,573	0,263				0,277	0,580	0,356	0,464	0,376				0,358

Rzeczywista temperatura spalania ze względu na promieniowanie i straty jest zawsze niższa od temperatury teoretycznej. W tabelicy 7 podane są przeciętne temperatury spalania osiągnane praktycznie w paleniskach.

Ciepło właściwe spalin $c_{p,sp}$ podane we wzorze na temperaturę spalania zależy od składu chemicznego gazów spalinowych oraz od ich temperatury. Zależność ciepła właściwego od temperatury dla ważniejszych gazów technicznych podana jest w tabelicy 8.

Jeżeli znany jest skład gazów spalinowych, to ich średnie ciepło właściwe obliczamy ze wzoru

$$c_{p,sp} = \frac{\sum G_x \cdot c_{p_x}}{\sum G_{sp}} \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} \quad [17]$$

We wzorze G_x oznacza ciężar poszczególnych składników gazów spalinowych, a c_{p_x} — średnie ciepła właściwe tych składników od 0°C do temperatury spalania (w kcal/kg $^\circ\text{C}$), podane w tabelicy 8.

Do wzorów na temperaturę spalania należy wprowadzić wartość średniego ciepła właściwego gazów spalinowych dla temperatury obliczonej wg tych wzorów, a więc jeszcze nieznaną. Wobec tego w celu określenia temperatury spalania obliczamy średnie ciepło właściwe spalin dla temperatury spalania założonej z góry, przyjmując dla niej wartości ciepła właściwego poszczególnych składników z tabelicy 8, po czym temperaturę spalania obliczamy wg odpowiedniego wzoru. Jeżeli temperatura otrzymana w ten sposób jest zbliżona do temperatury założonej, to obliczenia uważamy za dobre, w przeciwnym przypadku obliczenie powtarzamy zakładając nową temperaturę; po wyznaczeniu odpowiadającej tej temperaturze nowej wartości średniego ciepła właściwego $c_{p,sp}$ ponownie oznaczamy temperaturę spalania, aż otrzymany wynik będzie dostatecznie zbliżony do temperatury założonej.

Gdy spalamy paliwo gazowe, wartości ustalone na podstawie obliczenia wyrażamy w m^3 i posługując się tym samym wzorem [17] i tabelicą 8 określamy ciepło właściwe gazów spalinowych w $\text{kcal/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$.

Przykład I. Obliczyć teoretyczną temperaturę spalania węgla kamiennego o składzie C — 68%, H_2 — 4%, S — 1%, O_2 — 11%, N_2 — 1%,

H_2O — 8%, A — 7%, jeżeli temperatura powietrza wynosi $20^\circ C$, współczynnik nadmiaru powietrza doprowadzonego do spalania $\lambda = 1,48$, a ciepło właściwe gazów spalinowych równa się $c_{p,sp} = 0,28$ kcal/kg \cdot $^\circ C$.

Rozwiązanie. Wartość opałową węgla kamiennego o danym składzie określamy ze wzoru związkowego

$$W = 8100 \cdot 0,68 + 29000 \cdot \left(0,04 - \frac{1}{8} \cdot 0,11\right) + 2500 \cdot 0,01 - 600 \cdot 0,08 = \\ = 6246 \text{ kcal/kg}$$

Ilość powietrza doprowadzonego do spalania równa się

$$L = \frac{100}{23} \left(\frac{8}{3} C + 8H + S - O\right) \lambda = \frac{100}{23} \left(\frac{8}{3} \cdot 0,68 + 8 \cdot 0,04 + 0,01 - 0,11\right) \cdot 1,48 = \\ = 13,063 \text{ kg}$$

Teoretyczna zaś temperatura spalania wynosi

$$t_t = \frac{W}{(1 + L) c_{p,sp}} + t_0 = \frac{6246}{(1 + 13,063) \cdot 0,28} + 20 = 1606 \text{ }^\circ C$$

Przykład II. Obliczyć temperaturę spalania drewna o składzie C — 39,5%, H_2 — 4,2%, O_2 30%, N_2 — 0,8%, H_2O — 25%, A — 0,5%, jeżeli temperatura doprowadzonego powietrza równa się $18^\circ C$, jego nadmiar — 70%, ciepło wypromieniowane oraz straty łącznie wynoszą 24%, a ciepło właściwe spalin $c_{p,sp} = 0,282$ kcal/kg \cdot $^\circ C$.

Rozwiązanie. Obliczając wartość opałową drewna o danym składzie ze wzoru związkowego otrzymamy

$$W = 8100 \cdot 0,395 + 29000 \left(0,042 - \frac{1}{8} \cdot 0,30\right) - 600 \cdot 0,25 = 3180 \text{ kcal/kg}$$

Współczynnik nadmiaru powietrza równa się $\lambda = 1 + 0,70 = 1,7$.

Ilość powietrza potrzebnego do spalania 1 kg paliwa wynosi

$$L = \frac{100}{23} \left(\frac{8}{3} C + 8H + S - O\right) \lambda = \frac{100}{23} \left(\frac{8}{3} \cdot 0,395 + 8 \cdot 0,042 - 0,25\right) \cdot 1,7 = \\ = 8,42 \text{ kg}$$

Ciepło wypromieniowane w czasie spalania oraz straty

$$P + S = 0,24 W = 0,24 \cdot 3180 = 763 \text{ kcal}$$

Wobec tego temperatura spalania równa się

$$t_{sp} = \frac{W - (P + S)}{(1 + L) c_{p,sp}} + t_0 = \frac{3180 - 763}{(1 + 8,42) \cdot 0,282} + 18 = 951 \text{ }^\circ C$$

Przykład III. Obliczyć temperaturę spalania gazu ziemnego o składzie CH_4 — 98,2%, C_2H_4 — 1,8%, jeżeli współczynnik nadmiaru powietrza $\lambda = 1,18$, temperatura powietrza $t_0 = 16^\circ C$, ciepło właściwe gazów spalinowych $c_{p,sp} = 0,38$ kcal/m³ \cdot $^\circ C$, a ciepło wypromieniowane i straty—26%.

Rozwiązanie. Ilość powietrza doprowadzonego do spalania równa się

$$L = \frac{100}{21} (2CH_4 + 3C_2H_6) \lambda = \frac{100}{21} (2 \cdot 0,982 + 3 \cdot 0,018) \cdot 1,18 = 11,339 \text{ m}^3$$

Wartość opałową gazu ziemnego obliczamy na podstawie danych zawartych w tabeli 5; wartość ta wyniesie

$$W = 0,982 \cdot 8490 + 0,018 \cdot 13440 = 8579 \text{ kcal/m}^3$$

Ciepło wypromieniowane i straty przypadające na 1 m³ paliwa wynoszą

$$P + S = 0,26 W = 0,26 \cdot 8579 = 2231 \text{ kcal}$$

a temperatura spalania gazu równa się

$$t_{sp} = \frac{W - (P + S)}{(1 + L) c_{p,sp}} + t_0 = \frac{8579 - 2231}{(1 + 11,339) \cdot 0,39} + 16 = 1370 \text{ }^\circ\text{C}$$

Przykład IV. Gazy spalinowe powstałe przy spalaniu węgla kamiennego mają temperaturę $t = 1200^\circ\text{C}$ i zawierają (w procentach objętościowych) $\text{CO}_2 - 11\%$, $\text{CO} - 0,5\%$, $\text{O}_2 - 7\%$, $\text{H}_2\text{O} - 6\%$, $\text{N}_2 - 75,5\%$.

Obliczyć średnie ciepło tych gazów w $\text{kcal/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$.

Rozwiązanie. Średnie ciepło właściwe gazów spalinowych oblicza się ze wzoru

$$c_{p,sp} = \frac{\sum V_x \cdot c_{p,x}}{\sum V_x} = \frac{V_{\text{CO}_2} \cdot c_{p\text{CO}_2} + V_{\text{CO}} \cdot c_{p\text{CO}} + V_{\text{O}_2} \cdot c_{p\text{O}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{p\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{N}_2} \cdot c_{p\text{N}_2}}{V_{\text{CO}_2} + V_{\text{CO}} + V_{\text{O}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{N}_2}}$$

Podstawiając do tego wzoru wartości ciepła właściwego poszczególnych składników, podane w tabeli 8, otrzymamy średnie ciepło właściwe gazów spalinowych

$$c_{p,sp} = \frac{0,11 \cdot 0,544 + 0,005 \cdot 0,340 + 0,07 \cdot 0,359 + 0,06 \cdot 0,422 + 0,755 \cdot 0,340}{0,11 + 0,005 + 0,07 + 0,06 + 0,755} = 0,369 \text{ kcal/m}^3$$

Przykład V. Obliczyć ciepło właściwe ($\text{kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$) gazów spalinowych w temp. 1000°C powstałych w wyniku zupełnego spalania torfu o składzie $\text{C} - 48\%$, $\text{H}_2 - 4\%$, $\text{O}_2 - 24\%$, $\text{N}_2 - 1,2\%$, $\text{H}_2\text{O} - 14\%$, $\text{A} - 8,8\%$, przy współczynniku nadmiaru powietrza $\lambda = 1,7$.

Jak wynika z obliczeń przeprowadzonych na podstawie równań spalania (pkt. 5, str. 19) przy spalaniu 1 kg torfu o powyższym składzie otrzymamy

$$\text{przy spalaniu } 0,48 \text{ kg węgla } \frac{11}{3} \cdot 0,48 = 1,76 \text{ kg CO}_2$$

przy spalaniu $0,04 \text{ kg wodoru } 9 \cdot 0,04 = 0,36 \text{ kg H}_2\text{O}$
 zużywając tlen z doprowadzonego powietrza w ilości

$$\text{O}_t = \frac{8}{3} \text{C} + 8\text{H} + \text{S} - \text{O} = \frac{8}{3} \cdot 0,48 + 8 \cdot 0,04 - 0,24 = 1,36 \text{ kg}$$

Ilość doprowadzonego powietrza wynosi

$$L = \frac{100}{23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right) \lambda = \frac{100}{23} \left(\frac{8}{3} \cdot 0,48 + 8 \cdot 0,04 - 0,24 \right) \cdot 1,7 = 10,052 \text{ kg}$$

zawiera ono $1,36 \cdot 1,7 = 2,312$ kg tlenu i $10,052 - 2,312 = 7,740$ kg azotu.

Gazy spalinowe zawierają:

1. dwutlenku węgla		1,76 kg
2. pary wodnej z paliwa	0,14 kg	
pary wodnej ze spalania wodoru	0,36 kg	
3. tlen z nadmiaru powietrza	2,312—1,36	0,95 kg
4. azot z paliwa	0,012 kg	
azot z powietrza	7,740 kg	
		7,75 kg

Łączna ilość gazów spalin będzie równa 10,96 kg

Średnie ciepło właściwe tych gazów obliczamy na podstawie danych zawartych w tablicy 8 wg wzoru

$$c_{p,sp} = \frac{\sum G_x \cdot c_{p_x}}{\sum G_x}$$

Podstawiając do tego wzoru dane liczbowe otrzymamy, że:

$$c_{p,sp} = \frac{1,76 \cdot 0,270 + 0,50 \cdot 0,506 + 0,952 \cdot 0,248 + 7,752 \cdot 0,267}{1,76 + 0,50 + 0,95 + 7,75} = 0,277 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

Zadanie 10. Obliczyć temperaturę spalania spirytusu o składzie: C — 47,86%, H₂ — 12,86%, O₂ — 39,28%, przy współczynniku nadmiaru powietrza $\lambda = 1,2$, jeżeli ciepło właściwe gazów spalinowych $c_{p,sp} = 0,3$ kcal/kf.°C.

Zadanie 11. Jaką otrzymamy temperaturę spalając koks o składzie C — 82%, H₂ — 0,6%, S — 0,5%, H₂O — 8%, A — 8,9% przy współczynniku nadmiaru powietrza $\lambda = 1,55$, jeżeli straty ciepła wynoszą $S = 30\%$, temperatura powietrza 22°C, a ciepło właściwe spalin $c_{p,sp} = 0,28$ kcal/kg.°C.

Zadanie 12. Do paleniska doprowadzano 80 m³ gazu na godzinę o składzie CO — 17%, CO₂ — 7%, H₂ — 48%, CH₄ — 19,3%, C₂H₄ — 2%, O₂ — 0,7%, N₂ — 6% oraz 430 m³ powietrza o temp. 12°C. Obliczyć temperaturę spalania przyjmując, że straty ciepła wynoszą 28%, a ciepło właściwe gazów spalinowych $c_{p,sp} = 0,38$ kcal/m³.°C.

Zadanie 13. Obliczyć średnie ciepło właściwe w kcal/m³.°C gazów spalinowych powstałych przy spalaniu gazu generatorowego o składzie CO — 18%, CO₂ — 6%, H₂ — 50%, CH₄ — 17%, C₂H₄ — 2%, O₂ — 1%, N₂ — 6%, jeżeli ich temperatura wynosi 1200°C.

Zadanie 14. Obliczyć średnie ciepło właściwe gazów spalinowych w kcal/kg.°C o temperaturze 1400°C, powstałych podczas spalania koksu o składzie podanym w zadaniu 11 przy współczynniku nadmiaru powietrza $\lambda = 1,5$.

10. Spalanie pyłu węglowego, paliwa ciekłego i gazowego

Jak już wyjaśniono w pktcie 7, należy dążyć do spalania paliwa przy możliwie najmniejszym nadmiarze powietrza, gdyż przy dużym nadmiarze powietrza powstaje znaczna ilość gazów spalinywych, wskutek czego obniża się temperatura spalania, a zwiększają się straty kominowe. Spalanie natomiast przy małym, ale wystarczającym do osiągnięcia zupełnego spalania nadmiarze powietrza, pozwala na otrzymywanie wyższych temperatur, daje mniejsze straty cieplne, a więc i oszczędniejsze zużycie paliwa.

Przy małym nadmiarze powietrza można spalać tylko takie paliwa, które łatwo wymieszać z doprowadzonym do spalania powietrzem, a więc przede wszystkim paliwa gazowe, gdyż gazy bardzo łatwo mieszają się ze sobą, następnie — paliwa ciekłe, które w celu lepszego wymieszania ich z powietrzem rozpylane są w palenisku za pomocą specjalnych palników lub wtryskiwaczy na bardzo drobniutkie kropelki. W niektórych przypadkach są one zamieniane w parę i w takiej postaci spalane. Zarówno pył węglowy, jak i paliwa ciekłe rozpylane są w palenisku za pomocą odpowiednich rozpylaczy, wskutek czego dobrze się mieszają z powietrzem podczas spalania.

Paliwa gazowe spalają się łatwiej niż paliwa ciekłe lub stałe, gdyż cząsteczki gazu w czasie spalania w celu utlenienia się nie potrzebują przechodzić procesu odgazowania, któremu ulegają ziarenka pyłu lub kropelki cieczy. Z tego powodu gazy spalają się szybciej niż paliwa ciekłe lub pył węglowy, trudniej jednak zapalają się, albowiem temperatura zapłonu wodoru, tlenku węgla i metanu, głównych składników paliw gazowych, jest wyższa, jak widać z tablicy 6 od temperatury zapłonu paliw stałych (torfu, drewna, węgla). Z tego powodu przy spalaniu paliw gazowych należy zabezpieczyć się przed obniżeniem temperatury w palenisku przez akumulację odpowiednich ilości ciepła w obmurzu.

Paliwo ciekłe rozpylane jest przy pomocy sprężonego powietrza albo niskoprężnej pary wodnej (najczęściej w paleniskach kotłowych), albo pod wysokim ciśnieniem przy zastosowaniu pomp i odpowiednich wtryskiwaczy. Im rozpylenie jest drobniejsze, tym większa jest powierzchnia zetknięcia się paliwa z powietrzem i spalanie jest lepsze. Dla uzyskania drobniejszego rozpyle-

nia niektóre paliwa ciekłe, a głównie mazut, który jest pozostałością po destylacji ropy naftowej i stanowi ciemną, bardzo lepka ciecz, należy poprzednio ogrzać, aby stały się bardziej płynne. Przy spalaniu paliwa ciekłego należy również akumulować w obmurzu paleniska dużą ilość ciepła, aby zapewnić zapłon paliwa nawet po niewielkiej przerwie w jego dopływie.

Pył węglowy może być wyrabiany z węgla dowolnego gatunku. Powinien być tak drobny, aby na sicie o 4900 oczkach na 1 cm^2 (sito nr 70) po przesianiu pozostało od 8 do 12% wysiewek w przypadku węgla zawierającego mało części lotnych lub nieco więcej w przypadku węgla długopłomiennego.

Tak bardzo rozdrobnione cząstki paliwa po rozpyleniu w palenisku unoszą się w strumieniu powietrza i spalają w locie. Wskutek rozwinięcia dużej powierzchni zetknięcia się paliwa z powietrzem czas spalania ziarenka pyłu węglowego jest mały i wynosi przeciętnie około 1 sekundy.

Próby spalania paliwa w postaci pyłu przeprowadzono dawno, lecz dopiero w czasie pierwszej wojny światowej zaczęto stosować pył węglowy na szerszą skalę. Pierwszy w Europie parowóz opalany pyłem węglowym był uruchomiony w Związku Radzieckim w roku 1920.

Spalanie paliw gazowych, ciekłych i pyłu węglowego oprócz umożliwienia doprowadzania małego nadmiaru powietrza, a przez to i uzyskiwania wyższych temperatur, ma jeszcze wiele innych zalet, a mianowicie:

1. szybkie rozpoczynanie procesu spalania (rozpalanie) i nagłe przerywanie (gaszenie),
2. łatwe i szybkie regulowanie ilości spalonego paliwa, a przez to szybkie dostosowanie ilości wytwarzanego ciepła do zmiennego zapotrzebowania,
3. możliwość regulowania płomienia i otrzymywania płomienia utleniającego lub redukującego,
4. równomierne spalanie, a przez to umożliwienie utrzymywania temperatury spalania na jednakowym poziomie,
5. spalanie prawie bezdymne,
6. mniejsze niż w przypadku paliwa stałego straty ciepłne i wskutek tego oszczędniejsze zużycia paliwa,

7. łatwa i nie męcząca obsługa,
8. proste i tanie palenisko,
9. czystość.

Dodatkowe, znaczne korzyści uzyskane dla gospodarki narodowej przy spalaniu paliwa w postaci pyłu węglowego lub gazu generatorowego polegają na tym, że pył węglowy można otrzymać z miały, a więc z paliwa mało użytecznego i taniego, a gaz generatorowy — z małowartościowych paliw, których spalanie bez odgazowania jest mało ekonomiczne.

Do wad i ujemnych cech paliw gazowych, ciekłych i pyłu węglowego można zaliczyć:

1. dość wysoką cenę paliw ciekłych, gazu ziemnego i świetlnego,
2. konieczność zainstalowania dość kosztownych urządzeń do wytwarzania gazu generatorowego ewentualnie pyłu węglowego,
3. koszt wytwarzania pyłu węglowego i gazu generatorowego,
4. szybkie zużywanie się obmurza paleniska zasilanego pyłem węglowym,
5. niebezpieczeństwo wybuchu,
6. niebezpieczeństwo zaccadzenia w przypadku, gdy w skład paliwa gazowego wchodzi tlenek węgla (gaz, świetlny, generatorowy i inne).

Pomimo tych wad korzyści odnoszone przy spalaniu paliw gazowych, ciekłych i pyłu węglowego są tak duże, że paliwa te chętnie są stosowane wszędzie, gdzie jest to tylko możliwe.

Rozdział III

PALENISKA

11. Klasyfikacja palenisk

Paleniska są to urządzenia przeznaczone do prowadzenia w nich procesu spalania paliwa z jak najmniejszymi stratami w warunkach najdogodniejszych. Nie są to jednak urządzenia samodzielne, lecz wchodzi w skład innych bardzo ważnych urządzeń przemysłowych, a mianowicie pieców, kotłów parowych i niektórych aparatów oraz urządzeń, stosowanych w przemyśle chemicznym. Oczywiście paleniska nie tylko powinny być dostosowane do pa-

liw i urządzeń, dla których są przeznaczone, ale również muszą być niezawodne w działaniu, łatwe do obsługi, proste i tanie. Naprawy ich muszą być przeprowadzane rzadko i powinny być mało kosztowne, a sprawność wysoka. Te wymagania, duża różnorodność paliw stosowanych w przemyśle i wielka różnorodność konstrukcji pieców oraz kotłów parowych, dla których są przeznaczone, spowodowały powstanie znacznej ilości odmiennych konstrukcji palenisk obecnie używanych. Przy klasyfikacji palenisk należy uwzględniać: a) rodzaj paliwa, b) położenie względem urządzeń, dla których są przeznaczone, c) rodzaj paleniska, d) rodzaj rusztu i e) sposób obsługi.

Ze względu na rodzaj paliwa rozróżniamy paleniska do paliw: 1) stałych, 2) ciekłych i 3) gazowych.

Biorąc pod uwagę położenie palenisk względem urządzeń, które są ogrzewane (retort, aparatów destylacyjnych, kotłów parowych lub pieców), dzielimy paleniska na: 1) wewnętrzne, 2) dolne i 3) przednie.

Uwzględniając rodzaj paleniska rozróżniamy paleniska rusztowe i bezrusztowe. Paleniska do paliw stałych dzielimy na paleniska o ruszcie: 1) poziomym, 2) pochyłym i 3) schodkowym.

Ze względu na sposób obsługi paleniska do paliw stałych dzielimy na: 1) ręczne i 2) mechaniczne.

Konstrukcja paleniska jest uzależniona od rodzaju paliwa. Paleniska do paliw stałych zbudowane są inaczej, niż paleniska do paliw ciekłych i gazowych (tylko paleniska do pyłu węglowego są zbudowane podobnie). Mają one ruszt, na którym leży spalające się paliwo i przez który przepływa powietrze potrzebne do spalania. Paleniska do paliw ciekłych i gazowych oraz do pyłu węglowego rusztu nie mają, natomiast są zaopatrzone w specjalne palniki, których zadaniem jest rozpylanie i wymieszanie paliwa z powietrzem w celu uzyskania dobrego spalania.

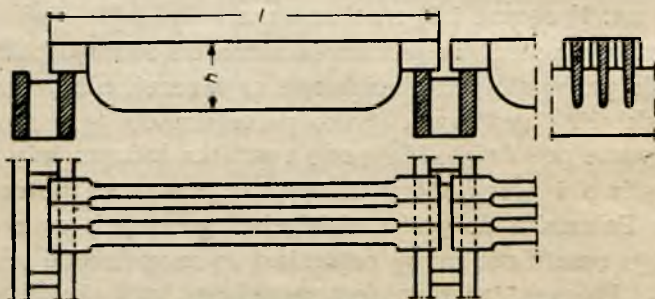
Położenie paleniska względem urządzenia, dla którego jest przeznaczone, zależy od konstrukcji urządzenia i od rodzaju paliwa. *Paleniska wewnętrzne* na przykład, wykazujące małe straty ciepłe przez promieniowanie nieużyteczne i wiele innych zalet, nie nadają się — jak zobaczymy później — do paliw małokalorycznych, a poza tym nie w każdym piecu lub kotle parowym można je zmieścić. *W paleniskach przednich* natomiast bardzo mało ciepła

oddaje się bezpośrednio przez promieniowanie ogrzewanym ciałom lub powierzchniom ogrzewalnym aparatów przemysłowych. Z tego powodu nie nadają się one do paliw o dużej wartości opałowej, gdyż w tych warunkach spalanie zachodzi w bardzo wysokiej temperaturze i obmurze paleniska ulega szybkiemu zużyciu.

W przypadku *palenisk ręcznych* paliwo doprowadzane jest do paleniska w miarę potrzeby przez narzucanie łopataą na ruszt niewielkiej stosunkowo jego ilości, natomiast w przypadku *palenisk mechanicznych* doprowadzanie paliwa odbywa się w sposób ciągły za pomocą odpowiednich mechanizmów bez specjalnego wysiłku fizycznego ze strony palacza.

12. Paleniska ręczne

Paleniska obsługiwane ręcznie mogą być zarówno paleniskami dolnymi, jak i przednimi lub wewnętrznymi. Są to paleniska rusztowe. Jak widać na rysunkach 69, 77 i 83 ruszt dzieli te paleniska na dwie części: górną nadrusztową, w której zachodzi spalanie i dolną podrusztową, do której przesypuje się popiół. Górna część paleniska nazywana jest komorą spalania lub wprost paleniskiem, a dolna — popielnikiem.



Rys. 3. Rusztowiny i belka podrusztowa

Ruszt składa się z poszczególnych rusztowin (rys. 3) spoczywających na belkach podrusztowych. Rusztowiny są wykonane z żeliwa lub niekiedy ze stali. Długość ich l wynosi od 300 do 1000 mm. Najczęściej jednak stosowane są rusztowiny o długości 600 — 700 mm. Wysokość h rusztowin żeliwnych zależy od ich długości i waha się w granicach od 60 do 120 mm, grubość zaś —

od 7 do 20 mm. Końce rusztowin (główki) są grubsze ze względu na konieczność wytworzenia pomiędzy poszczególnymi rusztowinami prześwitów (szczelin), które powinny być rozłożone równomiernie na całej powierzchni rusztów. Czasami długie rusztowiny w celu zabezpieczenia ich przed wypaczeniem mają na środku zgrubienia. Szerokość szczeliny zależy od rodzaju paliwa. W palenisku do miazgu węglowego szerokość szczeliny wynosi 2,5 do 5 mm, a w palenisku do węgla kamiennego tworzącego ciekły żużel i spiekającego się szerokość szczeliny równa jest od 10 do 15 mm. Ze względu na możliwość wydłużenia się rusztów pod wpływem zmian temperatury końce rusztów są od siebie oddalone o około 0,03 l, nie mniej jednak niż o 10 mm i nie więcej niż o 20 mm.

Belka podrusztowa powinna być tak skonstruowana, aby nie utrudniała przepływu powietrza i ułatwiała odprowadzanie popiołu. Tym warunkom odpowiada belka przedstawiona

na rys. 3, natomiast takie ustawienie belki podrusztowej jak na rys. 4, należy uważać za błędne, gdyż uniemożliwia odprowadzenie żu-



Rys. 4. Błędna konstrukcja rusztu

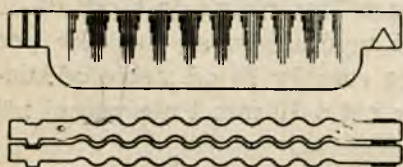
żłu, który dostaje się pomiędzy końce rusztowin, przez co niecelowe jest pozostawienie odstępu pomiędzy ich końcami.

Ruszt podtrzymuje paliwo i rozdziela doprowadzane od dołu przez popielnik powietrze, którego szybkość przepływu w szczelinach pomiędzy rusztowinami przy ciągu kominowym (naturalnym) wynosi od 0,75 do 1,6 m/sek, a przy ciągu mechanicznym (sztucznym) dochodzi do 4 m/sek, a nawet więcej. Ogólna powierzchnia prześwitów zawiera się w granicach od 25 do 40 % całej powierzchni rusztu dla węgla kamiennego i koksu oraz od 15 do 20% dla drewna.

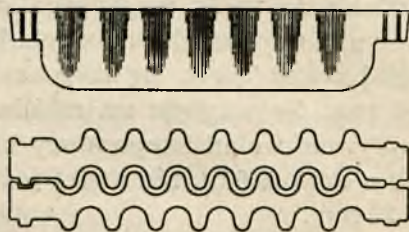
Powietrze przepływając do paleniska pomiędzy rusztowinami intensywnie je chłodzi i w ten sposób zabezpiecza ruszt od szybkiego zużycia.

Prześwity pomiędzy rusztowinami służą nie tylko do doprowadzania i rozdzielania powietrza, ale również i do usuwania z przestrzeni nadrusztowej popiołu, który pomiędzy rusztowinami

spada do popielnika. Aby ułatwić to spадanie, szczelina jest nieco rozszerzona ku dołowi, a rusztowiny zwięzają się. Wraz z popiołem do popielnika przesypują się również palne części paliwa, które wobec tego nie biorą dalszego udziału w spalaniu i wywołują tzw. straty popielnikowe. Straty te są szczególnie duże wówczas, gdy prześwity są szerokie, a paliwo drobne lub zawiera dużo miazła.

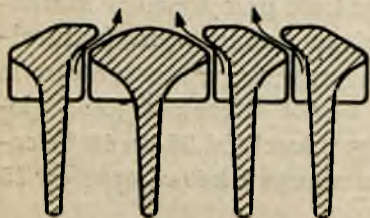
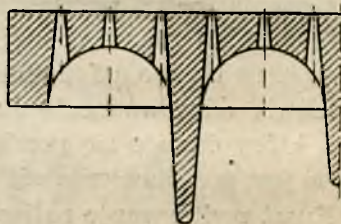


Rys. 5. Rusztowiny faliste

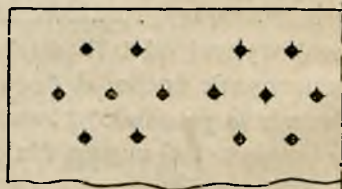


Rys. 6. Rusztowiny jodełkowe

Dla zmniejszenia strat popielnikowych szczeliny powinny być wąskie, ale ogólna powierzchnia prześwitów z tego powodu nie może być mniejsza. Dobrze spełnia ten warunek ruszt falisty (rys. 5) i ruszt jodełkowy (rys. 6). W paleniskach z podmuchem zasilanych miazłem węglowym bywają stosowane rusztowiny ze szczelinami skośnymi (rys. 7) lub płyty z otworkami stożkowymi.



Rys. 7. Rusztowiny ze szczelinami skośnymi do miazła



Rys. 8. Płyta rusztowa systemu Kudlicza

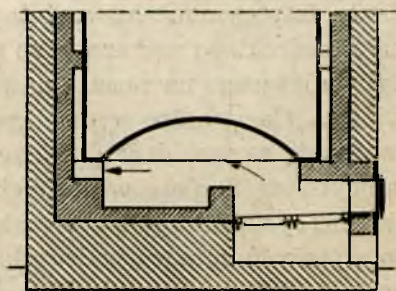
Na rys. 8 przedstawiono płytę rusztową systemu Kudlicza. Otworki rozmieszczone są na płycie grupami, ilość ich wynosi od 5000 do 5500 na 1 m² powierzchni; średnica ich u góry wynosi od 2 do 5 mm, u dołu zaś — 20 mm, ogólna powierzchnia prześwi-

tów nie przekracza 10%, czyli jest mniejsza niż w ruszcie normalnym. Dzięki temu powietrze przepływa przez otworki z dużą prędkością, co wymaga silnego podmuchu.

Ilość paliwa, którą w ciągu 1 godziny można spalić na 1 m² powierzchni rusztów, czyli tzw. *natężenie powierzchni rusztów* lub wprost natężenie rusztów, zależy od rodzaju paliwa, siły ciągu i konstrukcji paleniska; przeciętnie ilość węgla kamiennego wynosi od 80 do 250 kg/m²·godz., węgla brunatnego — od 200 do 400 kg/m²·godz, a torfu i trocin — od 200 do 300 kg/m²·godz.

Popiół, jak już zaznaczono poprzednio (na str. 21) tworzy na ruszcie żużel i szlakę, które należy usuwać w miarę ich powstawania z powierzchni rusztów za pomocą odpowiednich narzędzi (grac). Najłatwiej jest oczyszczać ruszt składający się z rusztowin prostych, trudniej — z rusztowin falistych, a najtrudniej — z jodełkowych.

Palenisko dolne przedstawione na rys. 9 ustawione jest pod reortą destylacyjną, stosowaną w gazowniach do destylacji smoły pogazowej oraz w niektórych fabrykach chemicznych. Z przodu paleniska jest umieszczona żeliwna płyta frontowa z dwoma otworami zamykanymi żeliwnymi drzwiczkami. Górny otwór paleniskowy ma szerokość od 300 do 500 mm, wysokość od 250 do 300 mm, natomiast otwór dolny popielnikowy ma wymiary mniejsze. Ze względu na obsługę ręczną paleniska położenie dolnej krawędzi otworu paleniskowego powinno znajdować



Rys. 9. Palenisko dolne

się na wysokości od 700 do 800 mm od poziomu podłogi w kotłowni. W czasie pracy paleniska drzwiczki paleniskowe są normalnie zamknięte, otwiera się je tylko podczas narzucania paliwa i w czasie oczyszczania rusztów, drzwiczki popielnikowe zaś są stale otwarte. Otwierając je mniej lub więcej szeroko można regulować ilość powietrza potrzebnego do spalania. Rusztowiny są ustawione nieco pochyło, aby łatwiej można było zarzucać paliwo. Pomiędzy rusztem a drzwiczkami znajduje się płyta przedrusztowa, która zabez-

piecza obmurze od zniszczenia. Na niej wspierają się przednie końce rusztowin. Wnętrze obmurowania retorty wyłożone jest cegłą ogniotrwałą, w celu zabezpieczenia go przed zbyt szybkim zniszczeniem.

Palenisko tego typu zasilane jest ręcznie. W czasie narzucania paliwa przez otwarte drzwiczki do paleniska wchodzi dużo zimnego powietrza, które oziębia palenisko i zwiększa straty kominowe, natomiast bezpośrednio po ukończeniu zasilania i zamknięciu drzwiczek do paleniska wchodzi za mało powietrza, gdyż gruba warstwa świeżo zarzuconego paliwa stawia duży opór powietrzu dopływającemu z popielnika przez prześwity rusztów. Wtedy właśnie potrzeba doprowadzić szczególnie dużo powietrza, gdyż w palenisku znajduje się znaczna ilość paliwa, a poza tym wydzielają się z niego lotne węglowodory, do spalania których potrzebne jest również powietrze. W rezultacie wskutek utrudnionego dopływu powietrza bezpośrednio po zarzuceniu paliwa część węglowodorów uchodzi do komina niespalona, zwiększając straty cieplne i obniżając sprawność paleniska.

Rozważania teoretyczne i przeprowadzone na szeroką skalę badania eksperymentalne wybitnych specjalistów i uczonych Związku Radzieckiego wykazały, że spalanie nie kończy się w warstwie paliwa leżącego na ruszcie nawet przy dostatecznym dopływie powietrza. Gazy, które wydzielają się z warstwy palącego się paliwa, zawierają zawsze dość dużo tlenu węgla i węglowodorów, dopalających się dopiero w górnych częściach paleniska. Aby zdążyły się one spalić, droga ich w palenisku musi być długa, wobec czego wysokość komory nadrusztowej powinna być znaczna. Według prof. B. Tołłoczki wysokość ta dla węgla kamiennych powinna wynosić od 3,5 do 5 m, natomiast w palenisku omawianym jest znacznie mniejsza. Zbyt mała wysokość powierzchni nadrusztowej (komory spalań) w istniejących paleniskach pod retortami destylacyjnymi (rys. 9) nie sprzyja rozwinięciu się płomienia i ukończeniu spalania. Spaliny zawierające jeszcze tlenek węgla i niespalone węglowodory od razu stykają się z dnem retorty, oddają im ciepło i stygną, co wpływa ujemnie na ukończenie procesu spalania. W palenisku tym należy więc spalać paliwą zawierającą mało węglowodorów lotnych. Znaczna część powierzchni ogrzewalnej retorty dzięki odpowiedniemu ukształtowaniu dna znajduje się

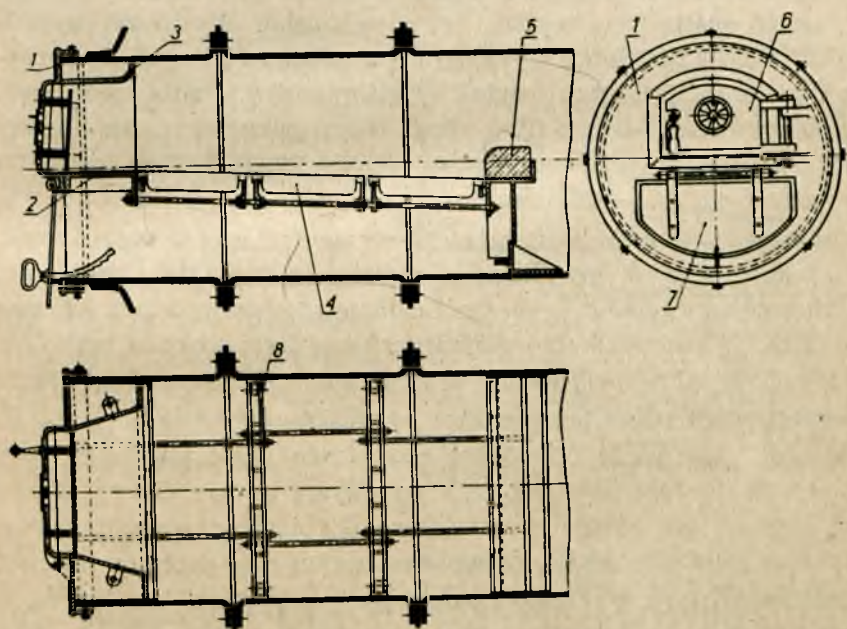
nad paleniskiem, co ułatwia oddawanie jej bezpośrednio przez promieniowanie dużych ilości ciepła. Z tego powodu spalanie w tym palenisku paliw o niskiej wartości opałowej jest utrudnione.

Natężenie powierzchni rusztu paleniska dolnego przy ciągu kominowym wynosi od 80 do 120 kg/m²·godz., a przy ciągu mechanicznym jest większe.

Komory spalań są znacznie wyższe w dolnych paleniskach kotłów parowych przedstawionych na rysunkach 78 i 87.

Warunki spalania w nich są lepsze niż w palenisku omawianym, wskutek czego można w nich spalać węgiel długopłomienny.

Paleniska wewnętrzne. Na rys. 10 uwidoczono palenisko wewnętrzne stosowane w kotłach płomienicowych i lokomobilowych.



Rys. 10. Palenisko wewnętrzne: 1 — płyta frontowa, 2 — płyta przedrusztowa, 3 — sklepienia ochronne, 4 — ruszt, 5 — przewał, 6 — drzwiczki paleniskowe, 7 — drzwiczki popielnikowe, 8 — belka podrusztowa

Palenisko to jest umieszczone wewnątrz stalowej płomienicy otoczonej wodą. Składa się ono z żeliwnej płyty frontowej 1, płyty przedrusztowej 2, sklepienia ochronnego 3, rusztu 4 i przewału 5.

Płyta frontowa jest osadzona na wystającym nieco końcu płomienicy, z którym połączona jest śrubami. Jest ona zaopatrzona

w drzwiczki paleniskowe i popielnikowe. Drzwiczki paleniskowe od strony paleniska mają osłonę oddaloną od nich o około 100 mm. Zadaniem jej jest ochrona drzwiczek przed silnym promieniowaniem paliwa, a przez to zabezpieczenie ich przed szybkim zużyciem. Pomiedzy płytą frontową a rusztem znajduje się płyta przedrusztowa, która odsuwa strefę spalania od drzwiczek w głąb paleniska. Sklepienie ochronne, przymocowane do płyty przedrusztowej, ma na celu zabezpieczenie przed działaniem silnego żaru szwów nitowych, którymi połączona jest płomienica z denkiem kotła parowego.

W końcu rusztu znajduje się przewał, który zabezpiecza paliwo przed staczaniem się poza ruszt w czasie narzucania i zwięza strumień spalin przy wyjściu ich z paleniska. Wywołuje to wiry umożliwiające dobre wymieszanie gazów spalinowych, co sprzyja dopalaniu się tlenku węgla i węglowodorów. Dolna część przewału wykonana jest z żeliwa, górna zaś od poziomu rusztu — z cegły ogniotrwałej. Przewał wystaje ponad powierzchnię rusztu na wysokość od 150 — 200 mm.

Wymiary omawianego paleniska wewnętrznego są ograniczone. Szerokość jego w przybliżeniu równa się średnicy płomienicy, a długość ze względu na ręczne zasilanie nie powinna być większa od 2 m. Wysokość komory nadrusztowej jest bardzo mała, co wpływa ujemnie na przebieg procesu spalania. Warunki spalania pogarsza dość niska temperatura paleniska, gdyż ścianki jego silnie chłodzone wodą otaczającą płomienicą pobierają przez promieniowanie duże ilości ciepła, które oddają wodzie. Gazy spalinywe zawierające niespalone węglowodory i tlenek węgla stygną stykając się z płomienicą, co wpływa ujemnie na przebieg procesu spalania. Z tych względów paleniska wewnętrzne kotłów parowych nadają się do paliw o dużej wartości opałowej, zawierających mało części lotnych.

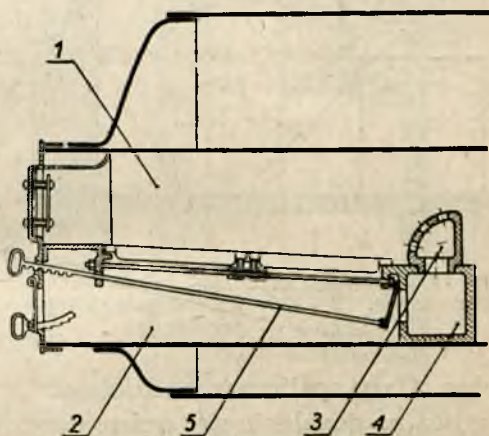
Aby w palenisku wewnętrznym można było spalać węgiel długopłomienny, do komory paleniskowej należy doprowadzać dodatkowo tzw. wtórne powietrze ¹⁾. Palenisko wewnętrzne z doprowadzeniem powietrza wtórnego przedstawione jest na rys. 11.

1) Powietrze wtórne będzie szczegółowo omówione na str. 64.

Natężenie powierzchni rusztów palenisk wewnętrznych wynosi od 100 do 120 kg/m²·godz. i tylko przy zastosowaniu ciągu sztucznego jest większe.

Do zalet palenisk tego typu należy zaliczyć: małe straty ciepłe powstałe wskutek promieniowania i przewodnictwa nieużytecznego, rzadkie wykonywanie napraw i bardzo mały ciężar, co pozwala na stosowanie ich w kotłach lokomobilowych, okrętowych i parowozowych. Do wad zaś zaliczamy: ograniczone wymiary, duże straty ciepłe wskutek niezupełnego spalania i konieczność stosowania paliw o dużej wartości opałowej.

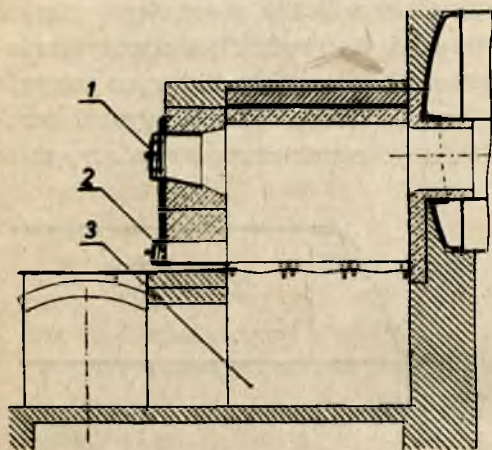
Paleniska wewnętrzne stosowane są nie tylko w kotłach parowych, ale i w niektórych piecach ceramicznych, w piecach do wypalania ultramaryny i innych. Różnią się one znacznie od wewnętrznych palenisk kotłów parowych, natomiast są bardzo podobne do palenisk przednich. Warunki spalania w paleniskach tego typu są dobre, a straty ciepłe spowodowane promieniowaniem nieużytecznym — małe.



Rys. 11. Palenisko wewnętrzne z doprowadzeniem wtórnego powietrza: 1 — komora paleniskowa, 2 — popielnik, 3 — przewal z otworami do powietrza, 4 — skrzynia powietrzna, 5 — dźwignia do regulowania ilości wtórnego powietrza

Paleniska przednie w przeciwieństwie do palenisk wewnętrznych kotłów parowych nadają się do paliw o małej wartości opałowej, a więc do węgla brunatnego, torfu i drewna. Na rys. 12 przedstawiono palenisko przednie do spalania torfu w kawałkach. Ponieważ torf nałożony grubszą warstwą dobrze się spala, więc ruszt jest umieszczony dość głęboko. Odległość jego od dolnej krawędzi drzwiczek, przez które jest narzucane paliwo, wynosi od 400 do 500 mm. Do komory nadrusztowej tego paleniska prowa-

dzą dwa otwory zamykane drzwiczkami, górny otwór większy o wymiarach od $300 \times 250 \text{ mm}^2$ do $500 \times 300 \text{ mm}^2$ służy do narzucania paliwa, a dolny otwór o wysokości 200 mm i szerokości równej szerokości otworu



Rys. 12. Palenisko przednie: 1 — drzwiczki paleniskowe, 2 — drzwiczki paleniskowe dolne, 3 — popielnik

głównego — do oczyszczania rusztu z żużlu. Ściany komory paleniskowej i sklepienie wymurowane są dwiema warstwami cegły: warstwa wewnętrzna wykonana jest z cegły ogniotrwałej, natomiast warstwa zewnętrzna — z cegły zwykłej. Popielnik ze względu na dość głębokie palenisko umieszczony jest poniżej poziomu podłogi w kotłowni.

Warunki spalania w omawianym palenisku są dobre. Gazy spalinowe wydzielające się z paliwa mają dość dużo miejsca na dopalenie się, wobec czego procent tlenku węgla i węglowodorów w gazach kominowych jest mały. Na prawidłowy przebieg spalania dodatni wpływ wywiera dość wysoka temperatura rozżarzonych ścian i sklepienia, które otrzymując ciepło przez promienowanie oddają je stykającym się z nimi gazom spalinywym. Z tego powodu natężenie powierzchni rusztu w tym palenisku jest większe od przeciętnego i dochodzi do $350 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{godz}$.

Palenisko do drewna. Drewno jako materiał opałowy bywa stosowane tylko w tartakach i takich fabrykach chemicznych, które przerabiają go jako surowiec, przy czym spalane są tylko odpadki i gorsze jego gatunki. Na rys. 13 przedstawiono palenisko przednie przeznaczone do spalania drewna w szczapach. Długość szczap wynosi zwykle około 1 m i dlatego szerokość paleniska (wymiar prostokąt do płaszczyzny rysunku) równa jest 1100 mm. Ze względu na to, że drewno dobrze się spala w grubych warstwach, głębokość paleniska jest duża i wynosi około 1,5 m. Długość ru-

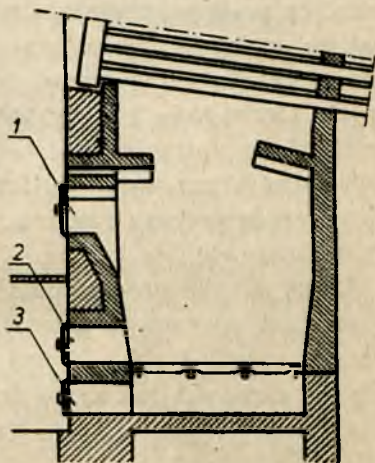
sztu zależy od wielkości paleniska, grubość zaś warstwy drewna — od jego rodzaju. Grubość warstwy drewna twardego i suchego może wynosić około 500 mm, grubość warstwy drewna suchej sosny i brzozy — od 600 do 800 mm, a grubość warstwy drewna wilgotnego powinna przekraczać 1 m. Szczapy zarzucane ręcznie, należy układać w palenisku szczelnie i prostopadłe do rusztowin. Obsługa ręczna tego paleniska nie jest łatwa, gdyż szczapy bywają czasami dość ciężkie.

W paleniskach przednich posiadających silnie rozgrzane ścianki wskutek promieniowania gromadzi się dużo ciepła, wskutek czego łatwo w nich utrzymać dość wysoką temperaturę nawet przy zasilaniu okresowym. Paliwa zawierające dużo węglowodorów lotnych oraz paliwa o niskiej wartości opałowej lepiej się spalają w paleniskach przednich niż wewnętrznych lub dolnych. W przypadku bowiem paliw o wysokiej wartości opałowej temperatura w palenisku jest bardzo wysoka, co wywołuje szybkie zużywanie się obmurza. Z tego powodu nie nadaje się ono do paliw wysokokalorycznych.

Jako wady palenisk przednich należy wymienić duże straty ciepła wywołane promieniowaniem nieużytecznym i znacznym zużyciem paliwa przy rozpalaniu paleniska na ogrzanie jego ścian. Ciepło zawarte w rozgrzanych ścianach paleniska traci się nieużytecznie po przerwaniu w nim palenia. Do wad palenisk tego typu należy również zajmowanie przez nie dużej przestrzeni.

13. Paleniska o zasilaniu ciągłym

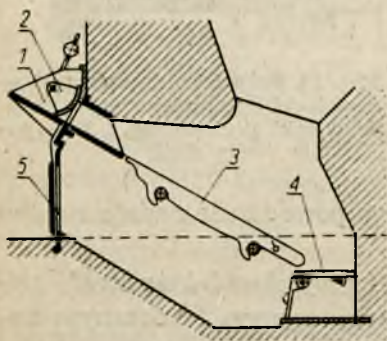
Ręczne zasilanie palenisk z natury swej jest zasilaniem okresowym (periodycznym), co związane jest z okresowymi zmianami



Rys. 13. Palenisko do szczap: 1 — drzwiczki paleniskowe, 2 — drzwiczki pomocnicze, 3 — popielnik

zachodzącymi w procesie spalania. W czasie zarzucania paliwa na ruszt temperatura paleniska, jak było wyjaśnione poprzednio, silnie spada. Spadek ten trwa jeszcze pewien czas nawet po ukończeniu zasilania. Następnie, gdy świeżo narzucone paliwo zaczyna się palić, temperatura w palenisku początkowo powoli, a później szybko wzrasta, osiąga wartość największą i znowu wskutek dopalania się paliwa spada. Ilość powietrza potrzebnego do spalania wkrótce po doprowadzeniu paliwa jest duża, a w miarę tego, jak paliwo spala się i ilość jego w palenisku maleje, mimo że powietrza potrzeba coraz mniej, dopływa ono w ilościach coraz większych. Oczywiście zmiany temperatury w palenisku oraz zmiany w ilościach potrzebnego i dopływającego do spalania powietrza, wywołane okresowym zasilaniem paleniska, wpływają ujemnie na przebieg procesu spalania, wywołują dymienie oraz powodują duże straty ciepłe.

Ażeby ustalić proces spalania, a przez to zmniejszyć dymienie i podnieść sprawność palenisk, należy doprowadzać do nich paliwo w sposób ciągły. Można to osiągnąć albo przez wykorzystanie siły ciężkości, jak to się dzieje w paleniskach z rusztem pochylonym lub schodkowym, albo za pomocą różnych mniej lub więcej skomplikowanych mechanizmów, jakie są stosowane w paleniskach o zasilaniu mechanicznym.



Rys. 14. Palenisko z rusztem pochylonym: 1 — skrzynia zasilająca, 2 — zasuwa regulacyjna, 3 — ruszt pochylony, 4 — ruszt żuźlowy, 5 — drzwiczki popielnikowe

Palenisko o ruszcie pochylonym, przedstawione schematycznie na rys. 14, jest paleniskiem dolnym. Rusztowiny wykonane z żeliwa ustawione są pochyło do poziomu pod kątem α , zależnym od naturalnego kąta zsypania paliwa, tak aby paliwo w miarę spalania

samo obsuwało się w dół po powierzchni rusztu. Zależnie od rodzaju paliwa kąt α wynosi od 30 do 45° (30° dla torfu i koksu w kawałkach, 35° dla węgla brunatnego i 40°, a nawet więcej dla węgla kamiennego). Poniżej rusztu pochylonego ustawia się krótki

ruszt poziomy, tzw. ruszt żuźłowy. Na zewnątrz paleniska przy ścianie frontowej znajduje się kosz zasilający, wypełniony paliwem. Z niego zsuwa się ono w głąb paleniska pod działaniem siły ciężkości. Grubość warstwy paliwa można regulować za pomocą obrotowej zasuw. Pomiędzy koszem zasilającym a rusztem znajduje się płyta przedrusztowa.

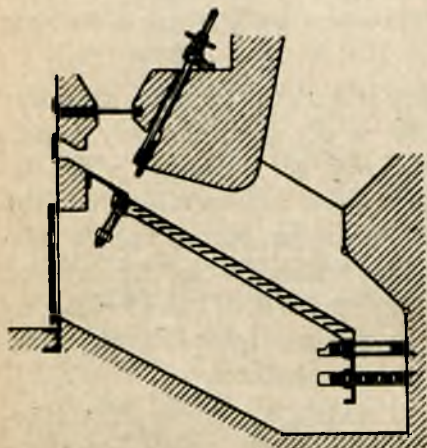
Świeże paliwo zsuwając się z góry stopniowo ogrzewa się, suszy i następnie w miarę przesuwania się w dół wydziela gazy, zapala się i po spaleniu zsuwa na ruszt żuźłowy, gdzie następuje dopalanie się tych jego części, które oblepione są żuźlem. Gazy wydzielające się podczas destylacji rozkładowej w górnej części paleniska płyną nad warstwą paliwa ku środkowej części paleniska, gdzie spotykają się ze spalinami płynącymi z dołu i zawierającymi dużo tlenu. W środku paleniska, w miejscu najwęższym, następuje ich wymieszanie i następnie zupełne spalanie.

Paleniska o ruszcie pochyłym nie nadają się do węgla krótkopłomiennych, które trudno się zapalają, węgla spiekających się, które źle się zsuwają po ruszcie, paliwa dającego łatwo topliwy żuźel oraz paliwa drobnego i zawierającego dużo miazgu, gdyż łatwo się ono przesuwa przez prześwity rusztów podczas zsuwania się paliwa w dół.

Paleniska o ruszcie pochyłym są łatwe do obsługi, która ogranicza się do napełniania kosza paliwem, w przypadku gdy nie są one zmechanizowane, usuwania co jakiś czas żuźlu z rusztu i wyrównywania w miarę potrzeby warstwy paliwa na ruszcie. W palenisku tego typu zbędne jest otwieranie drzwiczek i związane z tym studzenie paleniska.

Paleniska o ruszcie schodkowym (rys. 15) konstrukcyjnie podobne są do palenisk z rusztem pochyłym, tylko zamiast rusztu płaskiego mają ruszt schodkowy. Ruszt składa się z żeliwnych rusztowin szerokości od 100 do 120 mm, grubości od 10 do 12 mm i długości od 400 do 600 mm, ustawionych pomiędzy bocznymi, pochyłymi belkami rusztowymi, które są zaopatrzone w odpowiednie występy. Odstęp rusztowin w kierunku pionowym jest taki, że pomiędzy nimi wytwarza się pozioma szczelina (prześwit) wysokości od 20 do 30 mm. Ruszt ustawiony jest pod kątem α do poziomu, przy czym kąt ten jest nieco mniejszy od kąta natu-

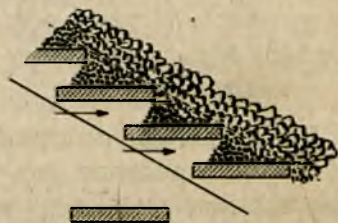
ralnego zsypu paliwa. Można go regulować w granicach $\pm 5^\circ$ opuszczając lub podnosząc za pomocą śrub górny koniec belek bocznych. W dole pod rusztem schodkowym znajduje się krótki ruszt żuźlowy, na którym dopalają się resztki paliwa zawarte w żuźlu.



Rys. 15. Palenisko z rusztem schodkowym

W przedniej części paleniska znajduje się kosz, z którego paliwo dostaje się do paleniska. Do regulacji grubości jego warstwy na ruszcie służy zasuwą poruszana za pomocą kółka ręcznego i śruby. Między zasuwą a ścianą frontową znajduje się płyta przedrusztowa, nad którą w ścianie frontowej jest otwór zamknięty z drzwiczkami służący w razie potrzeby do rozgarniania paliwa na ruszcie.

Jak w palenisku z rusztem pochyłym tak i tu w miarę zsuwania się paliwa w dół w górnej części odbywa się ogrzewanie, suszenie i rozpoczyna się proces gazowania paliwa, w części środkowej — spalanie wydzielających się gazów i części stałych paliwa, a w dolnej części następuje dopalanie się koksu. W głąb paleniska zsuwa się nie cała ilość paliwa znajdującego się na ruszcie, lecz tylko jego warstwa górna, ograniczona od dołu powierzchnią styczną do rusztowin (oznaczona na rys. 16 linią przerywaną). Paliwo leżące na rusztowinach pod tą powierzchnią nie zsuwa się, ale pozostaje tam aż do całkowitego spalania się. W ten sposób na każdej rusztowinie powstaje ognisko żaru, na które nasuwa się poruszająca się warstwa paliwa. Sprzyja to jej zapalaniu się, gdyż oprócz zapłonu od góry przez zetknięcie się z płomieniem następuje również zapłon od dołu.



Rys. 16. Układ paliwa na ruszcie schodkowym

Górna warstwa paliwa w miarę zsuwania się, spala się, zawartość w niej żużlu wzrasta i na ruszt żużlowy dostaje się żużel zawierający stosunkowo mało części palnych.

Zarówno w palenisku tym, jak i w paleniskach o ruszcie pochylonym, węglowodory wydzielające się z paliwa płyną z górnej części paleniska ku środkowi, gdzie stykają się z bogatymi w tlen gazami płynącymi od dołu, mieszają się z nimi i ulegają zupełnemu spalaniu.

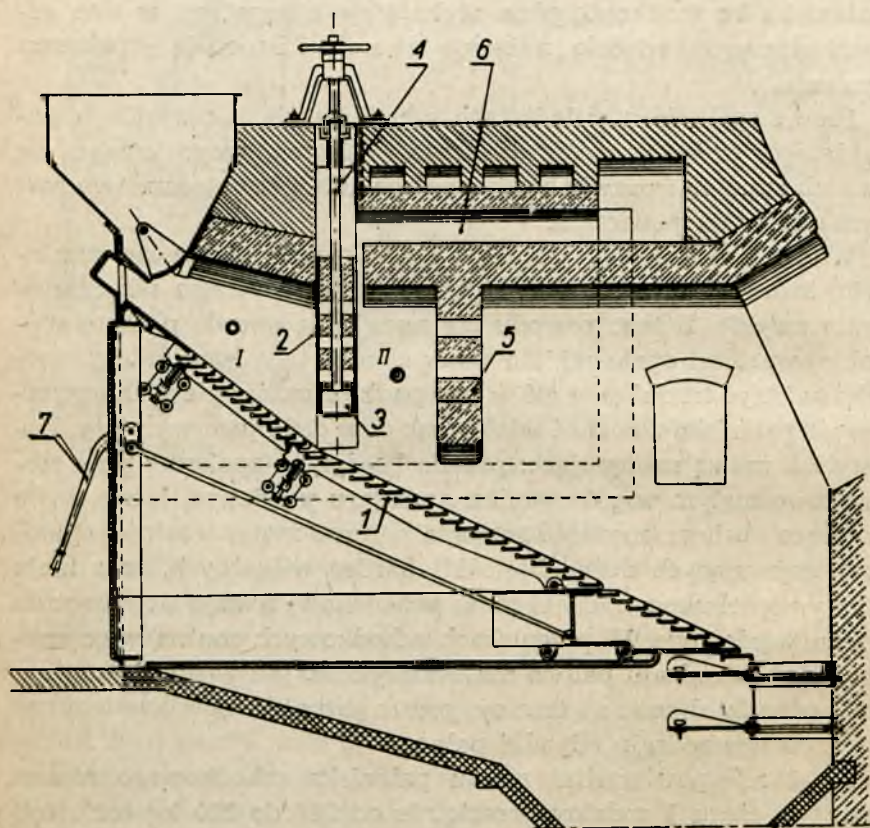
Proces spalania w paleniskach schodkowych, jak wynika z powyższego, przebiega równomiernie, wskutek czego osiąga się w nich zupełne i prawie bezdymne spalanie przy stosunkowo małym nadmiarze powietrza.

Wadą tych palenisk jest zbyt szybkie przepalanie się rusztowin, które są znacznie słabiej chłodzone powietrzem niż rusztowiny zwykłe. Z tego powodu nie nadają się one do paliw o wysokiej wartości opałowej. Do wad palenisk tego typu należy również zaliczyć trudniejsze niż w przypadku rusztów płaskich oczyszczanie paleniska z żużlu i szlaku oraz dość duże jego wymiary. Zalety ich zaś są następujące: prawie bezdymne spalanie, przy stosunkowo małym współczynniku nadmiaru powietrza, łatwa, mało męcząca obsługa, możliwość spalania paliw o małej wartości opałowej, zajmujących dużą objętość i bardzo wilgotnych, oraz małe straty popielnikowe; dzięki temu paleniska te nadają się nawet do miału węglowego. W paleniskach schodkowych można więc spalać różnego rodzaju paliwa małokaloryczne, jak węgiel brunatny, torf, odpadki drzewne i trociny, gorsze gatunki węgla kamiennego i wszelkiego rodzaju odpadki palne.

Na 1 m² powierzchni rusztu paleniska schodkowego można spalić w ciągu 1 godziny przeciętnie od 200 do 300 kg torfu lub węgla brunatnego.

Paleniska półgazowe (rys. 17) posiadają ruszt schodkowy i składający się z trzech części. Pierwsza górna część rusztu pochylona jest pod kątem większym od naturalnego kąta zsypania paliwa, natomiast kąt nachylenia pozostałych części jest taki, jaki zwykle stosuje się w paleniskach schodkowych. Wskutek tego warstwa paliwa leżącego na górnym ruszcie jest grubsza w jego dolnym końcu, a cieńsza u góry. Grubość warstwy na ruszcie środkowym i dolnym reguluje zasuwą 2. Jest ona wykonana z cegieł szamo-

towych ułożonych na żelwnej belce 3 chłodzonej powietrzem od wewnątrz. Powietrze chłodzące dostaje się do belki przez rury 4, na których jest ona zawieszona, i przez szereg otworków o małej średnicy przepływa do komory paleniskowej.



Rys. 17. Palenisko półgazowe: 1 — ruszt schodkowy, 2 — zasuwa regulująca grubość warstwy paliwa na ruszcie, 3 — belka, 4 — rura do powietrza chłodzącego, 5 — ściana ażurowa, 6 — szczelina dla chłodzącego powietrza, 7 — dźwignie do poruszania dolnej części rusztu

Zasuwę można podnosić lub opuszczać za pomocą odpowiedniego mechanizmu obracając w jedną lub w drugą stronę kółko ręczne (widoczne na rysunku). Oprócz zasuwy palenisko ma nieruchomą, ażurową podobnie jak zasuwa przegrodę 5, wskutek czego

jest ono podzielone na trzy niejednakowe co do wielkości komory.

Sklepienie paleniska, wykonane z cegły ogniotrwalej, a częściowo i boczne jego ściany chłodzone są powietrzem. Kanałami znajdującymi się w bocznych ścianach paleniska zaznaczonymi na rysunku liniami przerywanymi dopływa ono do komory 6, skąd płynąc nad sklepieniem przez szczelinę pomiędzy zasuwą 2 i sklepieniem jako powietrze wtórne dostaje się do środkowej komory paleniska.

Paliwo leżące dość grubą warstwą na górnym ruszcie ogrzewa się, osusza i częściowo odgazowuje. Wydzielające się gazy przepływają przez otwory w zasuwie 2 do środkowej komory paleniska, do której dopływają również gazy wydzielające się z tej części paliwa, która leży bezpośrednio pod nią. Do komory tej dopływa również powietrze wtórne częściowo przez otworki w belce 3, częściowo zaś przez szczelinę pomiędzy sklepieniem i zasuwą 2. W komorze tej zachodzi wstępne wymieszanie gazów i powietrza. Mieszanina przechodząc następnie wąskimi strumieniami przez rozżarzoną przegrodę 5 spala się poza przegrodą.

Paliwo leżące na ruszcie schodkowym w trzeciej komorze paleniska i pozbawione już części lotnych, które zdążyły odgazować poprzednio, spala się całkowicie przy właściwym nadmiarze powietrza w miarę spalania zsuwając się coraz niżej. Jeżeli z jakiegoś powodu zatrzyma się ono na powierzchni rusztu to, aby go pobudzić do dalszego zsuwania się, warstwę paliwa na ruszcie należy poruszyć. W tym celu dolna część rusztu jest umieszczona na wózku (na kółkach), który można przesuwac w jednym lub drugim kierunku za pomocą dźwigni dwuramiennej 7 i drażka łączącego dźwignię z wózkiem. Stosunek ramion dźwigni jest tak dobrany, że przesuw rusztu wynosi 20 do 25 mm. W razie zatrzymania się paliwa na ruszcie wystarczy poruszyć kilka razy w jedną i drugą stronę dolną część rusztu, aby warstwa paliwa przesunęła się.

Proces spalania w paleniskach półgazowych składa się z dwóch części: odgazowania paliwa leżącego na ruszcie stosunkowo grubą warstwą i ze spalania lotnych jego składników i twardej pozostałości (koks), przy czym spalanie koks odbywa się na rusztach, a spalanie palnych gazów — nad rozżarzonym paliwem. Taki prze-

bieg procesu spalania umożliwiła prowadzenie go przy mniejszym nadmiarze powietrza niż w paleniskach zwykłych i w sposób bardziej równomierny w prawie stałej temperaturze.

Paleniska półgazowe stosowane są do spalania węgla brunatnego, torfu, drewna i różnego rodzaju odpadków palnych. Ze względu na szybkie przepalanie rusztowin nie należy w nich spalać paliw o wysokiej wartości opałowej.

Powietrze wtórne. Gdy na ruszcie leży gruba warstwa paliwa lub gdy zawiera ono dużo części lotnych, dopływ powietrza do paleniska nie jest dostateczny, ponieważ warstwa paliwa stawia duży opór powietrzu dopływającemu z popielnika. Oczywiście wskutek małej ilości powietrza proces spalania w palenisku nie przebiega do końca. W gazach spalinowych wskutek niezupełnego i niecałkowitego spalania znajduje się dużo tlenu węgla i niespalonych węglowodorów. Powoduje to dymienie komina i duże straty ciepłne. Aby temu zapobiec, należy doprowadzać do paleniska dodatkowe powietrze w celu spalania tlenu węgla i węglowodorów.

Powietrze to w odróżnieniu od powietrza doprowadzanego poprzez ruszt nazywa się *wtórnym*.

Wtórne powietrze należy wprowadzać do paleniska w takim miejscu, gdzie jest dużo węglowodorów i tlenu węgla, przy tym trzeba zapewnić mu dobre wymieszanie się z gazami spalinowymi. Aby spalanie gazów palnych zachodziło dostatecznie szybko, powietrze wtórne powinno być ogrzane do możliwie wysokiej temperatury. Oczywiście ilość wtórnego powietrza powinna być należyście dobrana. Przy niedostatecznej jego ilości w gazach spalinowych pozostanie niespalony tlenek węgla i węglowodory, co wywoła duże straty wskutek niezupełnego spalania, a przy nadmiernej ilości wtórnego powietrza obniży się temperatura spalin i wzrosną straty kominowe.

Doprowadzając powietrze potrzebne do spalania dwiema porcjami: jako powietrze pierwotne przez ruszt i wtórne do odpowiedniego miejsca komory paleniskowej, i zapewniając mu dobre wymieszanie z gazami osiągamy zupełne spalanie przy małym ogólnym nadmiarze powietrza, gdyż druga końcowa faza procesu spalania, polegająca na utlenianiu tlenu węgla i węglowodorów, zachodzi w korzystnych warunkach, a mianowicie w wysokiej tem-

peraturze nad rozżarzonym paliwem. Mały zaś nadmiar powietrza, jak już było kilkakrotnie podkreślane, związany jest z małymi stratami kominowymi i wysoką temperaturą w palenisku.

Wtórne powietrze doprowadzane przez kanały w ścianach i sklepieniu paleniska ochładza je i w ten sposób zabezpiecza przed zbyt szybkim zniszczeniem.

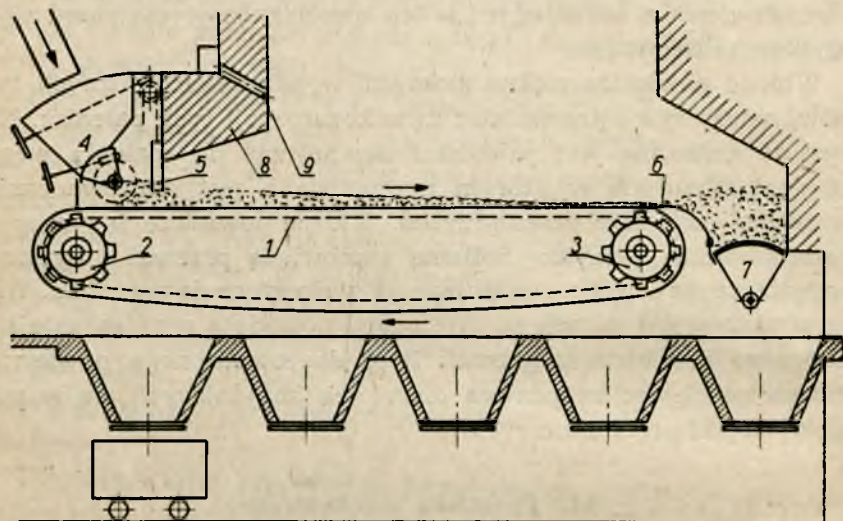
Wtórne powietrze można stosować w paleniskach różnych typów, należy tylko przewidzieć to w konstrukcji tych palenisk. Na rys. 11 pokazane jest palenisko wewnętrzne do spalania węgla długopłomiennych w którym przewidziane jest doprowadzanie wtórnego powietrza przez przewał. Wtórne powietrze w tym wypadku chłodzi skrzynkę żeliwną stanowiącą przewał i ogrzane wchodzi przez otworki znajdujące się w skrzynce do paleniska. Wiry powstające w gazach za przewalem powodują wymieszanie się wtórnego powietrza z gazami. Ilość doprowadzonego powietrza można regulować za pomocą drzwiczek znajdujących się w popielniku pod przewalem.

14. Paleniska mechaniczne

Prawidłowy przebieg spalania w palenisku wymaga fachowej, starannej i sumiennej obsługi. Szczególnie sumienną powinna być obsługa palenisk o zasilaniu ręcznym, które jednak nawet przy stosunkowo małych paleniskach jest uciążliwe i wyczerpuje palacza. Toteż w paleniskach średnich i większych stosowane jest mechaniczne zasilanie, a nawet mechaniczne oczyszczanie. W tym celu skonstruowano dużo różniących się od siebie rodzajów palenisk mechanicznych, z których niektóre, np. paleniska z mechanicznym zarzucaniem paliwa, obecnie nie są już budowane, inne zaś, coraz więcej udoskonalane, stosowane są w instalacjach zużywających dużo paliwa.

Palenisko o ruszcie taśmowym, przedstawione schematycznie na rys. 18, jest paleniskiem mechanicznym. Główną jego częścią składową jest ruszt w postaci taśmy o obwodzie zamkniętym 1, rozpiętej na kołach łańcuchowych osadzonych na dwóch równoległych wałach 2 i 3; wał przedni jest napędzany, tylny zaś jest zaopatrzony w mechanizm do naciągania taśmy. Palenisko ma kosz 4 z odchylną zasuwą, warstwownicę 5 do regu-

lowania grubości warstwy paliwa na ruszcie, zgarniacz 6 do zgarniania żużlu z powierzchni rusztów, zasuwę 7 do usuwania żużlu gromadzącego się za zgarniaczem oraz mechanizm do napędu rusztu nie zaznaczony na schemacie.



Rys. 18. Palenisko taśmowe: 1 — taśma, 2, 3 — wały, 4 — kosz, 5 — zasuwa regulująca grubość warstwy paliwa, 6 — zgarniacz, 7 — zasuwa, 8 — sklepienie zapłonowe, 9 — otwór powietrza wtórnego

Paliwo z kosza 4 dostaje się na ruszt taśmowy przesuwany się w głąb paleniska z prędkością od 6 do 20 m/godz; w miarę przesuwania rusztu pod wpływem promieniowania rozżarzonych ścian, sklepienia i palących się gazów paliwo ogrzewa się, suszy, odgazowuje, zapala się, wskutek spalania warstwa jego staje się coraz cieńsza i przy końcu rusztu dopala się. Zgarniacz 6 zdrapuje i usuwa żużel z powierzchni taśmy. Popiół i żużel spadający przez prześwity pomiędzy rusztowinami dostaje się do olejów, skąd jest usuwany.

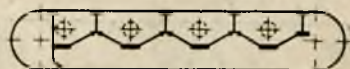
Ruszt taśmowy z mechanizmem do jego naciągania oraz kosz do zasilania są osadzone na ramie, którą zwykle albo umocowuje się na stałe w obmurzu paleniska, albo umieszcza się na kółkach tak, aby cały ruszt można było wyciągnąć z paleniska, gdy zajdzie potrzeba dokonania jego naprawy.

Ilość paliwa spalanej w palenisku reguluje się przez zmiany grubości jego warstwy na taśmie za pomocą warstwowicy 5 przy

jednoczesnej zmianie prędkości posuwu rusztu oraz zmianie ciągu (podmuchu). Te trzy czynniki: grubość warstwy, posuw i siła ciągu muszą być tak dobrane, aby paliwo kończyło się palić przy zgarniaczu, gdyż w przeciwnym razie, gdy paliwo nie zdąży się spalić, powstaną duże straty w żużlu wskutek niecałkowitego spalania. Jeżeli zaś paliwo spali się za wcześnie, to przez nie przykryty paliwem ruszt dostanie się zbyt wiele powietrza, co obniży w palenisku temperaturę i zwiększy straty kominowe.

W miarę przesuwania się taśmy z paliwem zmieniają się kolejno fazy procesu spalania: paliwo stopniowo zamienia się w koks, a jego warstwa na ruszcie zmniejsza się. W związku z tym zapotrzebowanie powietrza do spalania oraz potrzebny ciąg w różnych miejscach rusztu taśmowego nie są jednakowe. W tym miejscu, gdzie zachodzi odgazowanie paliwa, potrzeba dużo powietrza, w miarę — jak proces spalania rozwija się — warstwa paliwa staje się cieńsza, powietrza zużywa się coraz mniej. Podobnie przedstawia się sprawa ciągu, gdyż tam,

gdzie potrzeba dużo powietrza, warstwa paliwa jest duża i z tego powodu potrzebny jest duży ciąg (duży podmuch): w końcu paleniska, gdzie warstwa paliwa jest



Rys. 19. Schemat poddmuchu strefowego

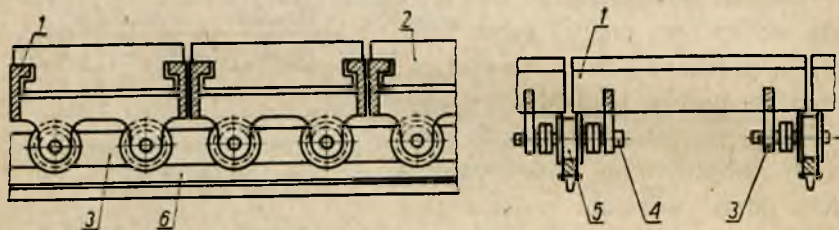
cienka, potrzebny ciąg słabszy. Aby dostosować ilość doprowadzonego powietrza do ilości powietrza potrzebnego w danym miejscu, w paleniskach dużych i średniej wielkości stosuje się podmuch strefowy. W tym celu pod górnym pasmem rusztu taśmowego buduje się kilka otwartych od góry komór i do każdej z nich za pomocą wentylatora doprowadza się powietrze pod odpowiednim ciśnieniem, jak pokazano schematycznie na rys. 19. Każda komora zasila powietrzem położoną nad nią część rusztu. W dnach komór znajdują się otwory zamykane zasuwami lub drzwiczkami do usuwania z nich przesyłu z rusztów.

Wydzielające się z paliwa tuż za warstwownicą 5 (rys. 18) węglowodory lotne kierowane są w głąb paleniska pod krótkim, nieco pochyłym sklepieniem 8 nad wystającą z komory spalania częścią rusztu. Tam mieszają się one z powietrzem wtórnym doprowadzanym przez otwór 9 znajdujący się w ścianie frontowej paleniska i spalają się. Sklepienie 8, silnie rozgrzane przez promieniowanie

płonącego w głębi paleniska paliwa, odbija padające na nie promienie i wywołuje w ten sposób zapłon paliwa leżącego w pobliżu; z tego względu sklepienie tego typu nazywa się *sklepieniem zapłonowym*.

Pierwsze ruszty taśmowe składały się z rusztowin o kształcie zbliżonym do ogniów łańcucha Galla ¹⁾. Rusztowiny te łączono ze sobą w taki sposób, że tworzyły one wielorzędową taśmę łańcuchową. Z tego powodu paleniska taśmowe nawet obecnie bywają jeszcze nazywane łańcuchowymi, chociaż ruszt łańcuchowy został już od dawna zastąpiony rusztami taśmowymi nowszej konstrukcji.

W obecnych rusztach taśmowych łańcuchy w ilości dwóch, trzech lub więcej (przy paleniskach szerokich) są tylko elementem przenoszącym siłę napędową, taśma zaś wykonana jest z rusztowin osadzonych w ramkach lanych, długości od 600 do 800 mm, a nawet dłuższych, gdy są wykonane ze stali walcowanej, przymoco-



Rys. 20. Ruszt taśmowy z ramkami lany: 1 — ramki, 2 — rusztowiny, 3 — ogniwa łańcucha Galla, 4 — sworznie, 5 — kółka, 6 — szyna

wanych do łańcuchów Galla. Aby taśma rusztowa nie zwisała pod ciężarem leżącego na niej paliwa i własnym, łańcuchy zaopatrzone są w rolki (kółka), które toczą się po odpowiednich szynach. Na rys. 20 pokazany jest ruszt taśmowy z ramkami lany. Jak widać z rysunku, na ramki 1 nasunięte są rusztowiny 2. Ramki połączone są z ogniwami 3 łańcucha Galla za pomocą sworzni 4, które są jednocześnie osiami kółek 5 toczących się po szynie prostokątnej 6.

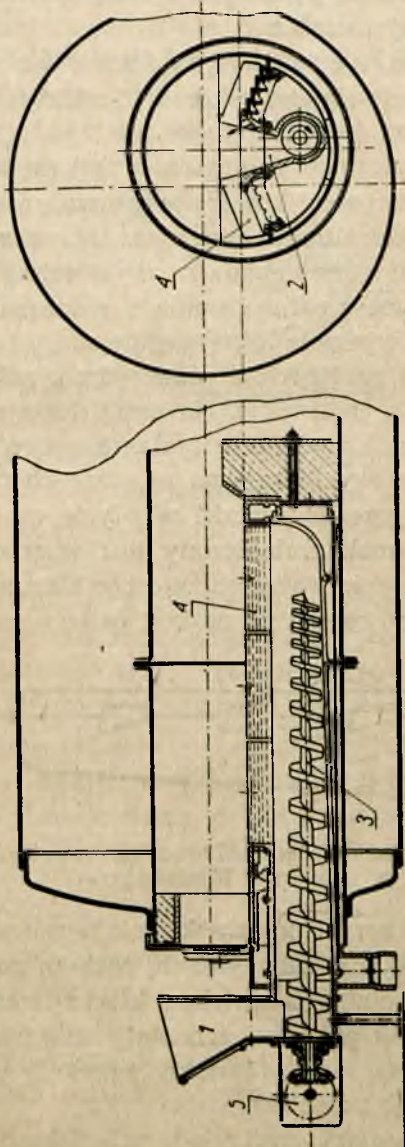
Paleniska o ruszcie taśmowym przeznaczone są do paliwa sortowanego zaczynając od mialu aż do orzecha I. Mają one różne wymiary. Największe paleniska mają długość do 8 m i szerokość

¹⁾ Łańcuch Galla jest podobny do łańcucha rowerowego.

do 6 m, a paleniska o ruszcie podwójnym — nawet do 11 m. Na-
 tężenie powierzchni rusztu palenisk taśmowych przy ciągu komi-
 nowym wynosi od 100 do 150
 kg/m^2 godz, a przy podmuchu
 strefowym — od 180 do 250
 kg/m^2 godz. Gdy obsługa jest
 staranna i odpowiednia, spala-
 nie w paleniskach tego ty-
 pu jest prawie bezdymne i
 praktycznie mówiąc — zupeł-
 ne, a przy zastosowaniu od-
 powiedniego paliwa w pale-
 niskach tych powstają bard-
 zo małe straty popielnikowe.
 Tym się tłumaczy, dlaczego
 sprawność palenisk o ruszcie
 taśmowym jest wysoka i do-
 chodzi do 96%.

Paleniska z rusztem taśmo-
 wym posiadają również wady,
 do których przede wszystkim
 należy zaliczyć wysoką
 cenę (wskutek dość skompli-
 kowanej konstrukcji), koszt
 napędu, droższe i trudniejsze
 remonty w porównaniu z pa-
 leniskami omawianymi po-
 przednio. Pomimo tych wad
 zalety palenisk o ruszcie ta-
 śmowym są tak wielkie, że
 paleniska te są bardzo roz-
 powszechnione w przemyśle.

W paleniskach taśmowych
 paliwo spoczywające nieru-
 chomo na ruszcie przesuwa
 się w głąb paleniska. Istnieją
 paleniska mechaniczne, w
 których paliwo przesuwane



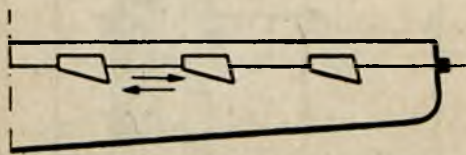
Rys. 21. Palenisko podsuwowe: 1 — kosz zasilający, 2 — retorta, 3 — ślimak, 4 — ruszt, 5 — napęd

jest od dołu pod palącą się jego warstwą, oraz takie, w których paliwo świeże nasuwa się na palącą, poprzednio wprowadzoną jego porcję. Z licznych tego rodzaju palenisk na uwagę zasługują paleniska podsuwowe oraz paleniska z rusztami wykonującymi ruchy zwrotne.

Palenisko podsuwowe przedstawione jest na rys. 21. Składa się ono z kosza 1, retorty 2, ślimaka 3, rusztu 4 i mechanizmu napędzającego, nie uwidocznionego na rysunku. Żeliwny ślimak tego paleniska o zmiennym skoku obracając się zabiera paliwo spod kosza i przesuwa go w głąb paleniska. Dzięki temu, że skok ślimaka zmniejsza się, paliwo jest równomiernie wypychane do góry i spada na dwustronny ruszt schodkowy.

Świeże paliwo w miarę podnoszenia się do góry ogrzewa się, suszy, wydziela lotne węglowodory i następnie zapala się. Węglowodory przechodząc przez górną, palącą się warstwę paliwa spalają się całkowicie. Na ruszt dostaje się paliwo pozbawione części lotnych i w miarę spalania zsuwa się coraz niżej. Popiół i żużel, które się zbierają na najniższych rusztowinach, są usuwane ręcznie przez drzwiczki w płycie czołowej paleniska.

Ślimak umieszczony jest w retorcie niesymetrycznie. Jest on przesunięty względem osi w kierunku swego obrotu; w ten sposób przesuujące się na bok paliwo, napotykać na dodatkowy opór, równomiernie wysuwa się na obie strony. Gdyby bowiem retorta była umieszczona symetrycznie, paliwo bardziej wysuwałoby się na tę stronę paleniska, w kierunku której obraca się ślimak.



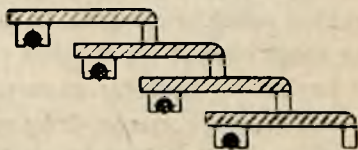
Rys. 22. Klocki zasilające w retorcie o przekroju prostokątnym

W innych konstrukcjach tego rodzaju palenisk ślimak zastępuje się poruszającymi się ruchem zwrotnym klockami zasilającymi o specjalnym kształcie; klocki te są osadzone na wspólnym drążku, jak pokazano schematycznie na rys. 22. W tych konstrukcjach retorta ma poprzeczny przekrój prostokątny, zmniejszający się w głąb paleniska.

Regulacja zasilania w paleniskach podsuwowych polega na zmianie ilości obrotów ślimaka lub ilości skoków klocków zasilających.

Paleniska te nadają się do paliw długopłomiennych zawierających dużo lotnych węglowodorów. Koks i paliwa ubogie w części lotne źle palą się w tych paleniskach.

Paleniska z rusztami o ruchach posuwisto-zwrotnych posiadają ruszt schodkowy, paliwo poruszane jest w nich mechanicznie. Ruszt w tych paleniskach pochyłony jest pod kątem od 12 do 18°; pochylenie to jest więc tak małe, że paliwo nie może się zsuwać tylko pod działaniem własnego ciężaru. Aby wywołać ruch paliwa, rusztowinom nadaje się w płaszczyźnie poziomej ruch posuwisto-zwrotny o skoku od 40 do 60 mm. Poszczególne rusztowiny jednym końcem zahaczają o drążki, drugim końcem zaś swobodnie wspierają się na sobie (rys. 23).



Rys. 23. Ruszt paleniska posuwisto-zwrotnego

Końce co drugiego drążka połączone są ze sobą wspólną ramą, wprawianą w ruch drgający za pomocą mimośrodów. W ten sposób co druga rusztowina ma ruch posuwisto-zwrotny i tak przesuwa paliwo, że nasuwa je na wierzchnią warstwę poprzedniej leżącej niżej.

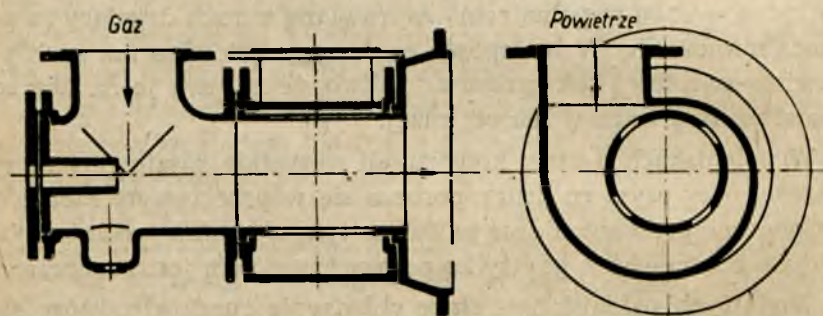
W paleniskach o innej konstrukcji wszystkie rusztowiny są ruchome, przy czym co druga porusza się w przeciwnym kierunku. Oczywiście przesuwanie się paliwa w tym wypadku jest intensywniejsze niż wówczas, gdy tylko połowa rusztowin jest ruchoma.

Wadą tych palenisk jest słabe chłodzenie rusztowin, które stosunkowo szybko zużywają się, natomiast ich zaletą — dość duże natężenie powierzchni rusztu dochodzące do $500 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{godz.}$ w przypadku węgla brunatnego o niskiej wartości opałowej i poddmuchu powietrza.

15. Palniki i paleniska do paliw gazowych, ciekłych i do pyłu węglowego

Korzyści wynikające ze spalania paliw gazowych, ciekłych i pyłu węglowego były omówione w rozdziale II, obecnie ograniczymy się tylko do rozpatrzenia palników i palenisk przeznaczonych do spalania tych paliw.

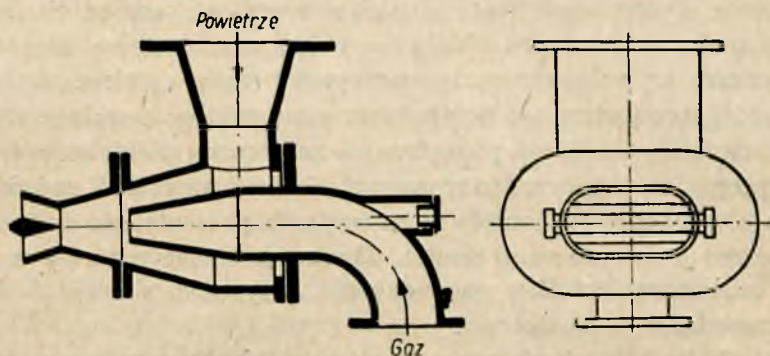
Palniki i paleniska do paliw gazowych. Palnik gazowy ma do spełnienia dwa zadania: 1) doprowadzenie do paleniska z odpowiednią prędkością potrzebnych ilości paliwa gazowego i powietrza oraz 2) dobre wymieszanie tych gazów lub przynajmniej stworzenie odpowiednich warunków do dobrego wymieszania ich w komorze paleniskowej. Spełnienie pierwszego zadania zależy od doboru właściwych wymiarów paleniska i doprowadzenia do niego paliwa gazowego oraz powietrza pod odpowiednimi ciśnieniami. Od ciśnień tych zależy prędkość, z jaką wypływa z paleniska mieszanka palna. Prędkość ta powinna być tak duża, żeby płomień nie mógł cofnąć się w głąb palnika, a więc powinna być większa od szybkości zapłonu gazu palnego, która zwykle nie przekracza 10 m/sek. Wykonanie drugiego zadania zależy od rodzaju i konstrukcji palnika. Pod względem konstrukcji palniki gazowe dzielimy na mieszające i niemieszające, a palniki mieszające — na palniki o niskim ciśnieniu gazu i na palniki o ciśnieniu wysokim.



Rys. 24. Palnik gazowy

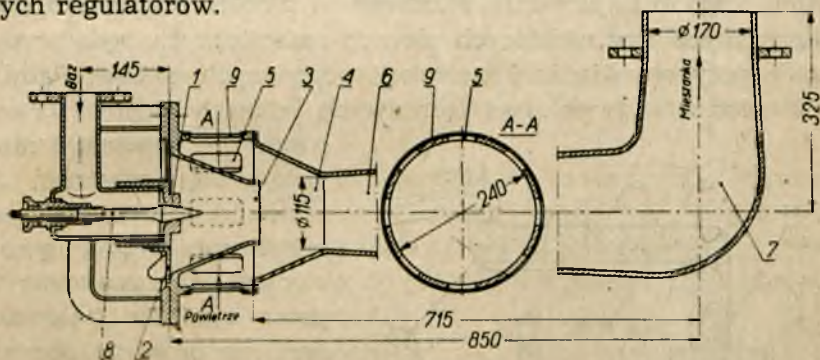
Na rys. 24 i 25 przedstawiono dwa palniki prostej konstrukcji, do których gaz i powietrze doprowadzane są pod stosunkowo niskim ciśnieniem wynoszącym od 50 do 200 mm H_2O . W pierwszym palniku (rys. 24) strumień gazów, przepływający przez rurę wewnętrzną, w drugiej części palnika miesza się z powietrzem dopływającym przez cztery szczeliny, które znajdują się w ścianie rury. Wskutek odpowiedniego ukształtowania szczelin powietrze dopływa strugami stycznym do strumienia paliwa gazowego, wskutek czego następuje dość intensywne ich mieszanie. W drugim palenisku (rys. 25) gaz doprowadzany jest do środka strumie-

nia powietrza. Przy wylocie z palnika dla wywołania wirów i lepszego przemieszania paliwa gazowego z powietrzem znajduje się poprzeczka rozbijająca. Oba palniki wykonywane są z żeliwa.



Rys. 25. Palnik gazowy z przegrodą mieszającą

Ilość doprowadzanego do palnika gazu i powietrza reguluje się za pomocą zaworów dławiących umieszczonych na przewodach rurowych doprowadzających gaz i powietrze lub za pomocą specjalnych regulatorów.



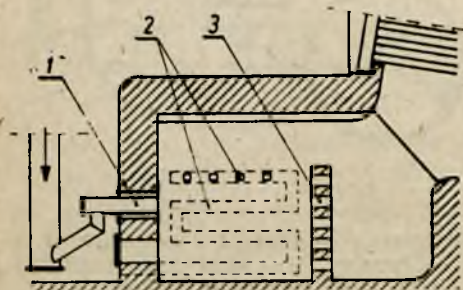
Rys. 26. Palnik gazowy wysokociśnieniowy: 1 — dysza I, 2 — tarcza do regulacji powietrza, 3 — dysza II, 4 — komora, 5 — otwory do powietrza, 6 — dyfuzor, 7 — kolano, 8 — iglica, 9 — pierścień regulacyjny.

Na rys. 26 przedstawiono palnik pracujący pod wysokim ciśnieniem gazu. Gaz doprowadzany do palnika pod ciśnieniem 1 atn, 2 atn, a nawet większym, rozpręża się w dyszy 1 i wychodząc z niej z dużą prędkością porywa powietrze, które dopływa przez szczelinę pomiędzy tarczą 2 a ścianką dyszy 3. Mieszanka utworzona w ten sposób wypływa z tej dyszy do komory 4 i porywa nową

porcję powietrza dopływającego do powyższej komory przez otwory 5 znajdujące się w jej ścianach. Mieszanina paliwa gazowego i powietrza płynie przez dyfuzor 6 i zwiększa swoje ciśnienie do ciśnienia wylotowego, które musi być nieco większe od ciśnienia panującego w palenisku. Kolanko 7 wskutek zmiany kierunku strumienia wywołuje wiry, co sprzyja dobremu wymieszaniu.

Ilość doprowadzonego do spalania gazu palnego reguluje się za pomocą iglicy 8, a ilość powietrza — za pomocą pierścienia regulacyjnego 9 o otworach dopasowanych do otworów 5 znajdujących się w ścianie komory 4 oraz przez przesuwanie tarczy 2, która ma gwint wewnątrz tulei. Obracając tarczę możemy zmieniać szerokość szczeliny pomiędzy nią a dyszą 3, a więc — ilość doprowadzanego powietrza.

Palniki, w których nie zachodzi mieszanie paliwa gazowego z powietrzem, są stosowane wówczas, gdy i gaz palny, i powietrze lub tylko jeden z tych czynników są ogrzane do wysokiej temperatury. W tym wypadku stosowanie palników mieszających ze względu na niebezpieczeństwo wybuchu wewnątrz palnika jest niedopuszczalne. Tego rodzaju palniki stosowane w piecach szklarskich, metalurgicznych i w niektórych piecach ceramicznych będą rozpatrzone przy omawianiu konstrukcji powyższych pieców. Palniki są umieszczone zwykle we frontowych ścianach palenisk.



Rys. 27. Palenisko do gazu: 1 — palnik, 2 — kanały gazowe, 3 — ściana żurawia

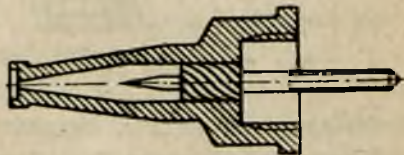
Paleniska te powinny mieć dość dużą przestrzeń do rozwinięcia płomienia, zabezpieczać zapłon gazów ciepłem akumulowanym przez obmurze paleniska oraz nie powinny dopuszczać do przedwczesnego zetknięcia się płomienia, w którym jeszcze nie skończył się proces spalania, z zimnymi powierzchniami ciał ogrzewanych.

Tym warunkom odpowiada palenisko przednie przedstawione schematycznie na rys. 27. Jego dość obszerna komora paleniskowa zakończona jest ścianą z cegły ogniotrwałej, w której znajdują się

otwory. Palnik umieszczony w ścianie przedniej kieruje płomień na ażurową ściankę tylną rozgrzewając ją do wysokiej temperatury znacznie wyższej od temperatury zapłonu mieszanki. Wpływa to dodatnio na przebieg spalania, gdyż rozżarzona ściana magazynując dużo ciepła zapewnia szybki zapłon mieszaniny powietrza i gazu palnego, doprowadzonej przez palnik. Powietrze wtórne dopływa do komory paleniskowej przez kanały znajdujące się w bocznych jej ściankach, oznaczone na rys. 27 liniami przerywanymi, i wchodzi otworami łączącymi górny kanał z komorą. Powietrze to chłodzi ściany boczne paleniska, zmniejsza więc straty cieplne powstałe przez promieniowanie i ogrzane wchodzi do paleniska podwyższając jego temperaturę oraz sprawność.

Obsługa palenisk gazowych jest prosta, ale wymaga specjalnej uwagi, szczególnie w czasie uruchamiania paleniska. Nieumiejętne jego rozpalanie może spowodować wybuch. Trzeba pamiętać, że po każdej przerwie w pracy instalacji w razie nieuszczelności zaworów zamykających dopływ gazu, w palenisku i kanałach dymowych pieca lub kotła parowego obsługiwanego przez to palenisko może powstać mieszanina wybuchowa. Toteż ze względu na bezpieczeństwo należy wpiery otworzyć zasuwę kominową, przewietrzyć palenisko i kanały dymowe, dopiero potem można zapalić w palenisku rozpałkę i przystąpić po odpowiednim czasie do opalania gazem.

Palniki i paleniska do paliw ciekłych można podzielić na trzy grupy: palniki mechaniczne, parowe i powietrzne. Zadaniem ich jest rozpylenie paliwa ciekłego na drobne kropelki (mgłą) i wprowadzenie go w tej postaci do paleniska z prędkością dostatecznie dużą dla dobrego wymieszania z powietrzem. W palnikach, a właściwie w rozpylaczach mechanicznych wykorzystuje się siłę odśrodkową. Jeden z takich rozpylaczy systemu Koertinga przedstawiono na rys. 28. Taśma spiralna nawinięta na trzpieniu zakończonym iglicą i umieszczona w korpusie rozpylacza, nadaje ruch wirowy paliwu włączanemu przez pompę pod ciśnieniem kilku atmosfer, wskutek czego paliwo to wylatując pod działaniem

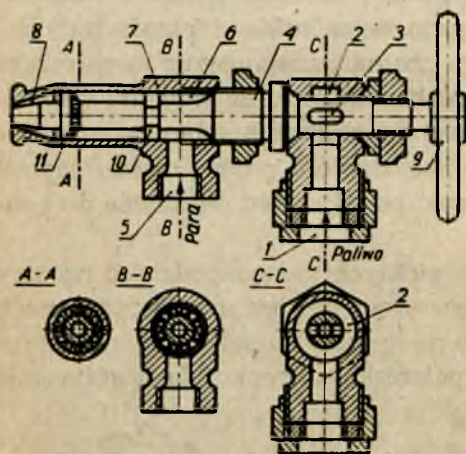


Rys. 28. Rozpylacz Koertinga

siły odśrodkowej przez dyszę rozpada się na drobne kropelki. Stopień rozdrobnienia paliwa, jak wykazały badania, zależy od wysokości ciśnienia, pod którym tłoczone jest paliwo, od jego lepkości oraz od średnicy dyszy. Im ciśnienie jest wyższe, a lepkość i średnica dyszy wylotowej mniejsze, tym rozdrobnienie jest lepsze. Dla zmniejszenia lepkości paliwo przed wprowadzeniem do palnika jest ogrzewane do temp. 160—170°C. Palniki powyższego typu posiadając dysze małych rozmiarów dość często się zatykają nawet wówczas, gdy paliwo jest filtrowane. Przyczyną zatykania palników jest osad mający właściwości koksu powstający z paliwa i gromadzący się na dyszy wylotowej. Wydajność palników tego typu jest duża; w przeciwieństwie do palników parowych pracują one bez hałasu.

Jednym z lepszych palników parowych, bardzo rozpowszechnionych w ZSRR oraz (z małymi zmianami) w Polsce i w innych

krajach, jest palnik systemu Szuchowa (rys. 29). Paliwo w tym palniku płynie kanałem wewnętrznym, para zaś pod ciśnieniem od 1 do 2 atn (od 2 do 3 ata) — kanałem zewnętrznym o przekroju pierścieniowym. Para rozprężając się osiąga przy wylocie z palnika dużą prędkość wynoszącą około 300 m/sek, porywa paliwo ciekłe, które wypływa z kanału środkowego, rozpyla je na drobne kropelki



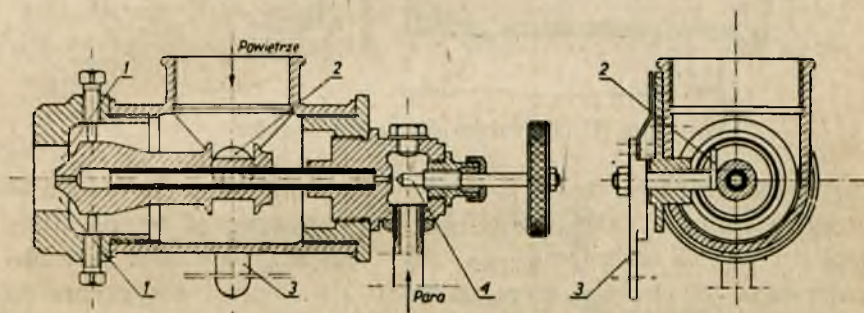
Rys. 29. Palnik Szuchowa

wskutek powstawania bezpośrednio za palnikiem wirów spowodowanych stożkowym kształtem strumienia. Zużycie pary w palnikach parowych wynosi od 0,3 do 0,7, średnio 0,5 kg pary na 1 kg paliwa. Palniki te dają lepsze rozpylenie paliwa niż mechaniczne, a przez wytworzenie wirów w komorze paleniskowej stwarzają dobre warunki wymieszania paliwa z powietrzem. Wadą ich jest wprowadzenie do paleniska dość dużej ilości pary, która nie bie-

rze udziału w procesie spalania i jako balast obniża temperaturę w palenisku i zwiększa straty kominowe.

Palniki powietrzne bywają niskoprężne i wysokoprężne. W palnikach pierwszych do rozpylania paliwa stosowane jest powietrze o ciśnieniu do 0,1 atn (1,1 ata), w palnikach drugich — powietrze o ciśnieniu ponad 1 atn (2 ata). W palnikach niskoprężnych uzyskuje się stosunkowo słabe rozpylenie wskutek małej prędkości wylotowej powietrza. Z tego powodu dla lepszego wymieszania paliwa z powietrzem należy doprowadzać do rozpylacza duże jego objętości wynoszące od 50 do 100% całkowitej ilości powietrza praktycznie potrzebnego do spalania. Tym się tłumaczy, dlaczego palniki niskoprężne mają stosunkowo duże wymiary.

Na rys. 30 przedstawiony jest palnik niskoprężny radzieckiej konstrukcji (Mosmasztresta). Skierowanie w tym palniku strumieni paliwa i powietrza pod dużym kątem zapewnia dobre ich



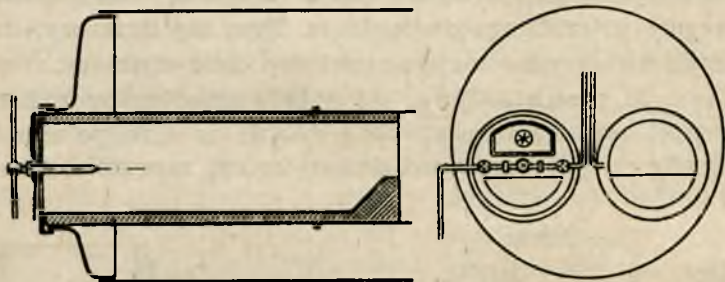
Rys. 30. Palnik niskoprężny

wymieszanie ze sobą. Zmianę ilości doprowadzonego powietrza osiąga się przez zmianę przekroju otworu wylotowego 1 za pomocą mimośrodowo 2 wprawianego w ruch dźwignią 3. Zużycie paliwa reguluje się za pośrednictwem iglicy 4.

Palniki pracujące pod wysokim ciśnieniem powietrza mają małe wymiary, gdyż objętość powietrza zużywanego przez te palniki wynosi od 10 do 15% całkowitej jego ilości potrzebnej praktycznie do spalania paliwa. Prędkość powietrza wylatującego z tych rozpylaczy wynosi około 300 m/sek, co zapewnia dość dobre rozpylenie. Reszta potrzebnego do spalania powietrza jako powietrze wtórne doprowadzana jest do komory paleniskowej. Konstrukcyjnie mało się one różnią od palników parowych. Palnik systemu

Szuchowa przeznaczony do rozprowadzania parą z powodzeniem bywa stosowany również do rozpylania sprężonym powietrzem.

Paleniska do paliw ciekłych podobnie jak paleniska do paliw gazowych nie mają rusztu. Są to odpowiedniej wielkości i kształtu komory wyłożone wewnątrz cegłą ogniotrwałą. W ich frontowej ścianie znajdują się zwykle palniki, otwór wzierny i otwór do rozprowadzania, a w ścianach bocznych w razie potrzeby otwory do doprowadzania wtórnego powietrza. Na rys. 31 przedstawione jest palenisko zasilane paliwem ciekłym, umieszczone wewnątrz



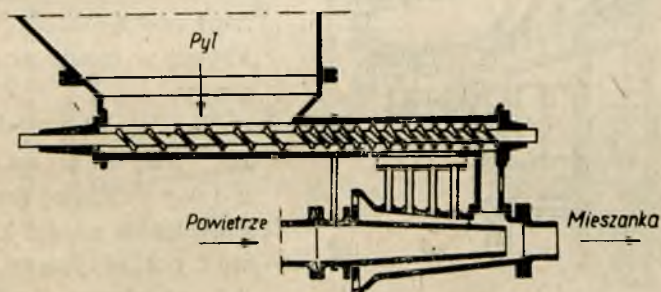
Rys. 31. Palenisko do paliwa ciekłego

rury płomienicowej kotła parowego. Ze względu na konieczność utrzymywania w palenisku temperatury wyższej od temperatury zapłonu paliwa płomienica na całej długości paleniska jest obmurowana. W obmurze tym gromadzi się ciepło i przyczynia do utrzymania równomiernej temperatury w palenisku. Paliwo ze zbiornika, umieszczonego na odpowiedniej wysokości pod wpływem własnego ciężaru dopływa do palnika, znajdującego się w środku płyty frontowej, para zaś poprzez zawór redukcyjny — z kotła parowego. Powietrze potrzebne do spalania dostaje się do paleniska przez odpowiednio otwarte drzwiczki dolne oraz w razie potrzeby przez otwory wzierny znajdujące się w drzwiczkach górnych.

Palniki i paleniska do pyłu węglowego. Wskutek dość dużych korzyści uzyskiwanych przy stosowaniu pyłu węglowego jako paliwa, ostatnio znalazł on szerokie zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu, a w związku z tym ukazało się dość dużo różniących się od siebie palników przeznaczonych do jego spalania. Można je podzielić na dwie grupy: *okrągłe* i *szczelinowe* zarówno

jedne, jak i drugie palniki powinny odpowiadać następującym warunkom: 1) dobrze mieszać powietrze z pyłem, przy czym ilość powietrza może stanowić od 20 do 100% całkowitej jego ilości zużywanej na spalenie danego pyłu, 2) prędkość wypływu mieszaniny z palnika, zależna od rodzaju węgla i ilości doprowadzanego do palnika powietrza, powinna wynosić 15 do 20 m/sek, a w niektórych wypadkach znacznie więcej, 3) ciśnienie powietrza doprowadzanego do palnika nie może przekraczać 300 mm H₂O (średnio wynosi od 100 do 200 mm H₂O), 4) wobec tego, że mieszanina powietrza i pyłu nie jest trwała, wskutek tendencji pyłu do opadania w konstrukcji palnika powinno to być przewidziane, a mieszanka palna musi być tak wprowadzana do komory paleniskowej, aby wszystkie ziarenka pyłu zdążyły całkowicie i zupełnie się spalić.

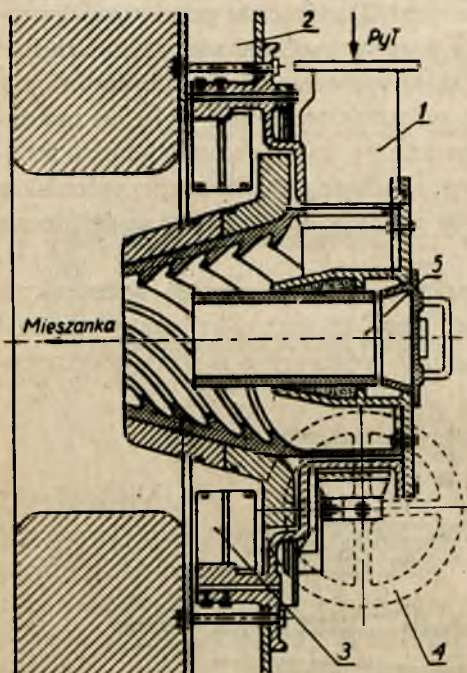
Na rys. 32 przedstawiono palnik okrągły, prostej konstrukcji, z podajnikiem pyłu węglowego (zasilaczem). Zasilacz w postaci przenośnika śrubowego podaje pył węglowy z kosza (przymoco-



Rys. 32. Zasilacz i palnik do pyłu

wanego do zasilacza) do komory mieszającej palnika poprzez jedną rurę większej średnicy i cztery rurki mniejsze. Główna ilość powietrza doprowadzana pod ciśnieniem rurą centralną z dużą prędkością wylatuje ze zwężającej się dyszy do komory, porywa pył węglowy i miesza się z nim zasysając jednocześnie dodatkowe powietrze oraz pył przez pozostałe cztery rurki. Utworzona w ten sposób mieszanina wypływa albo bezpośrednio, albo poprzez drugi palnik, w którym doprowadzana jest nowa ilość powietrza do paleniska, gdzie się spala.

Na rys. 33 przedstawiono schematycznie palnik wirowy. Palniki tego typu na wewnętrznej powierzchni posiadają żebra śrubowe, wskutek czego doprowadzana do nich mieszanka pyłu i powietrza jest wprawiana w ruch wirowy, miesza się z doprowadzonym z boku powietrzem dodatkowym, ogrzany do temp. 300°C, a nawet wyższej.



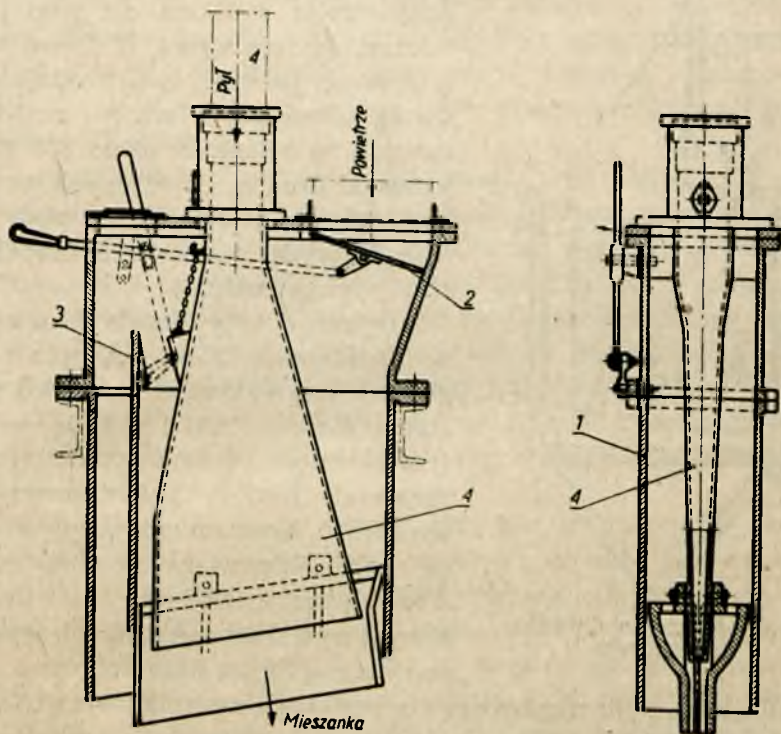
Rys. 33. Palnik wirowy: 1 — dopływ mieszanki, 2 — komora powietrza wtórnego, 3 — zasowy do regulacji wtórnego powietrza, 4 — napęd zasuw, 5 — otwór do zapłonu

Mieszankę pyłu węglowego i powietrza, przygotowaną w zasilaczu, doprowadza się do środkowej rury 4. Wobec tego, że ilość powietrza w tej mieszance ze względu na dążność do uzyskania małych wymiarów zasilacza i przewodu rurowego, łączącego go z palnikiem, wynosi tylko od 15 do 20% ilości powietrza praktycznie potrzebnego, więc duża ilość powietrza zasysana jest dodatkowo przez otwory w korpusie paleniska. Ilość dodatkowego powietrza moż-

Ruch wirowy ułatwia dobre mieszanie, skraca płomień od 4 — 5 m (w zwykłych palnikach jego długość wynosi od 6 do 8 m) oraz umożliwia spalanie nieco grubszego pyłu, co zmniejsza koszt jego wytwarzania. Do zapalenia mieszanki pyłu węglowego i powietrza służy centralny otwór z krótką rurką zapłonową, zamknięty pokrywą w czasie normalnej pracy.

Na rys. 34 przedstawiono palnik szczelnawy w dawnej konstrukcji. Składa się on z korpusu 1 posiadającego otwory do dopływu powietrza atmosferycznego, które są zamykane pokrywami 2 i 3, oraz środkowej spłaszczonej na końcu rury 4.

na regulować za pomocą pokryw 2 i 3 otwierając je więcej lub mniej szeroko. Palnik ten, jak widać z powyższego, nie posiada odpowiednich warunków do dobrego wymieszania pyłu węglowego z powietrzem. Mieszanie następuje dopiero w czasie spalania

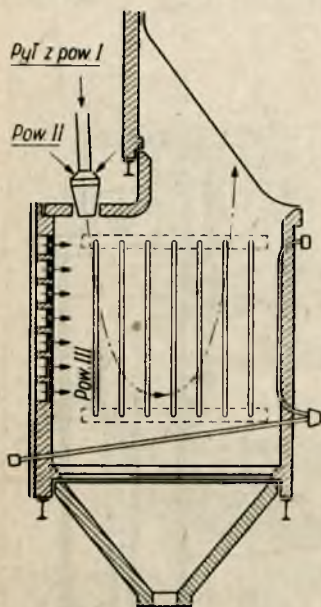


Rys. 34. Palnik szczelinowy: 1 — korpus, 2, 3 — pokrywy, 4 — rura spłaszczona

w komorze paleniskowej, wobec czego płomień w tego rodzaju paleniskach jest długi (od 6 do 8 m). Aby nie zwiększać zbytnio paleniska, biegowi płomienia nadaje się kształt litery U umieszczając palnik na sklepieniu, jak widać na rys. 35.

Na rysunku tym przedstawiono palenisko dolne obsługujące kocioł parowy nowszego typu. Wtórne powietrze doprowadzane przez kanały w przedniej ścianie paleniska chłodzi je i wchodząc ogrzanymi wąskimi strugami do komory, w której zachodzi spalanie, przecina płomień i miesza się z palącymi się gazami. Pozostałe ściany

paleniska chłodzone są intensywnie wodą przepływającą przez szereg rur umieszczonych na tych ścianach. Przyczynia się to do zwiększenia trwałości obmurza, a dzięki włączeniu wody, przepły-



Rys. 35. Palenisko do pyłu węglowego

wającej przez rurki, do obiegu wodnego kotła zwiększa się jego powierzchnię ogrzewalną. W dolnej części komory paleniskowej znajduje się szereg nieco pochyłych rur umieszczonych w odległości około 300 mm jedna od drugiej, chłodzonych wodą. Służą one do oziębiania i zestalania wypadających z płomienia kropelek roztopionego żużlu.

Zupełnie dobrze zostało rozwiązane zagadnienie mieszania pyłu węglowego z powietrzem w palenisku systemu Wooda. Palniki szczelinowe w tym palenisku są umieszczone w narożnikach komory paleniskowej w ten sposób, że strumienie wypływające z nich skierowane są nieco poza środek komory, tak że przy zetknięciu ze sobą wywołują one silny wir wznoszący się śrubową linią ku górze.

Palniki do pyłu węglowego nie pozwalają zmieniać w szerokich granicach ilości spalanego paliwa. Pozwalają one na regulację, bez większych zaburzeń w procesie spalania, najwyżej w zakresie $\pm 20\%$ normalnego obciążenia. Dlatego w jednym palenisku umieszcza się zwykle kilka palników i przy spadku obciążenia część z nich gasi się, a przy wzroście zapala.

16. Materiały ogniotrwałe

Materiały ceramiczne stosowane do budowy palenisk, generatorów i pieców, których temperatura topnienia jest wyższa od 1580°C , nazywamy ogniotrwałymi. Dzielimy je na następujące grupy: krzemianowe, magnezytowe, gliniane, szamotowe i inne.

Materiały krzemianowe składają się głównie z krzemionki i lepiszcza, materiały magnezytowe zawierają przeważnie tlenek magnezowy, gliniane wyrabiane są z gliny ogniotrwałej, która nie była poprzednio wypalana, szamotowe zaś — z gliny ogniotrwałej poprzednio wypalanej z dodatkiem potłuczonych i odpowiednio rozdrobnionych starych cegieł oraz wyrobów ogniotrwałych. Poza tym stosuje się materiały ogniotrwałe szamotowo-kwarcowe, glinowe (boksyt i korund), dolomitowe, krzemokarbidowe i inne (chromit, silimonit itp.).

O przydatności materiałów ogniotrwałych do budowy danego paleniska lub pieca sądzimy nie tylko na podstawie ich temperatury topnienia, ale na podstawie szeregu ich własności charakterystycznych, z których najważniejsze są: 1) topliwość, 2) odporność na zmiany temperatury, 3) odporność na działanie żużlu, 4) zmiany objętości w wyższych temperaturach, 5) wytrzymałość mechaniczna i 6) temperatura mięknięcia pod ciśnieniem.

1. Topliwość lub ogniotrwałość jest mierzona temperaturą, w której próbka materiału zaczyna się topić przy ogrzewaniu w piecu elektrycznym.

2. Odporność na zmiany temperatury jest bardzo ważną cechą dla pieców, w których występują częste i szybkie jej zmiany. Badanie odporności na zmiany temperatury odbywa się w ten sposób, że próbkę ogrzaną do temp. 950°C i przetrzymaną w tej temperaturze przez 50 minut wrzuca się na 3 minuty do kąpeli wodnej o temperaturze około 15°C . Powtarza się to tak długo, aż 50% całej powierzchni czołowej próbki odprysnie. Ilość kolejnych ogrzewań i ostudzeń, potrzebnych do osiągnięcia tego stanu, jest miarą odporności na zmiany temperatury.

3. Odporność na działanie żużlu zależy od jego składu. Żużle kwaśne stosunkowo szybko niszczą cegły zasadowe tworząc z nimi łatwo topliwy stop, natomiast cegły kwaśne są mało odporne na działanie żużli zasadowych. Zwykle przy żużlu kwaśnym należy stosować kwaśne cegły ogniotrwałe, a przy żużlu zasadowym — zasadowe.

4. Zmiana objętości materiału w wyższych temperaturach w znacznym stopniu występuje w ceglach szamotowych, glinkowych i krzemianowych, w mniejszym zaś — w ceglach pozostałych gatunków. W ceglach szamotowych i glinkowych następuje kur-

czenie się w temperaturach wyższych od temperatury, w której były one wypalane, co zagraża zawaleniem się sklepień wymurowanych z tych cegieł. Natomiast cegły krzemianowe zwiększają swoją objętość wskutek zmian w strukturze krystalicznej, zachodzących w nich pod działaniem wysokich temperatur. Badanie zmiany objętości w wysokich temperaturach przeprowadza się przez dwugodzinne ogrzewanie próbki o objętości około 100 cm^3 (10 cm^2 przekroju i 10 cm długości) we właściwej temperaturze i ustalenie jej objętości po ochłodzeniu.

5. Wytrzymałość mechaniczna i ścieralność jest miarą odporności materiału ogniotrwałego na uszkodzenia mechaniczne.

6. Temperatura mięknięcia pod obciążeniem ma duże znaczenie dla materiałów ogniotrwałych, z których murowane są ścianki pracujące w temperaturach powyżej 1200°C i dźwigające ciężary sklepień, kotłów parowych i aparatów reakcyjnych. Badanie temperatury mięknięcia polega na ogrzewaniu próbki o określonych wymiarach pod obciążeniem ściskającym 2 kG/cm^2 i rejestrowaniu zmian jej wysokości. Badany materiał charakteryzują temperatury, w których następuje zmniejszenie pierwotnej wysokości próbki o określoną wielkość.

Cegłę ogniotrwałą w zależności od przeznaczenia, stawianych jej wymagań i własności dzieli się na trzy klasy. Do klasy I zalicza się cegłę pod każdym względem najlepszą o temperaturze topnienia ponad 1730°C . Do klasy II należy cegła o temperaturze topnienia od 1670 do 1730°C i dająca przy badaniu innych cech dobre wyniki. Do klasy III zaliczane są cegły o temperaturze topnienia od 1580 do 1670°C przy zadowalających wynikach badania innych cech.

Zaprawy ogniotrwałe, którymi łączone są cegły ogniotrwałe ze sobą, składają się z mieszaniny zmielonych materiałów ogniotrwałych rozrobionych wodą na masę mniej lub więcej plastyczną. Oczywiście muszą być one dostosowane do gatunku cegieł, przy czym nie mogą być bardziej wrażliwe na działanie wysokiej temperatury niż cegły.

Materiały ogniotrwałe (cegły, kształtki, płyty) stosowane w paleniskach, piecach, kotłach parowych i w innych urządzeniach przemysłowych, jak już powiedziano powyżej, powinny nie tylko wytrzymać największą możliwą w danym urządzeniu tempe-

raturę, ale również muszą odpowiadać stawianym im wymaganiom co do innych, charakteryzujących materiały ogniotrwałe cech. W przeciwnym razie obmurza i sklepienia palenisk, pieców i kotłów parowych ulegną szybkiemu zużyciu lub nawet zawaleniu.

W kalendarzu chemicznym na rok 1950—1951 podane są najważniejsze zastosowania ceramicznych materiałów ogniotrwałych. Według kalendarza do palenisk kotłów parowych należy stosować cegły szamotowe, do pieców szklarskich — szamotowe i magnezytowe, do cementowych — cegły szamotowe i kwarcowo-szamotowe, do pieców elektrycznych w zależności od ich przeznaczenia — cegły szamotowe, magnezytowe, cyrkonowe, korundowe i inne.

Rozdział IV

GENERATORY

17. Procesy i reakcje chemiczne w generatorze

Zamiana paliw stałych na gazowe polega na zgazowaniu paliw stałych w specjalnie do tego dostosowanych urządzeniach, nazywanych generatorami lub czadnicami. Procesy zachodzące przy tym oraz skład otrzymywanego paliwa gazowego zależą od sposobu doprowadzania tlenu potrzebnego do zgazowania. W zależności od tego, czy jest on dostarczony w mieszaninie z innymi gazami (z powietrzem), czy w związku chemicznym z wodorem (H_2O) lub węglem (CO_2) inny jest skład paliwa gazowego oraz jego nazwa. Gdy do generatora, w którym zachodzi gazyfikacja, doprowadzone jest powietrze, gaz nosi nazwę powietrznego. Jeżeli przy zgazowywaniu paliwa jest doprowadzana para wodna, to otrzymany gaz nazywa się wodnym, a przy jednoczesnym doprowadzaniu powietrza i pary wodnej gaz nazywa się mieszanym, wodnoczadowym albo wprost — generatorowym. Oprócz powyższych najważniejszych rodzajów gazów palnych bywa wytwarzany gaz wodny nawęglany i inne.

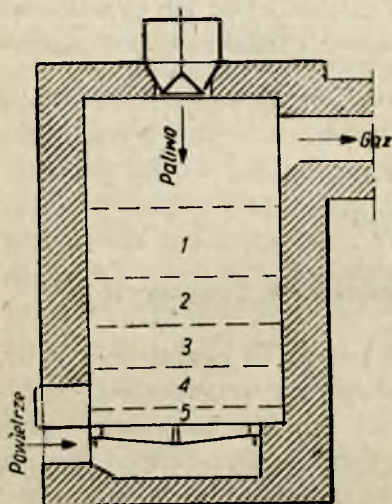
Gaz powietrzny ma najmniejszą wartość opałową ze wszystkich poprzednio wymienionych gazów, wynoszącą od 900 do 1050

kcal/m³ i z tego między innymi powodu wytwarzanie jego do celów opałowych jest niewielkie. Jest on stosowany w przemyśle chemicznym jako surowiec zawierający dużo tlenu węgla.

Otrzymywanie gazu mieszanego jest proste, posiada on wartość opałową wynoszącą od 1200 do 1560 kcal/m³, toteż jako paliwo jest szeroko stosowany w wielu gałęziach przemysłu a poza tym w silnikach spalinowych.

Gaz wodny o wartości opałowej od 2400 do 2500 kcal/m³ nie znajduje zastosowania jako paliwo z powodu swojej wysokiej ceny, natomiast służy jako surowiec w niektórych gałęziach przemysłu chemicznego oraz jest używany w palnikach do spawania i cięcia metali.

Generator, w którym zachodzi proces zgazowania, który widać na rys. 36, posiada szyb o przekroju okrągłym, rzadziej kwadratowym; jest on zbudowany z cegły ogniotrwałej i otoczony płaszczem stalowym. Górą przez skrzynię zasilającą doprowadzane jest paliwo, a dołem przez ruszt — powietrze, wytworzony zaś gaz odprowadzany jest przewodem umieszczonym pod sklepieniem generatora.



Rys. 36. Schemat generatora
Strefy: 1 — suszenia, 2 — kokso-
wania, 3 — redukcji, 4 — spala-
nia, 5 — żużla

Gdy potrzebny jest gaz generatorowy bez zawartości smoły, stosuje się generatory o odwróconym biegu gazów, w których powietrze doprowadzane jest górną, a gaz generatorowy odprowadzany dołem, wskutek czego smoła również ulega zgazowaniu. Tego rodzaju generatory są stosowane w samochodach.

W każdym generatorze o biegu normalnym w miarę przesuwania się paliwa w dół zachodzi jego suszenie, odgazowanie, zgazowanie, wreszcie powstaje żużel i szlaka. W związku z tym w generatorze rozróżniamy następujące strefy: suszenia 1, koksovania 2, redukcji 3, spalania 4 i żużlu 5 (rys. 36). Grubość poszcze-

gólnych stref zależy głównie od rodzaju paliwa, a poza tym w mniejszym stopniu — od typu generatora. Przeciętna grubość stref dla różnego rodzaju paliw podana jest w tablicy 9.

Tablica 9

Wysokość stref w generatorze

Nazwa paliwa	Wysokość (grubość) strefy w mm			
	Strefa suszenia i koksowania	Strefa gazowania (spalania i redukcji)	Strefa żużłu	Ogólna grubość paliwa nad rusztem
Torf		300—3000	100—300	3000—7000
Węgiel brunatny		800—2500	100—300	1000—3000
Węgiel kamienny	300—500	400—1000	100—300	600—1600
Koks	400—600	200—800	100—300	700—1600

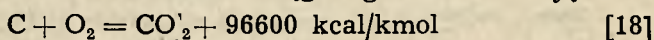
1. *Strefa suszenia* paliwa obejmuje górne jego warstwy. W nich z paliwa ogrzanego do temp. 150—200°C wydziela się para wodna. Im paliwo jest wilgotniejsze i grubsze, tym strefa suszenia jest wyższa.

2. *Strefa koksowania* składa się z dwóch warstw: górnej, gdzie temperatura jest niższa i dolnej o temperaturze wyższej. W warstwie górnej zachodzi głównie ogrzewanie paliwa, w dolnej zaś odbywa się jego odgazowanie (rozkładowa destylacja), wydzielają się przy tym lotne węglowodory i tworzy się koks.

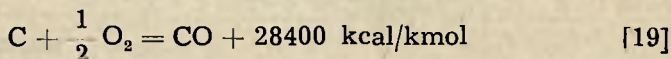
Odgazowanie większości paliw zaczyna się w temp. 350—450°C; wtedy z paliwa wydzielają się różne węglowodory, z których największe znaczenie ze względu na jakość gazu mają metan (CH_4) i etylen (C_2H_4). Zawartość metanu w gazie wynosi 2,5 do 3,5%, a etylenu — od 0,3 do 0,7%. Poza metanem i etylenem w strefie koksowania wydzielają się węglowodory ciężkie, które tworzą smołę, dwutlenek węgla, amoniak i siarkowódór. Pozostała, pozbawiona lotnych części, spieczona masa jest koksem. Silne spiekanie koksu nie jest pożądane, gdyż w strefie koksowania może utworzyć się zwarta skorupa hamująca przepływ gazów do góry. Trzeba ją w tym wypadku rozbijać drągami stalowymi przez otwory w sklepieniu generatora. W związku z tym węgle o silnie spiekającym się koksie nadają się do zasilania generatorów tylko po wymieszaniu ich z paliwem niespiekającym się.

3. *Strefy spalania i redukcji*, łączone często w jedną *strefę gazowania*, mają za zadanie zamianę pozbawionego części lotnych koksu w gaz palny. Przemiana ta jest rezultatem szeregu reakcji chemicznych, zachodzących w tych częściach generatora.

W strefie spalania tlen dopływający od dołu z doprowadzanym powietrzem, stykając się z rozżarzonego koksem, powoduje szybkie jego spalanie głównie na dwutlenek węgla zgodnie z reakcją:

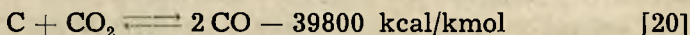


a poza tym na tlenek węgla według reakcji



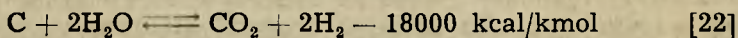
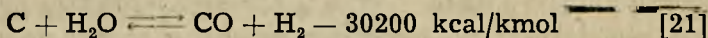
Obie powyższe reakcje są egzotermiczne, wobec czego temperatura w strefie spalania jest bardzo wysoka.

Dwutlenek węgla powstały wskutek spalania koksu, wznosząc się do góry, w następnej strefie styka się z rozżarzonego paliwem i ulega redukcji na tlenek węgla:



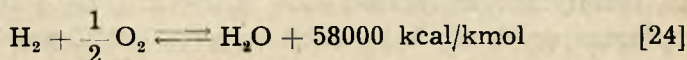
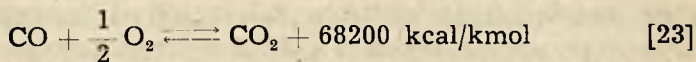
Reakcja ta jako endotermiczna odbywa się kosztem ciepła zawartego w silnie rozgrzanych gazach. Im temperatura ich jest wyższa, tym szybciej ona przebiega.

W strefie spalania, jak zaznaczono poprzednio, w przypadku wytwarzania gazu powietrznego panuje bardzo wysoka temperatura przekraczająca często 1600°C. W takiej lub nawet niższej temperaturze topi się żużel, który ujemnie wpływa na trwałość obmurza i zalewając ruszt hamuje dopływ powietrza. Aby obniżyć temperaturę w strefie spalania i utrudnić przez to topienie się żużlu oraz zanieczyszczanie rusztu w generatorach zwykle zamiast gazu powietrznego wytwarzany jest gaz mieszany. W tym celu pod ruszt wraz z powietrzem doprowadza się parę wodną w ilości 0,4 — 0,6 kg na 1 kg paliwa, wskutek czego w strefie spalania zachodzą reakcje endotermiczne:



Doprowadzona para obniża temperaturę nie tylko w strefie spalania, ale również i w strefie redukcji, a w rezultacie obniża temperaturę gazu opuszczającego generator.

Oprócz tych głównych reakcji chemicznych w strefach spalania i redukcji zachodzą jeszcze inne reakcje, z których należy wymienić następujące:



Produkty tych reakcji, dwutlenek węgla i para wodna bezpośrednio po powstaniu reagują z rozżarzonym koksem i znowu redukują się na tlenek lub wodór.

Główne reakcje chemiczne, w wyniku których powstają gazy palne, jak wynika z powyższych równań chemicznych, zachodzą z pobieraniem ciepła (są endotermiczne), jedynie reakcje spalania węgla na dwutlenek lub na tlenek węgla są egzotermiczne. W rezultacie proces powstawania gazów palnych w strefie redukcji jest endotermiczny.

Reakcje zachodzące w generatorze [18—24] są odwracalne, dążą więc do stanu równowagi, który zależy od temperatury. Zawartość tlenku i dwutlenku węgla w gazie określa przebieg reakcji [20]. Równowaga tej reakcji dla temperatur wysoko przesunięta jest na prawo, dla temperatur niższych na lewo.

Gdy w strefie redukcji utrzymuje się temperatura wyższa od 700°C, która, jak wykazały badania, jest dla tej strefy przeciętna, równowaga przesunięta jest w kierunku powstawania tlenku węgla. W temperaturach niższych od 700°C równowaga przesunięta jest w kierunku powstawania dwutlenku węgla, wskutek czego wydziela się węgiel w postaci sadzy, a jakość gazu w miarę obniżania temperatury pogarsza się. Wydzielanie się sadzy zachodzi tak długo, aż temperatura gazów płynących do góry nie obniży się do 450°C, wtedy bowiem omawiana reakcja [20] praktycznie nie przebiega. Przestrzeń w generatorze, w której utrzymuje się temperatura w granicach od 450 do 700°C, jest szkodliwa dla procesu wytwarzania gazu powietrznego i mieszanego. Gaz powinien przebywać w niej jak najkrócej.

Jeżeli do generatora wprowadzona jest razem z powietrzem para wodna, to również i w tym wypadku zachodzące reakcje dążą do osiągnięcia stanu równowagi, a skład mieszaniny gazów opu-

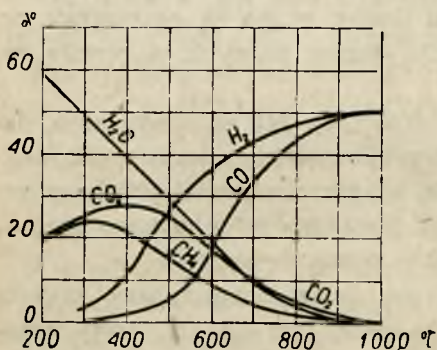
uszczających strefę redukcji teoretycznie powinien być identyczny ze składem mieszaniny w stanie równowagi w danej temperaturze. Teoretyczny skład gazu powstającego w pasie redukcji (bez uwzględnienia azotu) w zależności od temperatury podaje wykres przedstawiony na rys. 37. Z wykresu tego można odczytać, że teoretyczne zawartości CO₂, CO, CH₄, H₂ i H₂O w gazach opuszczających strefę redukcji w temp. 800°C powinny mieć następujące proporcje:

$$\text{CO}_2 : \text{CO} : \text{CH}_4 : \text{H}_2 : \text{H}_2\text{O} = 5 : 43,5 : 1,5 : 47 : 3$$

a w temp. 700°C

$$\text{CO}_2 : \text{CO} : \text{CH}_4 : \text{H}_2 : \text{H}_2\text{O} = 10 : 34 : 3,5 : 43 : 9,5$$

Wynika z tego, że gdy w strefie redukcji utrzymuje się niższa temperatura, jakość gazu pogarsza się. Jak wykazały badania prze-



Rys. 37. Wykres składu gazu w generatorze w zależności od temperatury

prowadzone w Politechnice Warszawskiej, równowaga w generatorze jest praktycznie nieosiągalna, gdyż trzeba by zużyć zbyt dużo czasu na jej osiągnięcie. Badania tego rodzaju i szereg innych oraz praktyka fabryczna wskazują, że dla osiągnięcia jak najlepszych wyników należy: a) w strefach redukcji i spalania generatora utrzymać możliwie najwyższe temperatury, w których jednak jeszcze nie następuje zbyt silne

zaszlakowanie rusztów, a więc przez czadnicę trzeba przepuszczać gazy z dużą prędkością i b) utrzymywać w niej dość wysoką warstwę paliwa.

4. *Strefa żużłu* znajduje się nad rusztami. Przez nią przepływają doprowadzone do generatora powietrze i para ogrzewające się od żużłu. W górnej części tej strefy następuje dopalanie się koksu. Od grubości warstwy żużłu znajdującego się w generatorze oraz od kształtu i wielkości jego kawałków zależy siła podmuchu oraz równomierny rozdział powietrza i pary w przekroju poprzecznym czadnicy.

Na przebieg procesu zgazowania wywierają wpływ różne czynniki, a więc wielkość kawałków paliwa, zawartość i skład popiołu i inne.

Wielkość kawałków doprowadzanego do czadnicy paliwa ze względu na równomierne jego zgazowanie powinna być jednokowa i w zależności od rodzaju paliwa wynosi od 10 do 50 mm. Niepożądana jest zawartość miazgu w paliwie.

Zawartość popiołu w paliwie powinna być mała, a poza tym jego skład musi być taki, aby wytwarzał się żużel o wysokiej temperaturze topnienia. Duża zawartość popiołu w paliwie zwiększa straty ciepłne w żużlu, nieodpowiedni zaś jego skład powoduje, że tworzy się żużel o niskiej temperaturze topnienia, co zmusza do zwiększenia ilości doprowadzanej pary wodnej w celu obniżenia temperatury w generatorze.

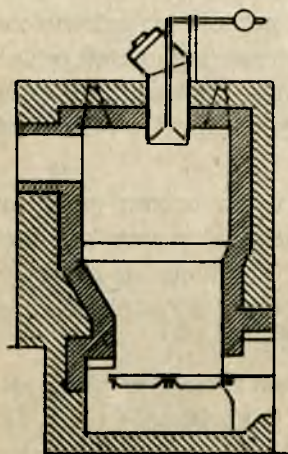
Rodzaj paliwa również wywiera wpływ na proces gazyfikacji. Torf i węgiel brunatny dają koks bardziej aktywny niż węgiel kamienny, toteż proces ich gazyfikacji przebiega intensywniej. Węgłe spiekające się, jak zostało poprzednio wyjaśnione, utrudniają prowadzenie gazyfikacji w generatorze.

Bardzo duże znaczenie dla procesu gazyfikacji w generatorze ma sposób usuwania żużlu z generatora. Rozwiązanie tego zagadnienia wymagało znacznego wkładu pracy. Historia rozwoju urządzeń do usuwania żużlu według prof. J. Zawadzkiego, pozostaje w ścisłym związku z historią rozwoju generatorów w ogóle. Stosowane obecnie generatory można podzielić na 4 grupy, a mianowicie na: 1) generatory o rusztach nieruchomych, 2) generatory o rusztach ruchomych, 3) generatory bezrusztowe, 4) generatory do szlaki ciekłej. W każdej z tych grup zagadnienie usuwania żużlu rozwiązane jest w sposób odmienny.

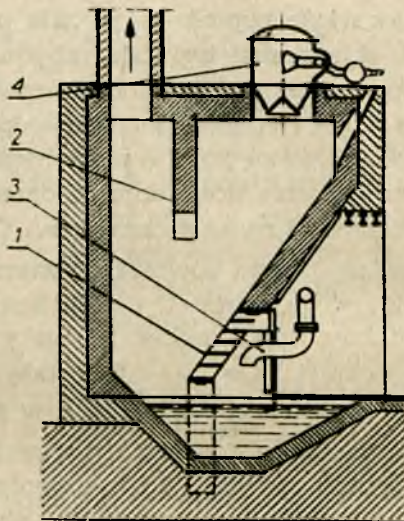
18. Generatory o rusztach nieruchomych

Generatory o rusztach nieruchomych są to czadnice dawnego typu, stosowane w tych zakładach przemysłowych, w których wytwarza się stosunkowo niewielkie ilości gazu generatorowego. Zależnie od konstrukcji mają one ruszt poziomy, schodkowy lub stożkowy.

Na rys. 38 przedstawiono generator z rusztem poziomym. Jest to sztywne urządzenie o przekroju prostokątnym, nieco zwężone u dołu, obmurowane wewnątrz cegłą ogniotrwałą. W górnej jego części znajduje się otwór do zasilania o podwójnym zamknięciu, a w dolnej części — ruszt poziomy. Przestrzeń podrusztowa może być otwarta (jak pokazano na rys. 38) albo zamknięta. W pierwszym przypadku powietrze zasysane jest do generatora, w którym utrzymuje się ci-



Rys. 38. Generator z rusztem poziomym



Rys. 39. Generator z rusztem schodkowym: 1 — ruszt, 2 — przegroda, 3 — podmuch, 4 — skrzynka zasilająca

śnienie niższe od atmosferycznego, w drugim zaś przypadku powietrze wciągane jest przez wentylator pod ciśnieniem większym od atmosferycznego.

Zasysanie powietrza do generatorów stosuje się obecnie niemal wyłącznie w tzw. generatorach do gazu ssanego, w którym generator za pośrednictwem aparatury do oczyszczania gazu połączony jest z cylindrem silnika gazowego. Tłok silnika zasysając gaz do cylindra wciąga powietrze do czadnicy i przeciąga wytwarzające się gazy przez generator i całe urządzenie.

Oczyszczanie generatora z żużlu jak również i wszystkie inne czynności związane z jego obsługą są wykonywane ręcznie przez otwór znajdujący się w jego przedniej ściance nad płytą przed-

rusztową, przy czym, gdy generator pracuje z podmuchem, na okres usuwania żużlu należy wyłączyć doprowadzanie powietrza, a więc przerwać pracę generatora. W wypadku zaś zasysania gazu generatorowego oczyszczanie odbywa się bez przerywania pracy czadnicy.

Gaz generatorowy odprowadza się przez kanał znajdujący się w jego tylnej ścianie pod samym sklepieniem, aby gaz jak najmniej był zanieczyszczony pyłem.

Na rys. 39 przedstawiono czadnicę z rusztem schodkowym. Ruszt jej składa się z rusztowin o szerokości 250 — 300 mm, umieszczonych jedna nad drugą w dość dużej od siebie odległości, wskutek czego powierzchnia prześwitów jest znaczna. Ułatwia to oczyszczanie rusztu z żużlu i dopływ powietrza do generatora. Ruszt jest nachylony pod nieco większym kątem od kąta naturalnego zsypania paliwa, tak że zsuwa się ono pod działaniem własnego ciężaru. Wysokość warstwy paliwa na ruszcie ogranicza murowana przegroda oddzielająca otwór zasilający od przewodu, przez który z czadnicy odprowadzany jest gaz generatorowy.

Ażeby zabezpieczyć rusztowiny od szybkiego przepalania się, stosowane jest chłodzenie ich wodą, którą doprowadza się rurkami na górną rusztowinę. Woda spływając ze stopnia na stopień chłodzi ruszt i parując nawilża wdmuchiwane powietrze. Nawilża się ono również wskutek parowania wody znajdującej się we wgłębieniu pod rusztem, dokąd zsuwa się z niego gorący żużel.

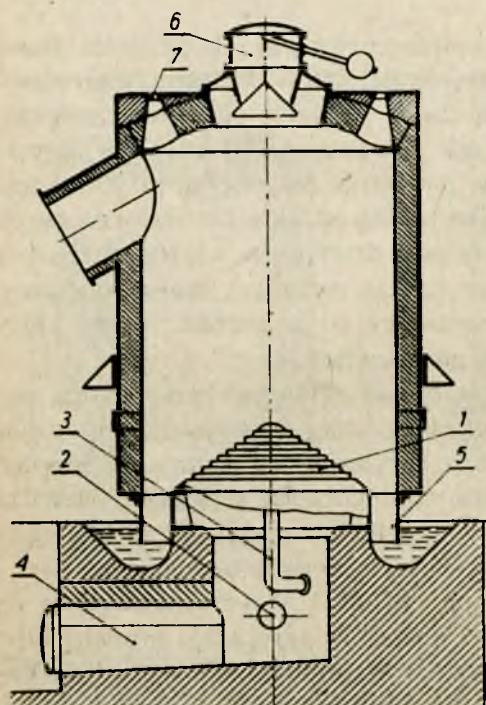
Generatory przedstawione na rys. 38 i 39 przeznaczone są do gazowania węgla kamiennego i koksu. W przypadku innych paliw pracują one gorzej i z mniejszą wydajnością. Przerób węgla kamiennego w generatorach tego typu przy ciągu kominowym dochodzi do $50 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{godz.}$, a przy pracy z podmuchem — do $90 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{godz.}$

W generatorach o przekroju okrągłym stosowane są ruszty stożkowe, będące odmianą rusztów schodkowych; często zamiast rusztów stosuje się specjalne tarcze stożkowe (kołpaki), pod które doprowadza się podmuch.

Generator cylindryczny o nieruchomym ruszcie stożkowym pokazany jest na rys. 40. Szyb tego generatora za pomocą łap przytworzonych do jego płaszcza wspiera się na kilku kolumnach, ruszt zaś 1 umieszczony jest na jego dnie. Składa się on z rusztowin

w kształcie pierścieni o coraz mniejszej średnicy, ułożonych jedna nad drugą w taki sposób, że pomiędzy nimi są prześwity, przez które wchodzi powietrze i para do wnętrza generatora. Wskutek dość dużych wymiarów rusztu zapewniony jest równomierny przepływ powietrza przez cały przekrój szybu.

Powietrze doprowadzane jest pod ruszt przewodem rurowym 2, a para wodna — rurą 3. Kanał 4 zamykany szczelnie drzwiczkami



służy do usuwania popiołu i żużlu, które dostaną się pod ruszt. Normalnie żużel zsuwa się z rusztu do miski wypełnionej wodą, skąd co pewien okres czasu jest usuwany. Aby od przestrzeni zewnętrznej oddzielić wnętrze generatora, w którym panuje ciśnienie wyższe od atmosferycznego, zastosowano zamknięcie hydrauliczne przez zanurzenie w wodzie tzw. fartucha 5, czyli pierścienia z blachy stalowej, przymocowanego do płaszcza szybu.

Zarówno w sklepieniu omawianego generatora, jak i w sklepieniach generatorów rozpatrywanych poprzednio znajduje się skrzynia zasilająca 6 oraz otwory 7 zamykane korkami lub pokrywami. Przez te otwory stalowymi drągami przebijają skorupy powstałe wskutek spiekania się koksu, utrudniające przepływ gazu i obsuwanie się paliwa.

Rys. 40. Generator z rusztem stożkowym: 1 — ruszt, 2 — przewód powietrzny, 3 — przewód parowy, 4 — kanał do usuwania popiołu i żużlu, 5 — fartuch, 6 — skrzynka zasilająca, 7 — otwory w sklepieniu

Wysokość szybu generatora zależy od grubości warstwy paliwa nad rusztami. Przy zgazowywaniu węgla kamiennego lub koksu wysokość warstwy paliwa wynosi co najmniej 0,75 m, zwykle za-

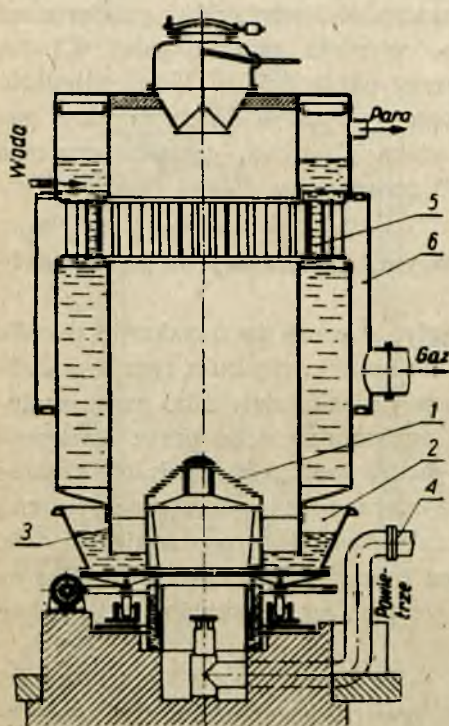
wiera się w granicach od 1 do 2 m. Większa grubość warstwy paliwa wpływa na zwiększanie wysokości strefy redukcji i czasu zektnięcia się gazów z koksem, co w zasadzie jest pożądane, przy tym jednak wzrasta opór stawiany przez generator przepływającym gazom. Ten opór musi pokonać wentylator tłoczący powietrze pod ruszt. Odległość danego brzegu kanału, przez który odprowadzany jest gaz z generatora, od swobodnej powierzchni paliwa w generatorze powinna wynosić przynajmniej 0,3 m. Zwykle jest ona większa i wynosi około 0,5 m. Gdy odległość ta jest mała wówczas gaz generatorowy unosi do przewodów gazowych dużo pyłu i drobnych ziarenek paliwa, co zanieczyszcza przewody i zmniejsza sprawność generatora.

19. Generatory o ruszcie obrotowym i generatory na żużel ciekły

Usuwanie żużla w sposób ciągły, a przez to uzyskanie prawie ciągłego ruchu czadnicy i ustalenia się w związku z tym temperatury i procesów w jej wnętrzu zostaje osiągnięte albo przez zastosowanie w generatorach rusztu ruchomego, albo przez usuwanie żużlu w stanie ciekłym. Istnieje dużo konstrukcji czadnic o ruszcie ruchomym. Budowa ich jest wzorowana na generatorze systemu Kerpely'ego, który pierwszy skonstruował dobrze pracujący i dość prosty ruszt obrotowy. W Polsce pracuje dość dużo generatorów o ruszcie ruchomym systemu Kerpely'ego z szybem specjalnej konstrukcji pomysłu Marischki.

Generator systemu Kerpely'ego-Marischki przedstawiony jest na rys. 41. W generatorze tym ruszt 1 umieszczony jest nieco ekscentrycznie w misie ruchomej 2 obracającej się bardzo wolno (jeden obrót trwa około godziny, a nawet dłużej) dookoła swej osi. Podobnie jak ruszt stożkowy składa się on (rys. 42) z pierścieni o coraz mniejszej średnicy, ustawionych poziomo jeden nad drugim w taki sposób, że między nimi pozostają prześwity dla przepływu powietrza i pary jak w ruszcie schodkowym. Misę obraca się za pomocą silnika elektrycznego poprzez przekładnię ślimakową, przy czym ślimacznicą dużej średnicy przymocowana jest do jej dolnej części. Ślimak napędzany jest silnikiem za pośrednictwem mechanizmu zapadkowego, jak pokazano na rys. 42, lub ciernego.

Ekscentryczne ustawienie rusztu względem miski i szybu wskutek ruchu jego dookoła osi powoduje kruszenie większych kawałków żużlu i usuwanie go z rusztu oraz poruszanie warstw paliwa wewnątrz generatora. Zapobiega to zbyt silnemu spiekaniu się koksu i ułatwia przepływ przez generator powietrza doprowadzanego wraz z parą pod ruszt i powstających w generatorze gazów.



Rys. 41. Generator systemu Kerpelye'go Marischki: 1 — ruszt, 2 — miska, 3 — fartuch, 4 — przewód powietrzny, 5 — opłotki, 6 — płaszcz zewnętrzny

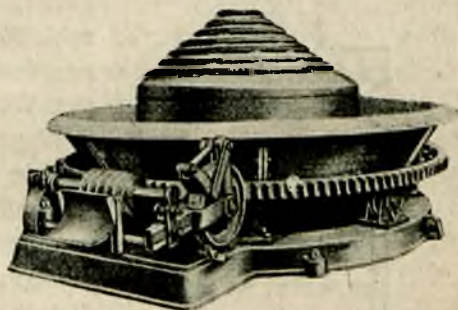
Żużel leży na dnie miski wypełnionej wodą i podczas ruchu jest z niej usuwany w sposób ciągły zanurzoną w wodzie nożem (lemieszem) specjalnej konstrukcji. W wodzie jest również zanurzony fartuch 3, czyli cylindryczny pierścień (wykonany z blachy) przymocowany do dolnej części płaszcza generatora. W ten sposób uzyskuje się zamknięcie hydrauliczne i oddzielenie wnętrza generatora od atmosfery. Oczywiście głębokość zanurzenia fartucha zależy od ciśnienia powietrza doprowadzanego pod ruszt.

Szyb generatora jest nieruchomy i spoczywa na kolumnach. Nie jest on obmurowany, gdyż w strefie spalania oraz wyżej wskutek wysokiej temperatury żużel silnie niszczy obmurze, wobec czego szyb murowany Marischki zastąpił płaszczem chłodzącym parowo-wodnym. W tym celu szyb jego konstrukcji ma podwójne ścianki, pomiędzy którymi znajduje się woda. Paruje ona kosztem ciepła pobranego od generatora, a wytworzona para zbiera się w jego górnej części, skąd następnie jest

odprowadzana na zewnątrz. Podwójne ścianki szybu tworzą więc kocioł parowy. Jak widać na rys. 41 składa się on z dwóch części połączonych ze sobą rurkami (opłomkami). Poziom wody oddzielającej przestrzeń parową kotła od przestrzeni wodnej znajduje się w górnej jego części. Rurki powiększają powierzchnię ogrzewalną kotła i przyczyniają się do obniżenia temperatury gazu generatorowego, który opuszczając generator musi przepłynąć pomiędzy nimi.

Ażeby więcej ochłodzić gaz generatorowy i pobrać od niego jak najwięcej ciepła, gdyż ciepło, które on zawiera najczęściej traci się nieużytecznie, kocioł otoczony jest płaszczem z blachy stalowej, aby gazy płynąc z góry na dół ogrzewały jego ścianę zewnętrzną, a same się przez to ochłodziły.

Pierwotna konstrukcja kotła była prostsza, nie posiadał on rurek (opłomek) i wytwarzał parę o ciśnieniu kilku at. Para razem z powietrzem była do-



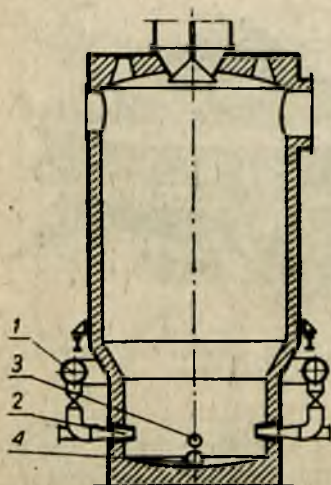
Rys. 42. Ruszt ruchomy sytemu Kerpely'ego

prowadzana pod ruszt. Obecnie ciśnienie w kotle wynosi 10 lub więcej at, para zaś używana jest nie tylko wewnątrz generatora, ale również — do napędu wentylatorów i dmuchaw tłoczących powietrze pod ruszt i gaz generatorowy do przewodów gazowych, a w razie jej nadmiaru służy także do innych celów.

Generatory systemu Kerpely'ego-Marischki oryginalne lub zmodyfikowane są szeroko rozpowszechnione w przemyśle. Średnica ich dochodzi do 3,6 m, przerób — do 1600 kg węgla na godzinę, a zużycie mocy do napędu rusztu zależy od wielkości zawiera się w granicach od 0,4 do 2,5 kW.

Generatory na ciekły żużel. Wysoka temperatura w strefie spalania i redukcji, jak zostało wyjaśnione w pktcie 17, dodatnio wpływa na skład gazu generatorowego i intensywny przebieg gazowania. Topienie się żużlu uniemożliwia jednak prowadzenie procesu w wysokich temperaturach. Ciekły żużel zalewa

ruszt utrudniając dopływ powietrza i narusza normalną pracę czadnicy, przez co jej wydajność się zmniejsza, a jakość gazu generatorowego się pogarsza. Poza tym ciekły żużel oblepia niespalone kawałki paliwa uniemożliwiając ich dopalanie się, co powoduje duże straty ciepła. Ażeby pokonać te trudności, już przeszło sto lat temu powstał projekt usuwania z generatora żużlu w stanie ciekłym. Praca pierwszych generatorów tego rodzaju nie dała wyników zadowalających. Dopiero ostatnio w Związku Radzieckim opracowano konstrukcję generatorów na ciekły żużel, przeznaczonych do gazowania paliw zawierających dużo popiołu; praca tych



Rys. 43. Generator na ciekły żużel: 1 — przewód pierścieniowy, 2 — dysze, 3 — otwór do odprowadzania żużlu, 4 — otwór do odprowadzania żeliwa

generatorów dała zadowalające wyniki. Konstrukcję takiego generatora przedstawiono schematycznie na rys. 43.

W generatorach tego typu nie dąży się do obniżenia temperatury w strefach gazowania, lecz do jej podwyższenia, wskutek czego do doprowadzonego powietrza nie tylko nie dodaje się pary wodnej, ale przeciwnie — powietrze to jest często ogrzewane. Produktem zgazowania paliwa w generatorach na ciekły żużel jest więc gaz powietrzny, podczas gdy w generatorach, w których dodaje się parę, powstaje gaz mieszany.

Aby obniżyć temperaturę topnienia żużlu i zwiększyć jego płynność, wraz z paliwem do generatora doprowadzane są topniki. Jako topniki są sto-

sowane żużle wielkopieczowe i martenowskie, ruda żelazna i wapno. Na roztopienie żużlu zużywa się znacznie mniej ciepła, niż wyniosłyby straty ciepła w niespalonym koksie wskutek oblepiania go szlaką. Ciekłe żużle praktycznie nie zawierają koksu.

Generator, jak widać z rys. 43, podobny jest do wielkiego pieca, zresztą i procesy w nim zachodzące są zbliżone do procesów wielkopieczowych. Posiada on jednak znacznie mniejsze wymiary: średnica dochodzi do 5 m, a wysokość — do 6,5 m. Szyb tego genera-

ratora wyłożony jest cegłą ogniotrwałą. Powietrze z przewodu pierścieniowego 1 doprowadzane jest kilkoma dyszami 2. Przy gazowaniu paliw zawierających dużo popiołu, a więc mało kalorycznych, jest ono ogrzewane do temp. 250—300°C. W dolnej części kotliny pod dyszami znajdują się dwa otwory; górny otwór 3 do spuszczenia roztopionego żużlu i dolny otwór 4 do żeliwa powstającego wskutek redukcji tlenków żelaza, wchodzących w skład popiołu lub rud żelaznych, jeżeli są one dodawane jako topniki. Ciekły żużel może być wykorzystany do odlewu różnych materiałów budowlanych.

Wskutek utrzymywania w generatorze wysokiej temperatury proces gazowania paliwa przebiega bardzo intensywnie, wobec czego jego przerób jest kilkakrotnie większy niż w generatorach o ruszcie obrotowym i wynosi około $1000 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{godz}$; wartość opałowa gazu jest jednak mniejsza. Gaz opuszczający generator ma dość wysoką temperaturę, a więc unosi dużo ciepła, które najczęściej jest tracone nieużytecznie.

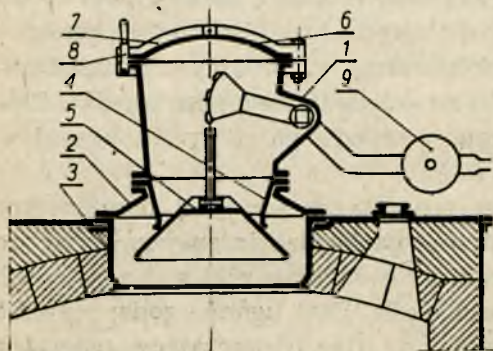
20. Urządzenia do zasilania generatorów paliwem

Urządzenia doprowadzające paliwo do generatorów powinny być proste, niezawodne w działaniu oraz szczelne, aby uniemożliwić przedostawanie się gazu generatorowego na zewnątrz i dostawanie się powietrza do wewnątrz. Ponadto powinny one równomiernie zasilać paliwem cały poprzeczny przekrój generatora. Ze względu na sposób działania można je podzielić na urządzenia obsługiwane ręcznie o działaniu okresowym i mechanicznie o działaniu ciągłym. Do ręcznego zasilania służą skrzynie zasilające różnej konstrukcji, a do mechanicznego — bębny zasilające.

Skrzynie zasilające stosowane są w generatorach o małym i średnim przerobie. Pod względem konstrukcji wszystkie są do siebie podobne. Do węgla kamiennego i brunatnego oraz do koksu stosuje się skrzynie cylindryczne lub stożkowe, a do drewna w szczapach — skrzynie o przekroju prostokątnym.

Okrągła skrzynia zasilająca przedstawiona jest na rys. 44. Składa się ona z korpusu 1, który za pośrednictwem pierścienia 2 opiera się na sklepieniu generatora, pierścienia kierującego 3, siódła 4, stożka 5, pokrywy 6, dźwigni 7, dociskacza 8 i przeciwwagi 9.

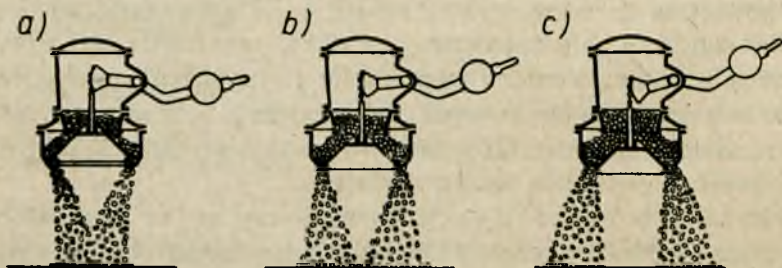
Dla uzyskania większej szczelności powierzchnie styku stożka i siodła powinny być dopasowane. Szczelność pokrywy osiąga się albo przez obróbkę przylegających do siebie powierzchni na brzegach korpusu i pokrywy, albo przez zastosowanie uszczelki azbestowej. Uszczelnienia hydrauliczne rzadko są stosowane.



Rys. 44. Skrzynka zasilająca: 1 — korpus, 2 — pierścień oporowy, 3 — pierścień kierujący, 4 — siodło, 5 — stożek, 6 — pokrywa, 7 — dźwignia, 8 — dociskacz, 9 — przeciwwaga

Bardzo ważne jest równomierne zasilanie paliwem całego przekroju generatora, co zależy od wzajemnego położenia i kształtu pierścienia kierującego, siodła i stożka. Przez opuszczenie stożka na odpowiednią głębokość paliwo spada bliżej lub dalej od środka generatora, jak to widać na rys. 45.

W skrzynkach zasilających osiągnięta jest odpowiednia szczelność, jednak przy otwarciu pokrywy gaz znajdujący się w skrzyni wychodzi na zewnątrz i zatrzuwa powietrze. Aby temu zapobiec,



Rys. 45. Wprowadzenie paliwa do generatora ze skrzynki zasilającej: a) przy słabym opuszczeniu stożka, b) przy opuszczeniu średnim, c) przy opuszczeniu dużym

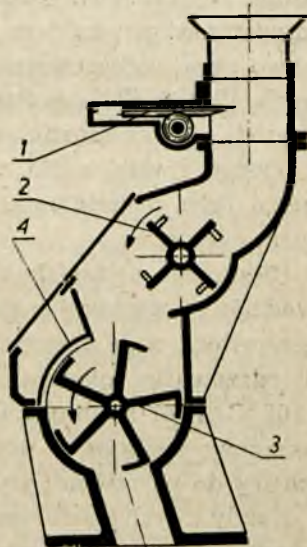
w niektórych konstrukcjach przewidziano możliwość wprowadzenia do skrzynki (przed jej otwarciem) pary, która usuwa gazy do szybu przez nieco opuszczony stożek.

Wadą ręcznego zasilania jest konieczność wkładu pracy oraz okresowość czynności. Zasilanie odbywa się w odstępach czasu od 15 do 30 minut. Częstsze zasilanie wymaga skrzyni o mniejszej pojemności i wprowadza mniejsze zaburzenia w pracy generatora, natomiast bardziej absorbuje robotników obsługujących generator.

Przy okresowym zasilaniu większymi porcjami paliwa w dużych odstępach czasu gaz generatorowy, wytwarzany przez czadnicę ma nierównomierny skład szczególnie wówczas, gdy gazowane są paliwa zawierające dużo części lotnych. Bezpośrednio po narzuceniu paliwa rozpoczyna się intensywne wydzielanie się z niego pary i lżejszych węglowodorów, wskutek czego gaz wzbogaca się w produkty suchej destylacji i ma wyższą wartość opałową. Natomiast pod koniec okresu, gdy wydzielanie się lotnych części paliwa jest słabsze i zawartość ich w gazie generatorowym — mniejsza, jego wartość opałowa jest niższa. Jeżeli główny przewód gazowy (kolektor) jest zasilany przez kilka generatorów, to skład gazu dopływającego do miejsc odbioru jest stosunkowo równomierny, gdyż zwykle doprowadzanie paliwa do poszczególnych generatorów odbywa się kolejno, natomiast przy pracy tylko jednego lub dwóch generatorów nierównomierność składu gazu jest duża.

Zasilacze bębnowe. Osiągnięcie równomiernego składu gazu generatorowego możliwe jest tylko przy zasilaniu ciągłym. Urządzenia do ciągłego zasilania stosowane są w

generatorach o przerobie dużym, a czasami i średnim. W większości wypadków są to zasilacze bębnowe. Jeden z takich zasilaczy konstrukcji Welmana przedstawiony jest na rys. 46. Paliwo z kosa przez kanał z zasuwą 1 regulującą z grubsza, jak widać na rysunku, dostaje się do dozownika 2, który obraca się z prędkością zależną od intensywności zasilania, a następnie — do bębna 3 po-



Rys. 46. Bęben zasilający:
1 — zasuwa, 2 — dozownik,
3 — bęben, 4 — zasłona

siadającego pięć komór. Bęben obracając się ze stałą prędkością wprowadza równomiernie odmierzone przez dozownik porcje paliwa. Aby zapobiec przepelnieniu komór bębna, umieszcza się osłonę 4.

Liczba obrotów bębna zależna jest od wielkości przerobu generatora i wynosi od 10 do 30 na godzinę, zużycie mocy dochodzi do 1,8 kW.

21. Produkcja gazu wodnego

Gazem wodnym nazywamy gaz otrzymywany ze zgazowania paliwa stałego parą wodną, a więc teoretycznie nie zawierający azotu. Do kategorii gazów wodnych zalicza się również gaz otrzymywany w generatorze w przypadku, gdy doprowadzana jest do niego para wodna razem z tlenem. Jak wynika z równań chemicznych [21] i [22], podanych w pktcie 17, reakcje rozkładu pary wodnej są endotermiczne i wymagają doprowadzenia ciepła z obcego źródła, a dla zapewnienia odpowiedniej szybkości przebiegu tych reakcji potrzebna jest ponadto dość wysoka temperatura.

Ciepło niezbędne do wytwarzania gazu wodnego można doprowadzić: 1) ogrzewając generator z zewnątrz, 2) doprowadzając do generatora parę przegrzaną do temp. 1100°C , a nawet wyższej, 3) ogrzewając mieszaninę pary i paliwa w postaci pyłu do temp. 1100°C i 4) akumulując ciepło w generatorze otrzymane przez okresowe spalanie w nim paliwa w celu podniesienia jego temperatury do potrzebnej wysokości.

Każdy z tych sposobów jest stosowany w przemyśle chemicznym wtedy, gdy najlepiej odpowiada specyficznym warunkom technologicznym w danym przedsiębiorstwie. Najdawniejszy i najlepiej technicznie opanowany oraz najczęściej stosowany jest jednak sposób ostatni.

Otrzymywanie gazu wodnego z wykorzystaniem ciepła akumulowanego w generatorze jest procesem okresowym. W pierwszej części okresu wdmuchiwane jest do generatora powietrze, wskutek czego silnie wzrasta w nim temperatura, a otrzymywany gaz powietrzny albo jest wypuszczany przez komin, albo — częściej — jest wyzyskiwany jako produkt uboczny. Następnie w drugiej czę-

ści okresu, gdy osiągnięta jest potrzebna temperatura, wyłącza się podmuch powietrza i do generatora na rozżarzony koks wprowadza się parę wodną, która reagując z węglem zgodnie z równaniami [21] i [22] daje gaz wodny. Doprowadzanie pary trwa tak długo, aż temperatura w generatorze obniży się do poziomu, przy którym wytwarzanie gazu wodnego nie opłaca się. Wtedy przerywa się dopływ pary do generatora, włącza podmuch powietrza i cykl zaczyna się od początku. Część okresu pracy generatora, podczas której wzrasta w nim temperatura wskutek wdmuchiwania powietrza, nazywa się *biegiem gorącym*, druga część okresu, podczas której temperatura spada wskutek wdmuchiwania pary i wytwarzania się gazu wodnego, nazywa się *biegiem zimnym*.

Duże znaczenie ze względu na dobre wyzyskanie ciepła w generatorze ma kierunek przepuszczania przez niego pary w czasie biegu zimnego. Przy doprowadzeniu pary od dołu następuje ochładzanie dolnej części generatora i stopniowe przesuwanie się strefy gazyfikacji do góry. Przy doprowadzaniu pary od góry ogrzewa się ona od górnych warstw paliwa i wstępuje do strefy gazyfikacji silnie przegrzana, co wpływa dodatnio na przebieg procesu wytwarzania gazu wodnego i prowadzi do wyrównania temperatur w tej strefie. Z tych powodów racjonalne jest doprowadzanie pary podczas zimnego biegu generatora na przemian od dołu i od góry.

Wytwarzany w czasie biegu gorącego gaz powietrzny nie zawsze ma zastosowanie w fabryce, często wypuszcza się go przez komin do atmosfery, wskutek czego jego wartość opałowa i ciepło ogrzania giną nieużytecznie. W tym przypadku należy dążyć do tego, aby zawartość dwutlenku węgla była w nim jak największa, wydziela się bowiem wtedy więcej ciepła i w czasie biegu zimnego uzyskuje się większą ilość gazu wodnego. Jak wynika z równań [18], [19] i [21] przez spalanie 1 kmola (12 kg) węgla na dwutlenek węgla otrzymuje się 96600 kcal co, pomijając straty umożliwia rozłożenie w generatorze $96600 : 30200 \cong 3,20$ kmola pary wodnej i otrzymanie po 3,2 kmola wodoru i tlenku węgla, czyli razem 6,40 kmola gazu wodnego. Natomiast przez spalanie 1 kmola węgla na tlenek węgla uzyskuje się tylko 28400 kcal, co wystarcza teoretycznie na rozkład tylko $28400 : 30200 \cong 0,94$ kmola pary i wytworzenie 1,88 kmola gazu wodnego.

Duża zawartość dwutlenku węgla w gazach odlotowych w czasie biegu gorącego związana jest z ich wysoką temperaturą, a więc i z dużą zawartością w nich ciepła. Jeżeli wziąć pod uwagę, że ciepło to oraz wartość opałow gazów odlotowych dla produkcji gazu wodnego są stracone oraz, jeżeli uwzględnić inne jeszcze straty cieplne, jak straty w żużlu, przez promieniowanie itp., to stanie się zupełnie jasne, że sprawność generatora przy produkcji gazu wodnego nie może być duża. Zwykle wynosi ona około 50% i tylko w dużych dobrze prowadzonych instalacjach dochodzi do 60%.

Wydajność generatora na początku biegu zimnego wskutek wysokiej temperatury jest duża, a w miarę trwania tego biegu ze spadkiem temperatury obniża się i zmienia się również skład gazu wodnego. Aby wahania w ilości wytwarzanego gazu oraz w jego składzie były jak najmniejsze, cykl należy skrócić do minimum. Najkrótszy jednak cykl musi trwać tak długo, aby przez ten czas można było przestawić zasuwę i zawory, znajdujące się na przewodach rurowych, z jednego biegu na drugi.

Tablica 10

Czas trwania poszczególnych faz w generatorze na gaz wodny

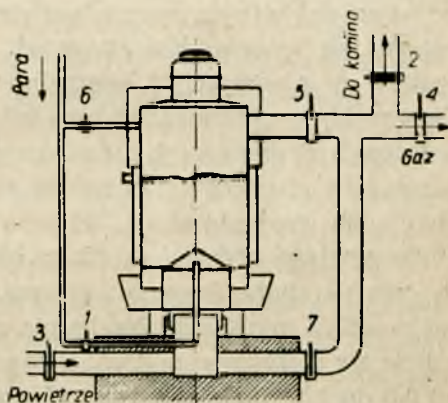
	Obsługa automatyczna		Obsługa ręczna			
	czas średni		Cykl siedmio-minutowy		Cykl sześćco-minutowy	
	sek	%	sek	%	sek	%
Bieg gorący	66	27,5	114	27,2	90	25
Przedmuchiwanie parą	4	1,7	16	1,4	6	1,7
Gazowanie						
od dołu	78	32,5	10	2,4	10	2,8
od góry	72	30,00	240	57,1	210	58,3
od dołu	16	6,7	44	10,5	38	10,5
Przedmuchiwanie powietrzem	4	1,6	6	1,4	6	1,7
Razem	240	100	420	100	360	100

Przy obsłudze ręcznej w dobrze urządzonych wytwórniach gazu wodnego cykl pracy generatora trwa obecnie od 6 do 7 minut, a w nowoczesnych zakładach przy automatycznym przestawianiu

zasuw i zaworów — 4 minuty. W przypadku wielkich generatorów jest on podzielony na sześć faz, z których faza I — bieg gorący — ma na celu, jak wiadomo, rozgrzanie generatora, faza II — przedmuchiwanie generatora parą — usunięcie z przewodów gazu powietrznego w celu otrzymania podczas biegu zimnego, obejmującego trzy następne fazy, gazu wodnego pozbawionego zanieczyszczeń; faza III — jest to doprowadzanie pary (gazowanie) od dołu, faza IV — doprowadzanie pary (gazowanie) od góry, faza V — doprowadzanie pary od dołu w celu usunięcia z przewodów przed generatorem gazu wodnego, gdyż przewodami tymi będzie następnie doprowadzane powietrze i gdyby nie był z nich usunięty gaz wodny, wytworzyłaby się mieszanina wybuchowa, faza VI — to przedmuchiwanie generatora powietrzem. Czas trwania poszczególnych faz, gdy cykl trwa 4, 6 lub 7 minut, podany jest w tablicy 10. Schemat przewodów, zaworów i zasuw w generatorze przeznaczonym do wytwarzania gazu wodnego przedstawiony jest na rys. 47 (generator jest nastawiony na fazę III).

Do produkcji gazu wodnego powyższą metodą stosowane są głównie generatory systemu Kerpely'ego-Marischki. W Polsce taka instalacja pracuje w Tarnowskich Zakładach Związków Azotowych.

Gaz wodny, posiadający znacznie większą wartość opałową niż gaz powietrzny lub mieszany, jako paliwo przemysłowe stosowany jest rzadko z powodu zbyt wysokiej ceny. Przy wytwarzaniu gazu wodnego stráty ciepła wynoszą przeciętnie prawie 50%, a poza tym gaz ten wytwarzany jest z koksu, którego cena w porównaniu z innymi rodzajami paliwa jest wysoka. Gaz wodny najszersze



Rys. 47. Schemat przewodów i zaworów w generatorze gazu wodnego: 1 — dolny zawór parowy, 2 — zawór kominowy, 3 — zawór powietrzny, 4 — zawór odcinający generator od sieci, 5 — zawór gazowy górny, 6 — zawór gazowy górny, 7 — zawór gazowy dolny

zastosowanie ma w przemyśle chemicznym już nie jako paliwo, lecz jako surowiec do syntez (amoniaku, metanolu, benzyny itp.). Używa się go również do spawania i cięcia metali.

22. Obsługa generatora i warunki bezpieczeństwa pracy

Ogólne zasady regulowania pracy czadnicy przy wytwarzaniu gazu wodnego, mieszanego i powietrznego były podane poprzednio. Obecnie rozpatrzemy zasady postępowania przy jej uruchamianiu, prowadzeniu i zatrzymywaniu.

Uruchamianie generatora powinno być poprzedzone dobrym wysuszeniem jego obmurza, jeżeli było ono naprawiane, oraz dokładnym sprawdzeniem stanu zarówno samego generatora, jak i przewodów rurowych, urządzeń pomocniczych, przyrządów pomiarowych i kontrolnych, związanych z jego pracą. Oczywiście wszelkie zauważone usterki należy usunąć.

Rozpalając generator o ruchomym ruszcie w celu zabezpieczenia rusztu od przepalenia należy nasypać na niego najpierw warstwę żużlu grubości około 200 mm, przy czym wielkość kawałków żużlu powinna wynosić od 25 do 50 mm. Na żużlu układa się wióry oraz porąbane drewno warstwą o grubości do 300 mm i zapala się w kilku miejscach. Następnie gdy drewno się rozпали, doprowadza się stopniowo paliwo, a gdy jego warstwa osiągnie grubość od 0,5 do 1 m misę generatora, jeżeli generator ją posiada, napełnia się wodą w celu otrzymania zamknięcia hydraulicznego i uruchamiania podmuch powietrza. Gdy w generatorze wytworzy się silnie rozżarzona warstwa paliwa o odpowiedniej wysokości, razem z powietrzem doprowadza się parę wodną w celu otrzymania gazu mieszanego i co 15 minut przeprowadza się badania składu gazów opuszczających generator. Jest on przez cały czas uruchamiania połączony z kominem odprowadzającym gazy do atmosfery. Do sieci przewodów gazowych generator jest przyłączony dopiero wtedy, gdy gaz generatorowy osiągnie żądany skład.

Prowadzenie generatora. Dla otrzymania gazu o możliwie małych wahaniami jego składu i temperatury należy prowadzić ciągłą kontrolę pracy generatora za pomocą odpowiednich przyrządów oraz niezwłocznie usuwać zauważone zaburzenia w jego ruchu.

Zaburzenia w ruchu generatora występują najczęściej z powodu stapiania się żużłu, a następnie skutek silnego spiekania się koksu i powstawania przez to wewnątrz generatora skorupy trudno przepuszczającej gazy. Przyczyną zaburzeń może być również nieumiejętna obsługa, szczególnie przy ręcznym zasilaniu i ręcznym usuwaniu żużłu. Na obecność zaburzeń w ruchu generatora wskazują: obniżenie się jakości gazu, wzrost zawartości dwutlenku węgla, podniesienie się lub obniżenie temperatury gazu, całkowite lub częściowe miejscowe rozżarzenie się powierzchni paliwa w generatorze, zwłaszcza w pobliżu ścian itp.

Przyczyną zwiększenia się zawartości dwutlenku węgla (CO_2) w gazie generatorowym jest nierównomierne przepuszczanie powietrza przez spieczoną warstwę (skorupę) koksu lub przez stopioną warstwę żużłu, wskutek czego powietrze przepływa przez generator tylko w niektórych miejscach z nadmierną szybkością i część dwutlenku węgla nie zdąży się zredukować na tlenek węgla.

Aby generator doprowadzić do normalnego stanu, spieczoną skorupę koksu lub żużłu należy rozbić prętami stalowymi (łomami) przez istniejące w tym celu otwory w sklepieniu generatora oraz zwiększyć dopływ pary, aby zapobiec stapianiu się żużłu.

Jeżeli przyczyną zaburzeń w biegu generatora jest zwiększenie się grubości warstwy żużłu na ruszcie lub zmniejszenie się ilości paliwa, to dla usprawnienia jego pracy należy przyspieszyć usuwanie żużłu, ewentualnie ładowanie paliwa.

Wzrost temperatury gazu generatorowego może być wywołany zaburzeniami w biegu czadnicy (omówionymi poprzednio), a poza tym niedostateczną ilością doprowadzanej pary wodnej. Obniżenie się zaś temperatury gazów odlotowych może być spowodowane zbyt małą ilością doprowadzanego powietrza, albo zbyt dużą ilością pary, lub wreszcie zbyt wysoką warstwą paliwa w generatorze. Przyczyną za małej ilości powietrza dostającego się do wnętrza generatora mogą być: zbyt duży opór, który musi ono pokonać przepływając przez czadnicę, nie szczelność przewodów lub zaburzenia w działaniu wentylatorów. Zwiększenie się oporów może być spowodowane zanieczyszczeniem rusztu żużlem, doprowadzaniem do generatora zbyt drobnego paliwa oraz zbyt wysoką jego warstwą. Oczywiście, aby doprowadzić temperaturę gazów do

wysokości normalnej dla danego generatora, przede wszystkim należy usunąć przyczyny, które wywołały zaburzenia w jego pracy.

Aby ułatwić obsłudze prawidłowe, zgodne z instrukcją prowadzenie generatora oraz szybkie wykrywanie wszelkich nieprawidłowości i zaburzeń w jego biegu, trzeba zaopatrzyć generator w przyrządy pomiarowe i kontrolne. Do niezbędnych przyrządów pomiarowych zalicza się: termometry do mierzenia temperatury gazu generatorowego oraz mieszanki parowo-powietrznej wdmuchiwanej pod ruszt, ciążomierze lub manometry do mierzenia ciśnienia doprowadzanego powietrza i odprowadzanego gazu, gazomierz i paromierz, wagę do paliwa, aparaty do analizy składu gazu generatorowego oraz kalorymetr do określania wartości opałowej gazu itp.

Bardzo duże znaczenie dla prawidłowego biegu generatora ma utrzymywanie na odpowiedniej wysokości poszczególnych stref reakcji. Wysokość ich można zmierzyć za pomocą pręta stalowego. W tym celu wsuwa się go przez otwór w sklepieniu generatora w ten sposób, aby po przejściu przez całą warstwę paliwa oparł się o ruszt. Pręt wyciągnięty po kilku minutach (od 3 — 5), rozgrzany jest (na swej długości) niejednakowo wskutek działania różnych temperatur panujących w poszczególnych strefach generatora. Długość dolnego końca pręta słabo ogrzanego określa wysokość strefy żużlu. Następny odcinek pręta, rozgrzany do temperatury czerwono-białego żaru, określa wysokość strefy spalania, długość trzeciego odcinka ogrzanego do temperatury ciemnoczerwonego żaru, równa się wysokości strefy redukcji, a długość czwartego odcinka, ogrzanego słabiej, którego powierzchnia bywa czasami pokryta smołą, odpowiada wysokości strefy koksowania (suchej destylacji paliwa).

Zatrzymanie generatora może trwać krótko (np. jedną noc) lub dłuższy okres czasu podczas remontów, albo z innych powodów.

Przy zatrzymywaniu generatora na krótki okres czasu należy zmniejszyć do minimum ciśnienie wdmuchiwanego powietrza, połączyć generator z kominem, odłączyć od sieci rurociągów gazowych i przerwać podmuch pozostawiając czadnicę pod słabym ciągiem kominowym. Jeżeli trzeba wyłączyć generator na dłuższy

okres czasu, to należy wyładować z niego paliwo. W tym celu generator gasi się przepuszczając przez niego przed wyładowaniem parę wodną albo wygarnia z niego rozżarzone paliwo, które następnie gasi się wodą.

Bezpieczeństwo pracy jest bardzo ważnym zagadnieniem przy prowadzeniu generatora. Gaz generatorowy tworzy z powietrzem mieszaninę wybuchową, a tlenek węgla wchodzący w jego skład jest niebezpieczną trucizną mogącą spowodować śmiertelne zczadzenie nawet w dość dużym rozcieńczeniu. Zawartość tlenku węgla w powietrzu, w ilości od 0,3 do 0,5%, przy dłuższym oddychaniu nim może spowodować śmierć. Wodór, metan i inne węglowodory są szkodliwe dla organizmu ludzkiego i działają trująco nawet w małym rozcieńczeniu wywołując choroby zawodowe.

Wybuch może powstać wówczas, gdy wytworzy się mieszanina o odpowiednim składzie gazu generatorowego z powietrzem. Aby zapobiec wybuchom, należy tak prowadzić proces wytwarzania gazu w generatorze, żeby nie mogła się wytworzyć mieszanina wybuchowa. W tym celu w generatorze, przewodach gazowych i całej aparaturze, gdzie znajduje się gaz, należy utrzymywać ciśnienie wyższe od atmosferycznego, aby nie zachodziło zasysanie powietrza. Przed przyłączeniem generatora do przewodów i aparatów, które przez pewien czas były nieczynne, należy je przedmuchać parą wpuszczając ją przy generatorze, a wypuszczając za aparaturą.

Aby uchronić obsługę generatorów od szkodliwego działania gazu, cała instalacja, a więc generator, przewody rurowe, aparaty i urządzenia pomocnicze, w których znajduje się gaz generatorowy, powinny być zupełnie szczelne. Wszelkie zauważone nieszczelności należy niezwłocznie naprawiać. Zasuwy i wszelkiego rodzaju zawory na przewodach gazowych powinny być bardzo szczelne oraz tak zbudowane, aby można było je szybko i bezpiecznie otwierać oraz zamykać. Pomieszczeniom, w których znajduje się generator, przewody gazowe i urządzenia pomocnicze, należy zapewnić dobrą wentylację naturalną i dodatkowo intensywną wentylację mechaniczną.

Ze względu na bezpieczeństwo pracy w pomieszczeniu generatorów należy umieścić szczegółową instrukcję postępowania przy uruchamianiu, prowadzeniu i zatrzymywaniu generatorów. Trzeba jednak pamiętać, że bardzo istotnym czynnikiem zabezpieczającym zdrowie i życie personelu oraz całość i prawidłowe działanie instalacji, jest fachowe przygotowanie i sumienność pracowników obsługujących generator, toteż należy przeprowadzać szkolenie nowoprzyjętych pracowników zalecając im wykonywanie odpowiedzialnych czynności przy obsłudze instalacji dopiero po stwierdzeniu, że znana im jest wspomniana poprzednio instrukcja i zasady bezpieczeństwa pracy.

W każdym zakładzie przemysłowym posiadającym generatory powinna znajdować się stacja ratownicza, której zadaniem jest przede wszystkim niesienie pierwszej pomocy przy zaccadzeniach i oparzeniach.

23. Gazyfikacja podziemna

W roku 1888 wielki uczyony rosyjski D. I. Mendelejew twórca okresowego układu pierwiastków w jednej ze swoich prac wypowiedział następujące zdanie „...z czasem nastąpi prawdopodobnie nawet taka epoka, że węgla nie będą wyjmować z ziemi, lecz tam w ziemi nauczą się zamieniać go w palne gazy i będą doprowadzać je rurami na dalekie odległości“. Następnie po wielu latach w pracy pod tytułem „Nauka o przemyśle“ pisze on: „Przypuszczam, że wytwarzanie gazu generatorowego można osiągnąć wewnątrz samej ziemi, sporządziwszy regulowane doprowadzanie powietrza do warstw węgla, przez co można będzie uniknąć całej prawie katorżnej pracy w kopalniach węgla kamiennego.“ Z podobną myślą w roku 1912 wystąpił znany uczyony angielski W. Ramsey.

Z ideą podziemnej gazyfikacji paliwa, wznowioną przez W. Ramseya zapoznał się W. I. Lenin, który nazwał ją „jednym z wielkich zadań współczesnej techniki“.

W warunkach ustroju kapitalistycznego zarówno w carskiej Rosji za czasów D. I. Mendelejewa, jak i w dwadzieścia kilka lat później w Anglii za czasów W. Ramseya nie można było jednak urzeczywistnić twórczych pomysłów wielkich uczonych. Dopiero

rząd Związku Radzieckiego w roku 1931 przystąpił do realizacji pomysłu D. I. Mendelejewa. W wyniku prac komisji do spraw podziemnej gazyfikacji węgla został uruchomiony pierwszy na świecie generator podziemny w Lisiczańsku w Zagłębiu Podmoskiewskim.

Ośrodek podziemnej gazyfikacji w Lisiczańsku stopniowo się rozwijał i w roku 1941 wytwarzał przeszło 5 000 000 m³ gazów palnych miesięcznie. Doświadczenia zdobyte w tym ośrodku zachęciły do utworzenia nowego, pracującego wg innych, zmodyfikowanych metod ośrodka gazyfikacji podziemnej w Gorłowcach w Zagłębiu Donieckim. W tym ośrodku przed wojną wytwarzano gaz o średniej wartości opałowej około 1000 kcal/m³ w ilości kilku milionów m³ miesięcznie. Wyniki uzyskane w Lisiczańsku i w Gorłowcach świadczą o tym, że pod ziemią możliwe jest przeprowadzenie gazyfikacji paliwa. W ten sposób usunięta zostanie konieczność budowania skomplikowanych urządzeń kopalnianych pod ziemią i na jej powierzchni, umożliwiona będzie eksploatacja cienkich pokładów paliwa (mniejszych od 0,5 m), których wydobywanie metodami górniczymi nie opłacało się i które dotychczas nie były wykorzystywane. Ciężka i niebezpieczna praca górnika ograniczy się przy tym tylko do wiercenia potrzebnych szybów i kanałów w przypadku urządzania zakładów podziemnej gazyfikacji. Transport kolejowy obciążony w dużym stopniu przewozami paliwa będzie zastąpiony przewodami rurowymi, które będą rozprowadzać gazy palne.

Hordy barbarzyńców hitlerowskich zniszczyły w czasie wojny ośrodek podziemnej gazyfikacji w Lisiczańsku i drugi nowszy w Gorłowcach, ale idea wielkiego uczonego D. I. Mendelejewa, mająca na celu dobro ludzkości nie została w ZSRR zaprzepaszczona. Zniszczone ośrodki podziemnej gazyfikacji są odbudowane oraz wybudowano nowe. Obecnie podziemna gazyfikacja paliwa rozwija się w Związku Radzieckim pod kierunkiem Akademii Nauk ZSRR, zajmują się nią wybitni uczeni i specjaliści, stosuje się coraz doskonalsze metody i uzyskuje coraz lepsze wyniki. Za przykładem Związku Radzieckiego w Polsce Ludowej przewidziano w Planie 6-letnim prace nad budową ośrodków podziemnej gazyfikacji paliwa w celu przeprowadzenia badań eksperymentalnych.

W ten sposób marzenia wielkiego uczonego, że „nastąpi taka epoka, że węgla nie będą wyjmować z ziemi, lecz w ziemi nauczą się go zamieniać na gazy palne“ zostaną urzeczywistnione również przy naszym współdziałaniu.

Rozdział V

PIECE

24. Klasyfikacja pieców

Piecami nazywamy takie urządzenia, w których przez dłuższy lub krótszy okres czasu utrzymujemy wysoką temperaturę konieczną dla przeprowadzenia żądanych procesów technologicznych. Potrzebne ciepło dostarcza proces spalania paliwa, energia prądu elektrycznego lub zachodzące reakcje egzotermiczne.

Dawniej ciepło potrzebne do przeprowadzenia w piecach procesów technologicznych było dostarczane wyłącznie przez spalanie paliwa. Obecnie w niektórych gałęziach przemysłu źródłem ciepła jest prąd elektryczny, jak np. w piecach do wytwarzania karbidu, cyjanamidu wapnia (azotniaku), tlenków azotu, w piecach do rafinowania stali i w wielu innych. W niektórych wypadkach ciepło wytwarza się na skutek zachodzących reakcji egzotermicznych, głównie reakcji utleniania, np. w piecach do spalania siarki, wypalania piryków, w gruzkach Bessemera i Thomasa i innych.

Duża różnorodność typów pieców stosowanych w wielu gałęziach przemysłu powoduje konieczność przeprowadzenia odpowiedniej klasyfikacji w celu łatwiejszego poznania ich budowy i zasad działania.

Najprostszy jest podział pieców na grupy według ich przeznaczenia. W ten sposób piece przemysłowe można podzielić na metalurgiczne, ceramiczne, szklarskie, do wypalania wapna i cementu, do piryków i blendy, gazownicze, koksownicze, do obróbki cieplnej metali itd.

Analizując budowę i zasady działania pieców stosowanych w różnych gałęziach przemysłu zauważymy, że piece przeznaczone

do różnych celów technologicznych mają podobną konstrukcję i zbliżone zasady działania. Na przykład piec szybowy do wypalania wapna pod względem budowy i częściowo zasady działania podobny jest do wielkiego pieca, szklarski piec wannowy — do pieca metalurgicznego systemu Simensa-Martina, piec bębnowy do spalania pirytów — do pieca obrotowego do wypalania cementu itd. Biorąc to pod uwagę piece można podzielić na szybowe, trzownikowe, wannowe, kręgowo (komorowe), tunelowe, rurowe, mufłowe itd. Osobną grupę stanowią piece elektryczne. Dzielimy je na piece łukowe, oporowe i indukcyjne.

Według zasad działania rozróżniamy piece o działaniu okresowym i o działaniu ciągłym lub piece ręczne i mechaniczne.

Przepływ gazów spalinowych w piecach, czyli ciąg może być wywołany przez komin (ciąg naturalny) albo w sposób mechaniczny (ciąg sztuczny) za pomocą wentylatorów, dmuchaw, lub aparatów strumieniowych (inżektorów).

25. Piece szybowe

Do pieców szybowych zaliczamy wielkie piece do wytapiania surowki z rud żelaznych, piece do wypalania wapna, cementu, tzw. piece tyglowe do wytapiania ołowiu i wiele innych.

Szyby tych pieców, wysokości od kilku do 30 m, najczęściej mają kształt stożka ściętego o podstawie szerszej z dołu lub dwóch stożków ściętych złączonych ze sobą szerszymi podstawami, przy czym górny stożek jest znacznie wyższy od dolnego. Szyby o kształcie cylindrycznym lub nawet prostokątnym spotykane są stosunkowo rzadziej. Ogólną charakterystyczną cechą pieców tych jest to, że surowce (ruda w wielkim piecu, tlenek ołowiu w piecu do redukcji ołowiu, kamień wapienny w piecach do wypalania wapna) wprowadzane są do szybu górą, najczęściej razem z paliwem, a produkty odbierane są dołem, albo w stanie płynnym podobnie jak w piecach metalurgicznych, albo jako ciała stałe tak samo jak w piecach wapiennych i cementowych.

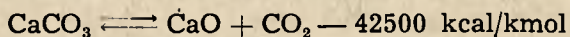
Powietrze potrzebne do spalania doprowadza się do szybu dołem, natomiast gazy spalinowe odprowadza się górą. W piecach szybowych przerabiane surowce oraz powietrze i gazy spalinowe mają

przeciwnie sobie kierunki ruchu, czyli poruszają się w *przeciwprądzie*.

Dla szczegółowego zapoznania się z budową pieców szybowych oraz ich działaniem rozpatrzmy piec do wypalania wapna.

Piece wapienne służą do otrzymywania wapna palonego (CaO) z węglanu wapniowego (CaCO₃).

Węglan wapniowy (kamień wapienny) w wysokiej temperaturze rozkłada się na tlenek wapniowy i dwutlenek węgla zgodnie z równaniem



Reakcja ta jest silnie endotermiczna. Prowadzi się ją zwykle w temperaturze około 900 do 1000°C. Ilość ciepła zużytego na otrzymanie 100 kg tlenku wapniowego teoretycznie wynosi

$$Q = \frac{42500 \cdot 100}{56} \cong 75900 \text{ kcal}$$

w rzeczywistości zaś ilość ta jest większa ze względu na straty ciepła w gorących gazach odlotowych, w wydobywanym z pieca rozgrzanym materiale oraz wskutek promieniowania.

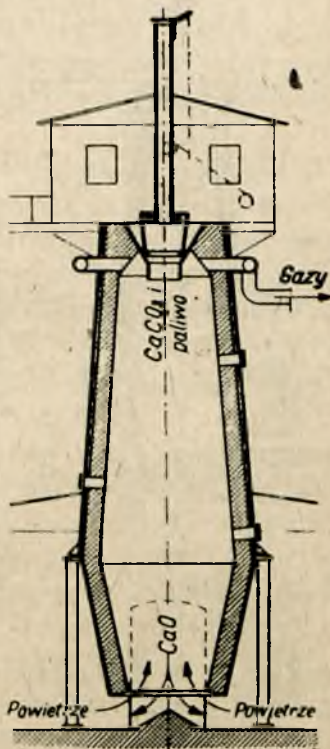
Produkty rozkładu kamienia wapiennego, zarówno tlenek wapniowy jak i dwutlenek węgla, są stosowane jako surowce lub półprodukty w niektórych gałęziach przemysłu chemicznego. Piece wapienne znajdują się w cukrowniach, fabrykach sody (pracujących metodą Solvaya), saletry wapniowej, karbidu i innych. Służą one również do wypalania wapna na zaprawy murarskie, które przygotowuje się z wodorotlenku wapniowego Ca(OH)₂, czyli z tzw. wapna gaszonego, z dodatkiem piasku.

Z kilku stosowanych w Polsce konstrukcji pieców wapiennych na uwagę zasługuje piec belgijski i piec z wbudowanymi generatorami. Piec wapienny belgijski przedstawiony jest na rys. 48. Szyb tego pieca, wysokości od 15 do 20 m, posiada płaszcz stalowy wymurowany wewnątrz cegłą ogniotrwałą. Spoczywa on na kilku kolumnach w taki sposób, że dolna jego część jest zawieszona w powietrzu. Wskutek tego materiał znajdujący się w piecu opiera się na dolnych warstwach leżących bezpośrednio na podstawie pieca. W górnej części pieca znajduje się otwór stożkowy do ładowania surowców, zamykany odpowiednio

uszczelnionym bębnie. Ładowanie odbywa się okresowo co parę godzin. Porcja kamienia wapiennego i koksu, wprowadzona do stożka po podniesieniu bębna, wpada do pieca. Aby zabezpieczyć przy tym kanały, którymi odprowadza się gazy spalinowe, od zasypywania ładowanym surowcem i paliwem, stożek jest zakończony ochronnym walcem z blachy, czyli tzw. fartuchem. Wapno wypalane wybierane jest spod pieca ręcznie za pomocą łopaty. Aby ułatwić zsuwanie się jego na boki, w podstawie pieca znajduje się wzniesienie stożkowe.

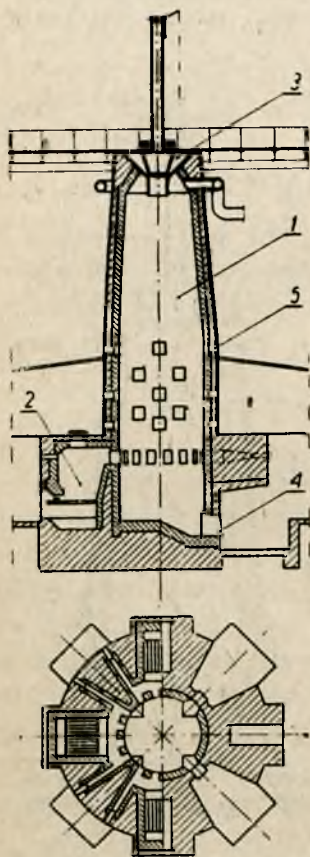
Powietrze wchodzi do pieca od dołu i przedziera się przez wypalone wapno znajdujące się w dolnej jego części. Ogrzewa się ono studząc jednocześnie gorące wapno palone, dzięki czemu zmniejszają się straty ciepła w wydobywanym z pieca materiale. Następnie ogrzane już powietrze wchodzi w strefę spalania znajdującą się w najszerszej części pieca (i nieco wyżej). Wstępne ogrzanie powietrza — jak wiadomo — wpływa dodatnio na proces spalania.

Gazy spalinowe, zmieszane z dwutlenkiem węgla pochodzącym z rozkładu kamienia wapiennego, płynąc do góry spotykają na swej drodze coraz zimniejsze warstwy kamienia wapiennego i koksu, oddają im swoje ciepło i oziębione do temp. 150—300°C opuszczają piec. Zawierają one średnio 30% dwutlenku węgla (CO_2), potrzebnego do celów technologicznych w fabrykach sody i cukrowniach. Gazy te odprowadzane są za pomocą pompy gazowej, która wytwarzając próżnię wysysa je z pieca. Odprowadzać gazy należy nie przez jeden, a przez kilka otworów znajdujących



Rys. 48. Piec wapienny belgijski

się na obwodzie (jak zaznaczono na rys. 48), gdyż wtedy gazy równomiernie przepływają przez cały przekrój poprzeczny pieca, w przeciwnym zaś wypadku płyną jednostronnie, co wpływa ujemnie na jego pracę. Krótki kominiek służy do wypuszczania gazów do atmosfery w czasie rozpalania pieca albo wówczas gdy odbiór gazów do celów produkcyjnych jest niedostateczny bądź przerywany.



Rys. 49. Piec wapienny z generatorami: 1 — szyb, 2 — generator, 3 — lej zasilający, 4 — otwór wyładunkowy, 5 — otwór boczny

Jak widzimy, w piecu tym wskutek zastosowania przeciwprądu zachodzi naturalna wymiana ciepła pomiędzy wypalonym, silnie rozgrzany wapnem a zimnym powietrzem wchodzącym do pieca od dołu oraz w górnej jego części pomiędzy gorącymi gazami, opuszczającymi piec a kamieniem wapiennym i koksem, wprowadzanymi do niego w temperaturze otoczenia. Wymiana ta nie tylko umożliwia odzyskanie (regenerację) części ciepła zawartego w wapnie i w gazach odlotowych, ale również przygotowuje stopniowo kamień wapienny do reakcji rozkładu, co przyspiesza proces wypalania wapna w piecu.

W bocznych ścianach szybu znajduje się kilka otworów. Służą one do obserwacji oraz przepychania materiału za pomocą prętów stalowych w przypadku, gdy z pewnych powodów zawiśnie on w piecu. Dla ochrony robotników od deszczu i wiatru na pomoście, z którego odbywa się zasilanie pieca, znajduje się budka.

Wadą omawianego pieca jest zanieczyszczenie popiołem i żużlem wapna palonego, gdyż spalające się paliwo zmieszane jest z wypalonym kamieniem wapiennym. Jeśli zależy na otrzymaniu czyst-

szego wapna, stosuje się piece szybowe ogrzewane gazem, najczęściej gazem generatorowym, przy czym generatory w tym wypadku są wbudowane w piec tworząc z nim jedną całość. Jeden z takich pieców pokazany jest na rys. 49. Posiada on cztery generatory 2, pomiędzy którymi na samym dole pieca znajdują się otwory do wydobywania wapna 4. Gaz generatorowy bezpośrednio z czadnic wchodzi do pieca przez otwory łączące je z szybem. Tam spotyka się on z przepływającym do góry ogrzonym przez wypalone wapno powietrzem i ulega spalaniu. Najwyższa temperatura w tym piecu utrzymuje się tuż nad otworami, przez które dopływają gazy palne.

Zużycie paliwa w piecach z generatorami jest mniejsze niż w piecu belgijskim, gdyż spalanie w nich zachodzi przy mniejszym nadmiarze powietrza. W związku z tym zawartość dwutlenku węgla w gazach odlotowych jest większa, a sprawność wyższa. Do ujemnych stron pieców wapiennych tego typu należą: bardziej skomplikowana budowa, mniej dogodne wybieranie wapna palonego i trudniejsza obsługa, gdyż oprócz pieca należy obsługiwać również generatory.

Oba rozpatrzone poprzednio piece zasilane są okresowo i posiadają obsługę ręczną. Ostatnio zostały wprowadzone w ZSRR i Ameryce duże piece wapienne o zasilaniu ciągłym i o automatycznym ciągłym usuwaniu wapna wypalonego. Mechanizm do usuwania wapna z dolnej części pieca przypomina ruszt ruchomy w generatorach systemu Kerpely'ego.

Szybowe piece wapienne mają wysokość od 15 do 25 m, wydajność ich wynosi od 50 do 100 tonn wapna na dobę, a w piecach automatycznych wydajność dochodzi do 150 tonn/dobę. Sprawność ich waha się od 70 do 82%.

26. Piece trzonowe

Piecami trzonowymi nazywamy takie piece, w których ogrzewany materiał, zachowujący w piecu stały stan skupienia, leży na płaskim poziomym lub nieco pochyłym dnie, czyli na tzw. trzonie, albo gdy pod wpływem wysokiej temperatury ulega stopieniu w płytkiej wannie. Gazy spalinowe ogrzewające przerabiany ma-

teriał i działające na niego w niektórych wypadkach chemicznie przepływają między trzonem pieca a jego sklepieniem.

Do pieców trzonowych zaliczamy piece do ogrzewania bloków stalowych w walcowniach i kuźniach, piece donicowe do wytapiania szkła, piece metalurgiczne: pudlarskie i Siemens-Martina, piece szklarskie, wannowe i inne. Piece tego typu ogrzewa się albo paliwem stałym, wtedy posiadają palenisko dostosowane do rodzaju paliwa, umieszczone w jednym końcu pieca trzonowego podobnie jak w piecu pudlarskim lub w niektórych piecach do ogrzewania bloków stalowych, albo paliwem gazowym, które doprowadzane jest do komory pieca przez specjalne kanały (palniki), gdzie spotyka się z powietrzem i ulega spalaniu tak jak w piecu Siemensa i Martina lub w piecach szklarskich.

Gazy spalinowe opuszczające komorę pieców trzonowych w większości przypadków mają wysoką temperaturę. Dla odzyskania przynajmniej części ciepła unoszonego przez nie, piece trzonowe posiadają specjalne urządzenia, najczęściej *regeneratory*, np. piece szklarskie lub piec Siemensa i Martina, rzadziej *rekuperatory*, jak niektóre piece do ogrzewania bloków stalowych, w których obniża się temperaturę spalin, a pobrane ciepło zużywa się na ogrzewanie powietrza i gazów palnych doprowadzanych do pieca.

Z wymienionych powyżej pieców trzonowych zapoznamy się bardziej szczegółowo z **piecami szklarskimi**.

Szkieł (w szerokim tego słowa znaczeniu) nazywamy stop skrzepnięty przy oziębianiu bez krystalizacji; jest to więc ciało bezpostaciowe. Przy ogrzewaniu stopniowo w szerokim zakresie temperatur przechodzi ono ze stanu stałego, sztywnego, w stan ciekły. Początkowo robi się plastyczne, zachowując się jak ciecz o dużej lepkości, następnie w miarę wzrostu temperatury lepkość jego maleje, wreszcie otrzymuje się szkło całkowicie roztopione, łatwo płynne.

Głównymi składnikami produkowanych szkieł są SiO_2 , Na_2O , K_2O , CaO , BaO , ZnO , Al_2O_3 i PbO . Ze składników tych krzemionka (SiO_2) wchodzi w skład wszystkich szkieł, pozostałe zaś składniki — w zależności od rodzaju i przeznaczenia szkła, przy czym zwykle oprócz krzemionki szkła zawierają jeszcze przynajmniej dwa inne składniki. Najczęściej spotyka się szkła sodowo-wapniowe; normalne szkło tego typu zawiera około 75% SiO_2 ,

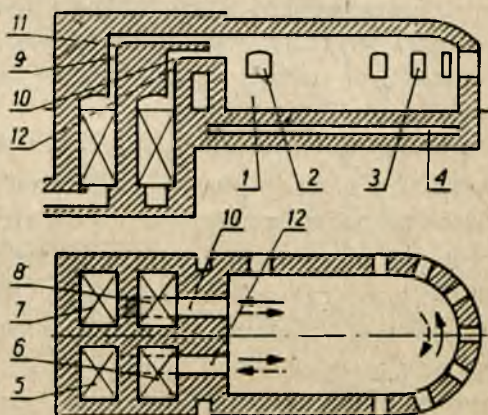
13% Na_2O i 12% CaO . Szlachetniejsze są szkła potasowo-ołowiane posiadające stosunkowo duży współczynnik załamania światła (np. dla szkła zawierającego 14% K_2O i 25% PbO współczynnik załamania światła wynosi 1,55).

Oczywiście surowce wprowadzone do pieca szklarskiego powinny zawierać składniki niezbędne dla produkowanego gatunku szkła. Podstawowym surowcem zawierającym SiO_2 jest czysty piasek, jak najmniej zanieczyszczony tlenkami żelaza, które zabarwiają szkło na zielono. Surowcami, w których znajdują się sód, wapń, potas i ołów, są siarczan sodowy (Na_2SO_4), wapnienie (najlepiej szpat wapienny wolny od domieszek żelaza lub kreda), węglan potasowy (K_2CO_3) i minia (Pb_3O_4). Oprócz powyższych surowców w zależności od składu i rodzaju produkowanego szkła stosowane są również inne surowce, a poza tym — stłuczki szklane dla ułatwienia topienia

się, substancje odbarwiająca i klarująca. Zadaniem substancji odbarwiających jest usunięcie zielonego zabarwienia spowodowanego obecnością żelaza lub zabarwienia żółtego powstałego wskutek obecności siarczku sodowego (Na_2S) natomiast substancje klarujące, głównie trójtlenek arsenu (As_2O_3), usuwają drobne pęcherzyki gazu i ułatwiają dobre wymieszanie stopionej masy w piecu.

Piec szklarski

wanny przedstawiony jest schematycznie na rys. 50. Trzon tego pieca ma kształt dużej, ale stosunkowo płytkiej wanny o szerokości od 3 do 5 m, długości do 20 m, głębokości od 0,8 do 1,4 m. Dno tej wanny zwykle wykonuje się z grubych płyt szamotowych, ściany zaś do wysokości nieco przekraczającej poziom szkła w wannie — z bloków



Rys. 50. Piec szklarski wanny: 1 — wanna, 2 — okno do ładowania, 3 — okna robocze, 4 — kanał do studzenia dna, 5, 6, 7, 8 — regeneratory 9, 10, 11 i 12 — kanały

szamotowych, powyżej zaś — z cegieł krzemionkowych (dynasowych), z których również sporządza się sklepienie. W ścianach pieca, powyżej poziomu szkła, znajdują się otwory 2 zamykane drzwiczkami do ładowania surowców i otwory 3 do pobierania gotowego szkła przeznaczonego do przerobu. Pod wanną znajdują się kanały 4, którymi przepływa zasysane przez komin zimne powietrze studzące jej dno, przez co przedłuża się okres użytkowania pieca.

Odpowiednio przygotowana mieszanina surowców przez otwór wsadowy wprowadzana jest porcjami do pieca, w którym znajduje się roztopiona masa szklana. Tam płynąc z nią powoli w kierunku otworów roboczych ogrzewa się, stapia i przepływając przez strefę o najwyższej temperaturze (ponad 1500°C) miesza się i klaruje. Następnie jako jednorodna masa szkła pozbawiona pęcherzyków gazów dostaje się do części pieca z otworami roboczymi, gdzie panuje nieco niższa temperatura, gdyż nie dochodzi do niej płomień; wskutek tego zwiększa się lepkość masy (bardzo płynna masa nie nadaje się do obróbki), którą przez otwory robocze 3 wybiera się do przerobu.

Piec ogrzewany jest gazem generatorowym. Spalanie zachodzi wewnątrz komory piecowej nad powierzchnią roztopionego szkła. Zarówno paliwo gazowe, jak i powietrze przed wejściem do komory pieca przepływają przez regeneratory 5 i 6, gdzie ogrzewają się do temperatury kilkuset stopni Celsjusza i gorące, z dość dużą prędkością, kanałami 9 i 10 wchodzi do komory piecowej. Tam spotykają się ze sobą i spalają się długim płomieniem. Gazy spalinowe opuszczają komorę pieca kanałami 11 i 12, przepływają przez regeneratory 7 i 8, gdzie oddają część zawartego w nich ciepła, i uchodzą do komina. Taki przepływ gazów w piecu trwa zwykle od 20 do 30 minut, po upływie tego okresu czasu kierunek gazów zmienia się na przeciwny: gaz generatorowy i powietrze wchodzi do komory pieca przez kanały 11 i 12, a opuszczają ją kanałami 9 i 10.

Regeneratory są to komory wypełnione cegłą ogniotrwałą, ułożoną w taki sposób, że pomiędzy cegłami mogą swobodnie przepływać gazy. Przez pewien okres czasu (zwykle od 20 do 30 minut) przepływają przez regeneratorski z góry na dół gorące gazy spalino-

we, które stykając się z cegłami oddają im swoje ciepło, a same stygną. Gdy wypełnienie regeneratora ogrzeje się odpowiednio i gazy spalinowe nie mogą się już ochłodzić, przerywa się ich dopływ do regeneratora i wprowadza od dołu powietrze lub paliwo gazowe, które trzeba ogrzać. Przepływa ono przez regeneratory z dołu do góry, ogrzewa się studząc cegły i wchodzi do komory pieca mając dość wysoką temperaturę.

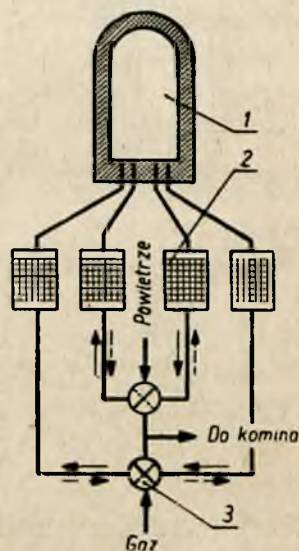
Wobec tego, że regeneratory pracują okresowo, piec powinien posiadać dwa regeneratory wówczas, gdy ogrzewane jest tylko powietrze, lub cztery regeneratory gdy oprócz powietrza (jak w omawianym piecu szklarskim) ogrzewane jest również paliwo gazowe. Na rys. 51 podany jest schemat połączeń regeneratorów z piecem i kominem przy przepływie gazów w jednym i drugim kierunku. Zmianę kierunku osiąga się przez przestawienie specjalnych zaworów kierujących gaz palny, powietrze i spalinowy do właściwych kanałów.

Regeneratory stosowane w piecach przemysłowych spełniają dwa bardzo ważne zadania. Jedno z nich, omówione częściowo na początku niniejszego paragrafu, polega na pobieraniu ciepła z opuszczających piec gazów spalinowych i przekazywaniu go wchodzącemu do pieca powietrzu i paliwu gazowemu, przez co straty kominowe i zużycie paliwa zmniejsza się, a sprawność cieplna pieca zwiększa się.

Drugim zadaniem spełnianym przez regeneratory jest podwyższenie temperatury procesu spalania w piecu. Jak wynika ze wzoru [15] na teoretyczną temperaturę spalania

$$t_i = \frac{W}{(1 + L) c_{p,sp}} + t_0$$

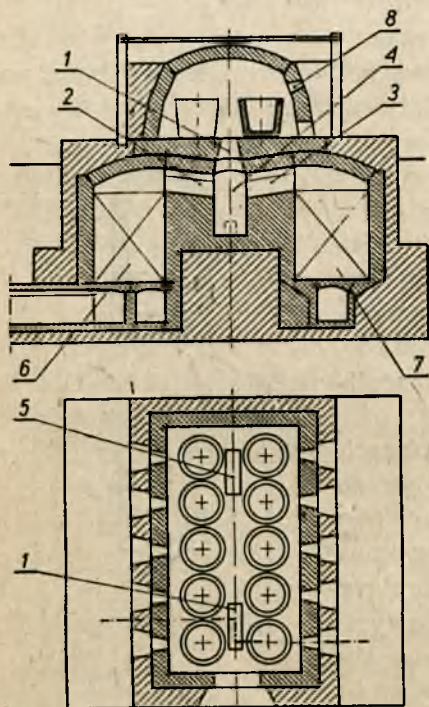
zależy ona, od temperatury t_0 , którą ma powietrze i gazy palne



Rys. 51. Schemat połączeń regeneratorów: 1 — piec, 2 — regeneratory, 3 — zawory rozrządowe

przed rozpoczęciem procesu spalania. Bez ogrzania w regeneratorach paliwa gazowego i powietrza o kilkaset stopni nie można by osiągnąć w piecu potrzebnej wysokiej temperatury.

Piece wannowe stosowane są w tych wypadkach, gdy chodzi o masową, ciągłą produkcję (przy użyciu odpowiednich maszyn) wyrobów ze szkła jednego gatunku. Przy produkowaniu wyrobów



Rys. 52. Piec szklarski donicowy:
1 i 5 — palniki, 2 i 3 — kanały powietrzny i gazowy, 4 — komora przed palnikami, 6 i 7 — regeneratory, 8 — otwory robocze

ze szkła o specjalnych właściwościach stosowane są piece donicowe, które umożliwiają wyrób jednocześnie kilku gatunków szkła. Jeden z takich pieców przedstawiony jest na rys. 52. Trzon tego pieca i ściany boczne zbudowane są z cegły szamotowej, sklepienie zaś, podobnie jak w piecu wannowym — z cegły dynasowej. W tym piecu pod trzonem znajdują się kanały (nie zaznaczone na rysunku) do chłodzenia go powietrzem.

Na trzonie, wewnątrz pieca, znajdują się donice, a na przeciw każdej z nich w ścianie bocznej pieca — otwory robocze, przez które pobierane jest z donic szkło do przerobu. Donice wprowadzane są do pieca przez otwór wsadowy znajdujący się w jednej z jego krótszych ścian.

Po rozpoczęciu pracy pieca, gdy odpowiednio przygotowana mieszanina surowców w donicach osiągnie temperaturę 600—700°C, zaczynają w nich zachodzić reakcje chemiczne jeszcze przed stopieniem się materiału. Powyżej 1000°C reakcje przebiegają szybko, tworzą się krzemiany wapnia i sodu, które z nadmiarem krzemionki tworzą roztwory.

Palniki 1 i 5, przez które na przemian doprowadzana jest mieszanka palna, znajdują się w trzonie pieca. Gaz generatorowy i powietrze po przejściu przez regeneratory, w pewnym okresie czasu kanałami 2 i 3, dostają się do komory 4, gdzie następuje ich zmieszanie. Następnie gazy te spalają się w palniku 1 i unoszą do góry. Gazy spalinowe przepływają pomiędzy donicami w drugi koniec pieca i opadając dostają się do palnika 5, a stamtąd — do drugiej pary regeneratorów, gdzie oddają ciepło cegle wypełniającej te regeneratory i uchodzą do komina. W następnym okresie czasu kierunek gazów jest odwrotny. Płyną one wtedy w piecu od palnika 5 do 1.

Gdy materiał w donicy jest dokładnie stopiony i dobrze sklarowany, zaczyna się pobieranie szkła do przerobu. Aby uniknąć zanieczyszczeń, które pływają po jego powierzchni, do donicy wkłada się szmatowy pływający pierścień, wewnątrz którego pobiera się wolną od zanieczyszczeń roztopioną masę szklaną.

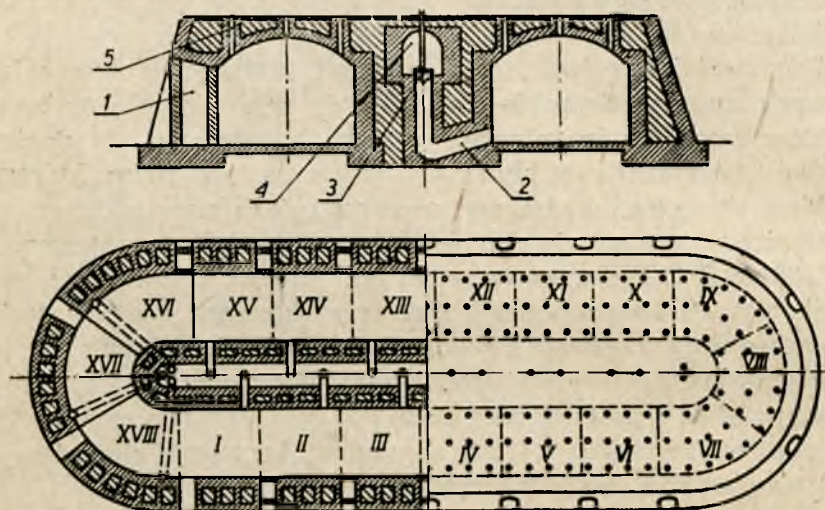
Donice są to naczynia okrągłe lub czasem owalne, o pojemności od 300 do 1000 litrów, otwarte lub przy produkcji niektórych gatunków szkła zaopatrzone w pokrywy chroniące ich zawartość od szkodliwego wpływu redukującego płomienia. Wypala się je podobnie jak inne wyroby szmatowe z gliny ogniotrwałej zmieszanej z gliną wypaloną, przy czym dodaje się drobno zmielonych skorup ze starych donic, które ze względu na wysoki stopień wypalenia stanowią cenny materiał.

27. Piece kręgowe i komorowe

Piece kręgowe i komorowe stosowane są do wypalania cegieł budowlanych, drogowych (klinkier) i ogniotrwałych, dachówek, sączków, rur kamionkowych, różnego rodzaju innych wyrobów ceramicznych oraz do wypalania wapna i innych materiałów. Bywają one jednokomorowe, dwukomorowe lub bliźniacze i wielokomorowe, do których należą piece Hoffmana, Mendheima, Adamieckiego, Gruma-Grzymajły i inne. Piece jedno- i dwukomorowe, zużywające dużo paliwa i posiadające stosunkowo małą wydajność, stosowane są obecnie wyjątkowo tylko w niewielkich zakładach przemysłowych. Bardziej ekonomiczne z punktu widzenia zużycia ciepła są piece wielokomorowe. Najstarszy z nich, który

był prototypem innych poprzednio wymienionych pieców wielokomorowych, jest piec Hoffmana. Wprowadzenie w roku 1857 pieca pierścieniowego (pomysłu Hoffmana) do wypalania cegieł spowodowało przewrót w cegielnictwie. Od tego czasu piec ten zmieniony i ulepszony stosowany jest dotychczas w małych, średnich i czasami w dużych cegielniach jako tzw. piec kręgowy.

Piec kręgowy przedstawiony jest na rys. 53. Jak widać z rysunku, piec ten ma kształt wydłużonego owalnego kanału szerokości od 2,5 do 4 m i wysokości od 2,2 do 2,8 m. Kanał ten pa-



Rys. 53. Piec kręgowy: 1 — otwór do ładowania, 2 — przewody dymowe, 3 — zawór dzwonowy, 4 — główny kanał dymowy, 5 — otwory do zasilania paliwem, I — XVIII komory

pierowymi przegrodami, (przegrody w odpowiednich temperaturach spalają się) umieszczonymi w odstępach od 5 do 7 m podzielony jest na komory, których ilość wynosi od 16 do 24. W każdej komorze znajduje się otwór do jej napełniania i opróżniania oraz przewód zamykany specjalnym dzwonem, do odprowadzenia gazów spalinowych do wspólnego kanału dymowego, z którego uchodzą one do komina. Furta normalnie jest zamurowana. Odmurówuje się ją tylko na okres potrzebny do wyładowania cegły wypalanej i załadowania świeżej. W sklepieniu komór pieca w odstępach co 1—1,2 m wzdłuż jego osi znajdują się otwory (czeluście)

o średnicy od 150 do 200 mm, zaopatrzone w pokrywy, przez które doprowadza się do pieca paliwo.

Piec przedstawiony na rys. 53 posiada 18 komór, z których pierwsze siedem zawierają cegłę wypaloną, w komorze VIII utrzymuje się ogień; w komorze tej odbywa się wypalanie, a w następnych ośmiu komorach (od IX do XVI) znajduje się cegła niewypalona. Z komory XVIII wyładowuje się cegłę wypaloną i ostudzoną, a do komory XVII ładuje się cegłę świeżą.

Furta w komorze I jest odmurowana, przez nią dostaje się do pieca powietrze (dopływa ono również przez komorę XVIII) przepływa między cegłami przez komory I—VII, studzi je, a samo ogrzewa się do temperatury około 300°C i przechodzi do komory ogniowej VIII. W komorze tej odbywa się spalanie paliwa doprowadzonego przez otwory w sklepieniu pieca, wskutek czego panuje tam potrzebna do wypalania cegieł wysoka temperatura, wynosząca około 1000°C, a nawet wyższa w zależności od gatunku wypalanych cegieł.

Paliwo w piecu kręgowym, doprowadzane przez czeluście w sklepieniu komory ogniowej pieca, spala się pomiędzy cegłami lub innymi wyrobami wypalonymi w piecu. Aby stworzyć warunki odpowiednie dla procesu spalania, cegły układa się pod czeluściami w odpowiedni sposób.

Gazy spalinowe opuszczające komorę ogniową płyną pomiędzy cegłami w komorach przedogniowych, ogrzewają je i dostają się do komina poprzez otwarty kanał łączący komorę XV z głównym kanałem dymowym.

Po pewnym czasie zależnie od szybkości procesu wypalania (np. po upływie 12, 18 lub 24 godzin), gdy cegły w komorze ogniowej zostaną wypalone, doprowadzenie paliwa do tej komory przerywa się, natomiast zasila się komorę IX, która z kolei staje się komorą ogniową. Jednocześnie otwiera się kanał łączący komorę XVI z głównym kanałem dymowym i zamyka kanał łączący z nim komorę XV. Gazy spalinowe po przepaleniu przegrody papierowej, oddzielającej komorę XV od XVI, uchodzą do komina poprzez komorę XVI i kanał łączący ją z głównym kanałem dymowym.

Gdy ładowanie komory XVII jest ukończone, zamurowuje się jej furtę świeżą cegłą i ładuje się opróżnioną już komorę XVIII (po oddzieleniu jej od komory I przegrodą papierową). Jednocze-

śnie odbija się furtę komory II, przez którą wchodzi teraz do pieca powietrze, a wyładowuje komorę I. Gdy wypalanie cegieł w komorze IX jest ukończone, ogień przenosi się do komory X itd.

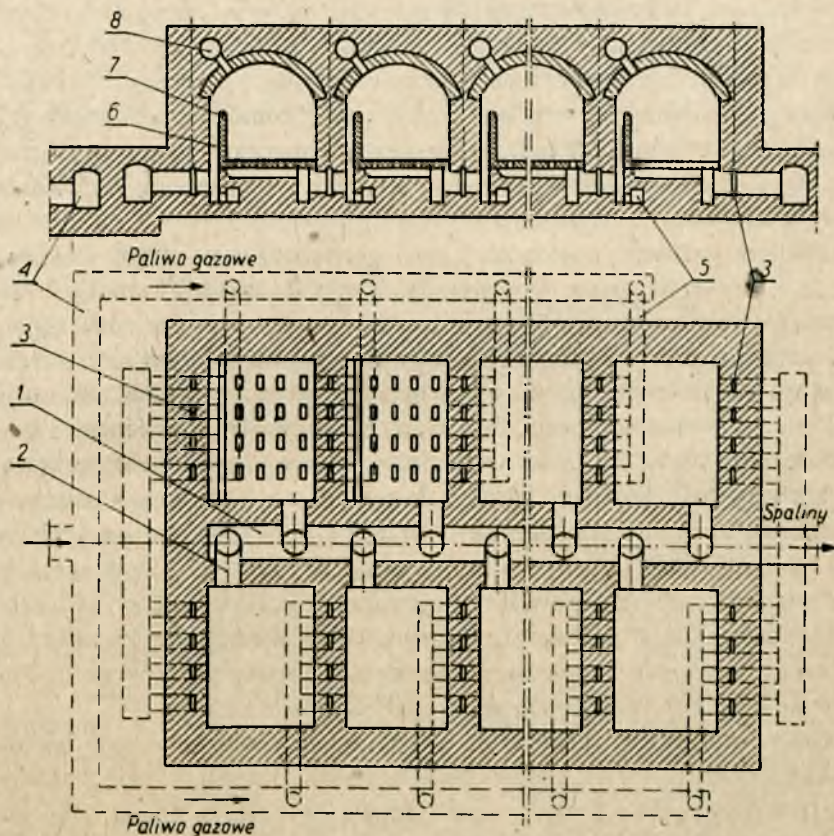
W ten sposób co pewien okres czasu ogień przesuwa się z jednej komory do drugiej zależnie od szybkości procesu wypalania oraz od intensywności zasilania pieca paliwem. W cegielniach czas ten wynosi zwykle od 12 do 24 godzin. W rozpatrywanym więc piecu materiał wypalony jest nieruchomy, przesuwa się natomiast ogień. Zasadniczo odbywa się w nim dobra regeneracja ciepła zawartego w gazach odlotowych i w materiale wypalonym. Stopniowe suszenie i ogrzewanie materiału przed właściwym procesem wypalania oraz stopniowe studzenie materiału wypalonego wpływa dodatkowo na jakość wyrobów. Cegły, dachówki, sączki i inne wyroby ceramiki czerwonej, wypalane w piecach kręgowych, dają mały stosunkowo procent braków wskutek popękania lub spaczenia.

Piece kręgowe dawniej były stosowane do wypalania wapna. Otrzymywano w nich wapno w dużych kawałach, prawie nie zawierające pyłu, którego w piecach szybowych w związku z obsuwaniem się materiału uniknąć nie można. Obecnie wskutek większego niż w piecach szybowych (prawie o 50%) zużycia paliwa i dość uciążliwej obsługi piece tego typu nie są stosowane do wypalania wapna.

Zaletą pieców kręgowych jest możliwość wykorzystania w nich każdego rodzaju paliwa. Nadają się one do różnych gatunków węgla kamiennego i brunatnego oraz do paliwa gazowego. Zużycie paliwa w nich jest dość duże ze względu na znaczne straty ciepłne przez promieniowanie i w żużlu oraz ze względu na zasysanie zimnego powietrza przez otwory. Ilość paliwa zużywanego na wypalenie 1000 cegieł o wymiarach $270 \times 130 \times 60$ mm zawiera się w granicach od 150 do 200 kg węgla o wartości opałowej $W = 7000$ kcal.

Wadą pieców kręgowych jest nierównomierny rozkład temperatur w przekroju poprzecznym komory (kanału). Gorące gazy spalinowe płyną przez komory przedogniowe przeważnie górą, a zimne powietrze studząc wypalone wyroby w komorach poogniowych — głównie dołem. Wywiera to ujemny wpływ na pracę pieca, przedłuża czas przebywania w nim materiału i zmusza do budowy pieców dłuższych o większej ilości komór.

Nowszymi piecami o większej sprawności cieplnej, ale bardziej skomplikowanymi, są piece wielokomorowe Mendheima. Adamieckiego, Gruma-Grzymajły i inne; w piecach tych przegrody papierowe pomiędzy komorami zastąpiono ścianami murowanymi.



Rys. 54. Piec Mendheima: 1 — główny kanał dymowy, 2 — kanały dymowe, 3 — zasuwa, 4 i 5 — kanały gazowe, 6 — kanał pionowy, 7 — parawan, 8 — kanał do gorącego powietrza

W większości wypadków ogrzewa się je paliwem gazowym. Piec Mendheima, przedstawiony na rys. 54, jest najstarszym z nich. Inne piece są jego udoskonaleniami.

Piec komorowy Mendheima posiada od 8 do 24 komór przy czym komory te o długości od 4 do 6 m, szerokości od 2 do 3 m i wysokości od 2,2 do 3 m znajdują się po obu stronach

kanału dymowego 1, z którym każda komora łączy się za pośrednictwem kanału 2 zamykanego dzwonem, podobnie jak w piecu kręgowym.

Posadzka komory jest ażurowa. Pod nią znajdują się kanały, którymi każda komora łączy się z następną, wówczas gdy podniesiona jest zasuwa 3. Opuszczając zasuwy możemy przerwać połączenie pomiędzy komorami. Normalnie podczas pracy wszystkie zasuwy zarówno komory ogniowej, jak i komór przedogniowych i poogniowych są podniesione. Przez opuszczenie zasuwy wyłączone są z ruchu tylko komory, w których odbywa się ładowanie i wyładowywanie materiału.

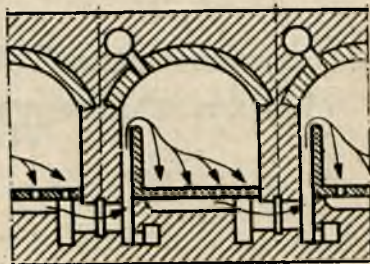
Paliwo gazowe, najczęściej gaz generatorowy, doprowadzane jest na zewnątrz pieca. Doprowadza się je do każdej komory z kanału 4 poprzez kanały 5, zaopatrzone w odpowiednie zamknięcia do przerywania lub uruchamiania przepływu paliwa. Powietrze dostaje się do pieca przez otwartą furtkę komory, która sąsiaduje z komorą wyładowywaną, studzi w niej wyroby i przepływa kanałami pod posadzką do komory następnej, gdzie dalej się ogrzewa. Z komory tej powietrze ponownie przedostaje się przez ażurową posadzkę do komory następnej i przepływając podobnie z komory do komory studzi wyroby w komorach zaogniowych. Przy wejściu do komory ogniowej powietrze ogrzane do kilkuset stopni Celsjusza spotyka się z paliwem gazowym doprowadzanym kanałem 5, miesza się z nim i zapala w dolnej części kanału pionowego 6. Parawan 7 kieruje palące się gazy pod sklepienie pieca.

Gazy spalinowe ogrzewając wypalane wyroby obniżają swoją temperaturę, wskutek czego opadają na dół, kanałami pod posadzką przepływają do komory następnej i ogrzewają znajdujące się w niej wyroby. Z komory tej w taki sam sposób przepływają one przez ażurową posadzkę pod sklepienie następnej z kolei komory i płynąc podobnie z komory do komory ogrzewają wyroby w komorach przedogniowych, a same ochładzają się. Gazy spalinowe zwykle z ostatniej albo z przedostatniej komory przedogniowej przez otwarty kanał 2, którym połączona jest ta komora z głównym kanałem dymowym, doprowadzane są do komina.

Gazy te zawierają dość dużo pary wodnej, która w postaci rosy może osiąść na zimnych wyrobach znajdujących się w świeżo włączonyj do obiegu ostatniej komorze przedogniowej, co wpływa

ujemnie na jakość tych wyrobów. Aby uniknąć skraplania się pary na wyrobach w niektórych piecach komorowych i kręgowych, w jednej lub dwu ostatnich komorach stosuje się ogrzewanie wyrobów do temperatury od 70 do 100°C gorącym powietrzem, pobieranym z odpowiedniej komory zaogniowej. W tym celu piece te mają specjalne kanały (w piecu Mendheima kanał 8), którymi gorące powietrze przepływa z komory, z której jest pobierane, do ostatniej włączonej komory przedogniowej, gdzie odbywa się suszenie.

Gazy spalinowe w komorach pieca Mendheima mają bieg naturalny, gdyż w miarę stygnięcia opadają w dół, natomiast powietrze studzące, które ogrzewa się od wypalonych wyrobów, ma bieg nienaturalny, gdyż również uchodzi dołem. Wskutek tego warunki studzenia wyrobów w komorach są nieprawidłowe, zimne powietrze szybko opada w dół, jak przedstawiono schematycznie na rys. 55, wskutek czego w górnych częściach komór powstają martwe przestrzenie o bardzo powolnym studzeniu. Przedłuża to pracę pieca i zmniejsza jego wydajność.



Rys. 55. Schemat studzenia w piecu Mendheima

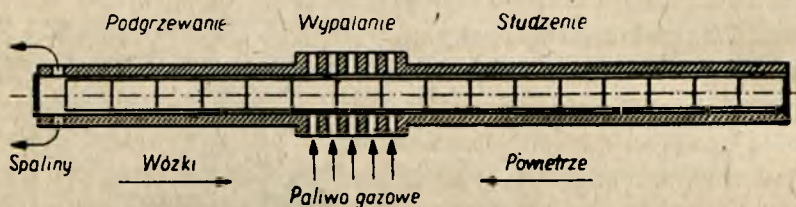
Inż. Adamiecki, późniejszy profesor Politechniki Warszawskiej, przed pierwszą wojną światową ulepszył konstrukcję pieca Mendheima doprowadzając zimne powietrze do komór zaogniowych dołem, a odprowadzając je górną przez specjalne pionowe kanały, które znajdują się w ścianach, oddzielających komory od siebie. Piec systemu Adamieckiego posiadał dość dużo zasuw, co utrudniało jego obsługę. W kilka lat później prof. Grum-Grzymajło, znany rosyjski specjalista i konstruktor pieców, udoskonalił konstrukcję pieca Adamieckiego usuwając zasuwę. Obecnie piece Grum-Grzymajły dość często znajdują zastosowanie w ZSRR.

Przy dużej produkcji, przekraczającej wydajność jednego pieca, zamiast dwu samodzielnych pieców Mendheima lub dwu pieców kręgowych stosowany jest piec o dużej ilości komór, który posiada dwie lub nawet trzy komory ogniowe oddzielone od siebie ko-

morami przedogniowymi i zaogniowymi. Oczywiście wydajność jego wzrasta dwukrotnie lub trzykrotnie, natomiast zużycie paliwa i koszty budowy przypadające na jednostkę przerobu (np. na 1000 cegieł) są mniejsze.

28. Piece tunelowe

W piecach tunelowych w przeciwieństwie do pieców kręgowych i komorowych ogień jest stały, natomiast materiał wypalany porusza się na wózkach. Piec tunelowy (rys. 56) jest to kanał długości od 60 do 160 m, szerokości od 1,5 do 3 m i wysokości od 1,5 do 2,8 m, wewnątrz którego na szynach przesuwają się wózki długości do 3 m, napełnione ułożonym na nich materiałem.



Rys. 56. Schemat pieca tunelowego

Pierwotnie piece tunelowe były ogrzewane paliwem stałym, przy czym było ono doprowadzane do pieca przez otwory znajdujące się w jego sklepieniu, tak jak w rozpatrywanym poprzednio piecu kręgowym. Obecnie piece tego typu prawie zawsze opalane są paliwem gazowym, najczęściej — gazem generatorowym.

W każdym piecu tunelowym są trzy strefy: podgrzewania, wypalania i studzenia. Długości poszczególnych stref nie są jednakowe. Strefa podgrzewania posiada taką długość, aby gazy spalinowe zdążyły się ochłodzić do temp. 150—300°C. Długość strefy wypalania zależy od czasu potrzebnego na to, aby w materiale wypalnym pod wpływem wysokiej temperatury panującej w tej strefie zaszły właściwe reakcje i przemiany fizykochemiczne. Co się zaś tyczy strefy chłodzenia, to jej długość powinna być tak dobrana, aby wychodzące z pieca wyroby były dostatecznie ochłodzone, czyli temperatura ich wynosiła kilkadziesiąt stopni.

Działanie pieca oparte jest na ruchu powietrza i gazów spalinowych w kierunku przeciwnym ruchowi wypalonego materiału (za-

sada przeciwprądu). Wózki z ułożonym w odpowiedni sposób materiałem wprowadzane są do pieca z jednego końca tunelu w jednakowych odstępach czasu, zależnych od długości pieca i warunków wypalania wyrobów. Jednocześnie cały pociąg przesuwany jest wewnątrz pieca za pomocą specjalnego mechanizmu na odległość równą długości jednego wózka, a z drugiego końca tunelu wyciągany jest wózek z materiałem wypalonym i ostudzonym.

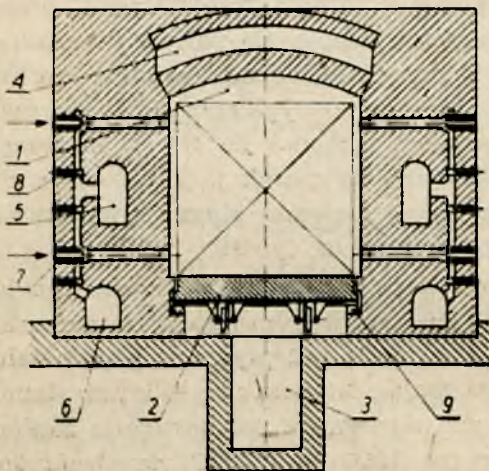
Materiał wprowadzony do pieca w miarę przesuwania się w głąb tunelu spotyka coraz gorętsze gazy spalinowe, ogrzewa się i wchodzi do strefy wypalania posiadając temperaturę kilkuset stopni Celsjusza. W strefie tej wskutek spalania się paliwa utrzymuje się potrzebna temperatura i w materiale zachodzą właściwe przemiany charakterystyczne dla procesów wypalania. Po opuszczeniu tej strefy wózki z materiałem wchodzi do strefy studzenia i w miarę przesuwania się do przodu spotykają się z coraz zimniejszym powietrzem, ogrzewają go, a same stygną i opuszczają piec mając stosunkowo niską temperaturę (poniżej 80°C).

Powietrze wprowadzone do pieca w przeciwnym końcu tunelu niż wózki, przepływając pomiędzy wypalonym i gorącym materiałem, coraz silniej się ogrzewa w miarę przepływu w głąb tunelu i wchodzi w strefę wypalania mając temperaturę kilkuset stopni Celsjusza. Tam styka się z paliwem gazowym, następuje zapłon i temperatura osiąga poziom (od 1000 do 1500°C) zapewniający dobre wypalenie materiału.

Gazy spalinowe po wyjściu ze strefy wypalania płyną wzdłuż tunelu pomiędzy materiałem leżącym na wózkach, ogrzewają go, a same stygną i opuszczają piec posiadając stosunkowo niską temperaturę (od 100 do 250°C).

Piece tunelowe w dobrze prowadzonych zakładach pracują przez dwa — trzy lata bez żadnych przerw, toteż poza umiejętną i sumienną obsługą duże znaczenie ma bardzo staranne jego wykonanie z odpowiednich materiałów. Dla strefy wypalania ze względu na wysoką temperaturę stosowane są cegły szamotowe najlepszego gatunku oraz cegły dynasowe. Inne części pieca mogą być wykonane z materiałów nieco tańszych. Ze względu na zmniejszenie strat ciepła wskutek przewodnictwa ściany pieca w strefie wypalania są grubsze niż w innych jego częściach.

Wózki pieców tunelowych wykonywane są ze stali, przy czym dla zabezpieczenia ich przed działaniem wysokiej temperatury pomost wózków, na którym układane są wypalane materiały, ma wyłożenie szamotowe grubości od 300 do 400 mm. Wózki powinny szczelnie do siebie przylegać, aby gorące gazy spalinowe nie mogły się przedostać do kanału pod wózkami. Uszczelnienie wzdłuż ścian tunelów osiąga się za pomocą piasku. W tym celu, jak widać na rys. 57, boki wózków zaopatrzone są w fartuchy z blach stalowych, które zanurzone są w bardzo drobnym piasku w ryn-



Rys. 57. Przekrój poprzeczny pieca tunelowego: 1 — tunel, 2 — wózek, 3 — kanał pod wózkami, 4 — kanał do chłodzenia sklepienia, 5 i 6 — kanały powietrzne, 7 — palnik, 8 — zasuwa, 9 — uszczelnienie piaskowe

nach znajdujących się wzdłuż ścian tunelu. Kanał znajdujący się w fundamencie pieca pod wózkami przeznaczony jest do tego, aby można było dostać się pod ich podwozie w celu obsługi ruchomych części wózków (smarowanie łożysk).

Nowoczesne piece tunelowe są najodpowiedniejszymi piecami do wypalania wyrobów ceramicznych, szczególnie wyrobów z materiałów ogniotrwałych. Zaletami ich są: 1) małe zużycie paliwa i duża sprawność cieplna, 2) długotrwała praca bez

przerw (od dwóch do trzech lat), 3) prosta i łatwa obsługa, 4) higieniczne w porównaniu z innymi piecami ceramicznymi warunki pracy i 5) możliwość zastosowania całkowitej automatyzacji procesu wypalania. Największą ich wadą są duże koszty inwestycyjne. Szczególnie kosztowny jest tabor wózków, których mieści się w piecu (w zależności od jego długości) od 50 do 60 sztuk, a poza tym powinny być wózki dodatkowe do ładowania i wyładowywania wypalonego materiału.

29. Piece obrotowe

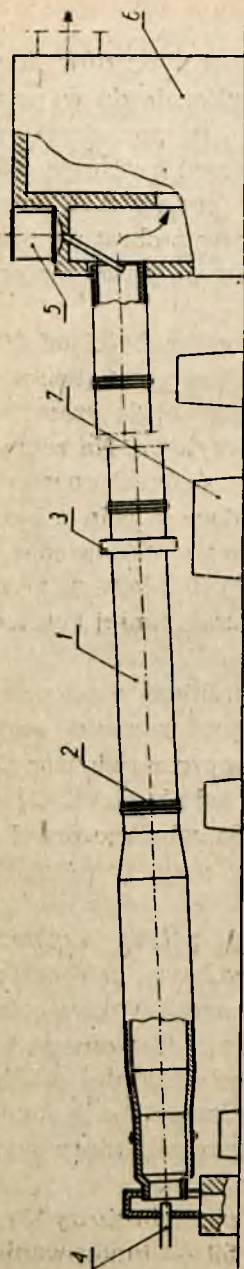
Piece obrotowe stosowane są do spalania pirytów, do wypalania szamotu, magnezytów, dolomitu, a głównie do wypalania cementu. Są to bębny o średnicy od 2 do 3,6 m, posiadające długość od 30 do 160 m, pochylone do poziomu pod kątem od 2,5 do 4°. Piece te z zewnątrz mają kształt długich rur i z tego powodu noszą również nazwę pieców rurowych; ponieważ obracają się one (z prędkością od 0,25 do 1,5 obr/min), nazywa się je więc piecami obrotowymi.

Śluz bębna wykonany z blachy stalowej grubości od 10 do 20 mm, nitowany lub spawany, obmurowany jest wewnątrz, w częściach pieca gdzie panuje niższa temperatura, cegłą szamotową, a w strefie wypalania — cegłą chromomagnezytową. Na zewnątrz posiada on bandaże, którymi bęben opiera się na rolkach oporowych, wykonanych ze stali mniej twardej niż bandaże w celu zabezpieczenia ich od prędkiego zużycia. Wskutek tego rolki prędzej się zcierają i co pewien okres czasu (mniej więcej co 2 lata) są wymieniane, ale wymiana ich jest znacznie łatwiejsza i mniej kosztowna niż wymiana bandaży.

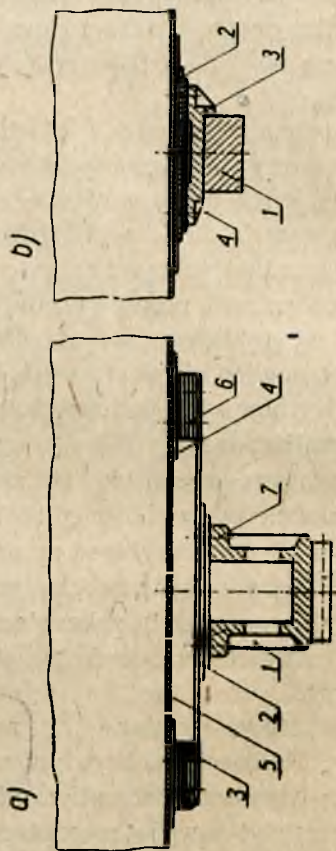
Piece obrotowe poruszane są zwykle silnikiem elektrycznym o mocy (zależnie od wielkości pieca) od kilkudziesięciu do stu kilkudziesięciu kilowatów. Napęd przenosi się poprzez reduktor obrotów na koło zębate osadzone elastycznie na bębnie pieca. Osadzenie elastyczne ma na celu zabezpieczenie koła zębatego przed rozsadzeniem wskutek rozszerzenia się bębna przy wzroście jego temperatury.

Piece obrotowe opalane są najczęściej pyłem węglowym. W Związku Radzieckim, bogatym w ropę naftową, w niektórych wypadkach używane jest paliwo płynne (mazut). Paliwo gazowe stosowane jest tylko wyjątkowo. Gazy spalinowe usuwane są z pieca przez komin, którego wysokość w piecach średniej wielkości w przybliżeniu jest równa długości pieca. Czasami ciąg kominowy bywa uzupełniany wentylatorem wyciągowym, który wysysa gazy z pieca i tłoczy do komina.

Na rys. 58 przedstawiono schematycznie piec obrotowy do wypalania cementu portlandzkiego, a na rys. 59 — umocowanie na bębnie bandaży i koła zębatego.



Rys. 58. Schemat pieca obrotowego: 1 — rura pieca, 2 — bandaże, 3 — koło zębate, 4 — palnik, 5 — zbiornik ze szlamem, 6 — komora pyłowa, 7 — fundamenty



Rys. 59. Koło zębate i bandaże na piecu obrotowym: a) 1 — koło zębate, 2 — sprężyny piaskie, 3 — słupki, 4 — nakładki, 5 — płaszcz pieca, 6 — nity, 7 — śruby, b) 1 — bandaż, 2 — podkładki, 3 — wspornik, 4 — śruby

Cementem portlandzkim nazywamy materiał otrzymany przez silne wypalanie aż do spieczenia starannie przygotowanej i dobrze wymielonej mieszanki wapienia i gliny zawierającej w odpowiednim stosunku CaO , SiO_2 , Al_2O_3 i Fe_2O_3 , i dokładne zmielenie na drobny pył wypalonego materiału.

Przygotowanie mieszanki surowców do wypalania odbywa się na mokro (sposób ten często jest stosowany w Polsce) lub na sucho. Metoda mokra polega na tym, że mielenie i mieszanie surowców odbywa się z dodatkiem wody w ilości do 40%, tak że w rezultacie otrzymuje się jednorodny szlam. Dla zmniejszenia ilości wody zawartej w szlamie przed wprowadzeniem go do pieca, a przez to dla zaoszczędzenia ciepła zużywanego na jej odparowanie stosowane są różne sposoby. Albo wodę odcedza się na filtrach obrotowych, albo usuwa jej nadmiar w specjalnych urządzeniach przez częściowe odparowanie kosztem ciepła gazów odlotowych. Według metody suchej wszystkie czynności są wykonywane „na sucho“.

Przygotowaną mieszankę kieruje się do pieca poprzez zbiorniki, w których reguluje się jej skład; w metodzie suchej, mączkę zwilża się w zbiornikach wodą, aby zapobiec porywaniu jej przez gazy spalinowe. W miarę przesuwania się w głąb pieca mieszanka styka się z coraz gorętszymi gazami spalinowymi, wskutek czego ulega przemianom polegającym na: 1) suszeniu, 2) rozkładzie kaolinitu, głównego składnika gliny, w temperaturze około 500°C , przez co zostaje usunięta chemicznie związana woda, 3) rozkładzie węglanu wapniowego w temperaturze około 900°C , 4) reakcjach chemicznych wapna ze składnikami gliny w temp. od 1000 do 1250°C , 5) reakcjach chemicznych przebiegających pomiędzy składnikami wypalanej mieszanki, połączonych z częściowym topieniem się składników w temp. od 1250 do 1400°C i ostatecznym wypaleniu w temperaturze powyżej 1400°C .

Produkt wypalania otrzymany w postaci twardych, zaokrąglonych kawałków nazywamy klinkierem. Dla otrzymania cementu poddaje się go dokładnemu zmieleniu i dodaje niewielkie ilości gipsu w celu wyregulowania szybkości wiązania cementu; w tej postaci produkt kierowany jest do sprzedaży.

Jak widać z rys. 58, szlam doprowadzany jest do górnego końca pieca. Wskutek pochylego ustawienia i ruchu obrotowego pieca

przesuwa się on wewnątrz pod działaniem własnego ciężaru. Jeżeli szlam zawiera zbyt dużo wody, to wewnątrz pieca, w górnym jego końcu, aż do miejsca, gdzie temperatura wynosi około 700°C , rozmieszcza się szereg łańcuchów, które zabezpieczają piec przed zalepianiem się i ułatwiają suszenie szlamu. Wskutek tego temperatura gazów odlotowych obniża się do $100\text{--}150^{\circ}\text{C}$.

Paliwo (pył węglowy) doprowadzane jest do pieca przez palnik w dolnym jego końcu. Rozpylanie odbywa się za pomocą strumienia powietrza wdmuchiwanego przez wentylator. Mieszanina pyłu węglowego i powietrza wchodzi do pieca z dużą prędkością i pali się w nim długim płomieniem (do $10\text{--}12\text{ m}$).

Aby polepszyć warunki ogrzewania materiału w strefie pieca, gdzie panuje najwyższa temperatura (około 1500°C), średnica bębna jest powiększona, wskutek czego czas przebywania wypalonego materiału w tej strefie jest dłuższy, a współczynnik wypełnienia pieca jest mniejszy, co sprzyja przebiegowi procesu wypalania.

Dla prawidłowego przebiegu procesów zachodzących w piecu obrotowym zasilanie go zarówno szlamem w górnym końcu, jak i paliwem w dolnym końcu powinno być równomierne, toteż reguluje się je zwykle za pomocą dozowników, najczęściej ślimakowych, umieszczonych na przewodach zasilających.

Materiał wypalany w piecach obrotowych silnie się ściera, a ilość powstającego przy tym pyłu jest tym większa, im dłuższy jest piec.

Rys. 60. Chłodzenie klinkieru: 1 — piec obrotowy, 2 — palnik, 3 — bębny chłodzące

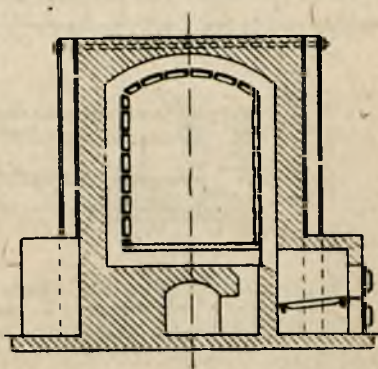
Aby zmniejszyć straty, górny wylot pieca znajduje się w komorze pyłowej, w której osiada większa część pyłu, a gazy spalinowe oczyszczone dość dobrze uchodzą przez komin.

Czasami piece rurowe posiadają urządzenia do chłodzenia wypalonego materiału w celu regeneracji zawartego w nim ciepła. Najczęściej są to otwarte bębny stalowe (rys. 60a), ustawione poniżej dolnego końca pieca pod kątem od 5 do 7°, posiadające własny napęd. Obracają się one z prędkością od 3 do 6 obr/min. Średnica ich jest mniejsza od średnicy pieca mniej więcej o 30%. Powietrze chłodzące po przejściu przez bęben przechodzi do strefy ogniowej pieca już ogrzane jako tzw. powietrze wtórne. Zamiast chłodnicy bębnowej bywają stosowane chłodnice w postaci rur umieszczonych współśrodkowo z bębniem w dolnym końcu pieca. Klinkier spada do tych rur i jest chłodzony przez przepływające przez nie powietrze (rys. 60b).

30. Piece muflowe i piece z atmosferą ochronną

Gdy zachodzi konieczność oddzielenia przerabianych w piecu materiałów od gazów spalinowych w celu zabezpieczenia ich przed szkodliwym działaniem gazów (jak w przypadku wypalania przedmiotów porcelanowych) lub w celu zabezpieczenia gazowych produktów reakcji zachodzących w piecu przed rozcieńczeniem spalinami, (jak w przypadku prażenia blendy cynkowej lub suchej destylacji węgla), stosowane są piece *muflowe* i *retortowe*; jeżeli zaś przedmioty są drobne, to obróbkę cieplną (wypalanie) przeprowadza się w *kapslach*. Dawniej piece muflowe i retortowe były obsługiwane w sposób ręczny, obecnie obsługa ich częściowo, a w niektórych konstrukcjach prawie całkowicie jest zmechanizowana.

Najprostszy piec muflowy przedstawiono na rys. 61. Jest to piec do wypalania wyrobów ceramicznych, umieszczonych wewnątrz mufl. Paleniska w piecach tego rodzaju znajdują się albo z jednej strony pieca, wzdłuż dłuższej jego ściany, albo w przypadku pieców większych — po obu jego stronach. Gazy spalinowe po wyjściu z paleniska opływają muflę ze wszystkich stron i po oddaniu jej ciepła oziębione ucho-

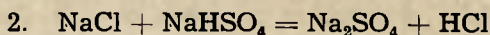
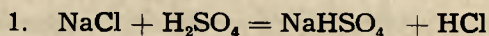


Rys. 61. Piec muflowy

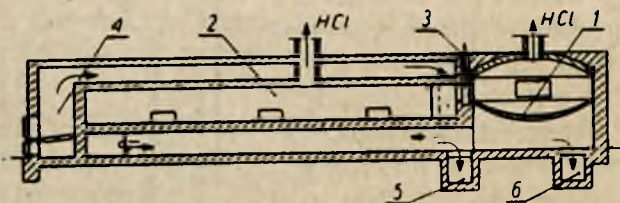
dzą do komina. Przy większej produkcji w Związku Radzieckim do wypalania ceramiki szlachetnej stosowane są piece muflowe typu tunelowego, w których wypalane przedmioty przesuwają się na wózkach wewnątrz mufl. Wyroby porcelanowe, fajansowe itp. wypalane są również w zwykłych piecach komorowych, lecz dla ochrony przed szkodliwym działaniem gazów spalinowych umieszcza się je w skrzynkach ceramicznych z pokrywami, czyli w tzw. kapslach, które pełnią rolę mufl.

W piecach muflowych specjalnej konstrukcji prowadzi się proces otrzymywania siarczanu sodowego (Na_2SO_4) i chlorowodoru (HCl) z soli kuchennej (NaCl) i kwasu siarkowego (H_2SO_4). Siarczan sodowy służy do wyrobu szkła, ultramaryny, siarczku sodowego, szkła wodnego, celulozy siarczanowej i in. Chlorowódor rozpuszczony w wodzie jest kwasem solnym, stosowanym w wielu gałęziach przemysłu chemicznego.

Piece muflowe do otrzymywania chlorowodoru i siarczanu sodowego przedstawione są na rys. 62 i 63. Reakcja otrzymywania siarczanu sodowego zachodzi w dwóch stadiach



Pierwsza reakcja przebiega w stosunkowo niskiej temperaturze i prawie bez efektu cieplnego, natomiast druga reakcja jest silnie endotermiczna i wymaga temperatury około 800°C .

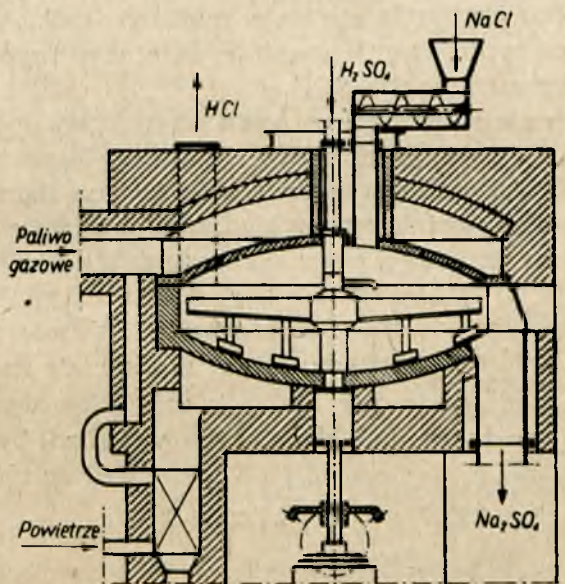


Rys. 62. Piec do otrzymywania chlorowodoru i siarczanu sodowego: 1 — wanna, 2 — mufla, 3 — zasuw, 4 — palenisko, 5 i 6 — kanały dymowe

W piecu przedstawionym na rys. 62 pierwsze stadium reakcji prowadzi się w wannie żelaznej o średnicy od 2,5 do 3,5 m i głębokości od 0,4 do 0,7 m. Przez otwór boczny do wanny wprowadza się sól i jednocześnie rurą ołowianą — kwas siarkowy o stężeniu 78% (60°Bé), po czym otwór zamyka się szczelnie. Pierwsze stadium

trwa 2 godziny, a wydzielający się przez ten czas chlorowódor odchodzi przez rurę szamotową w sklepieniu wykonanym z cegły kwasoodpornej. Następnie pozostałość (NaCl , NaHSO_4 i Na_2SO_4) jest przesuwana ręcznie, po uprzednim podniesieniu zasuwy, z wanny do mufl, gdzie w wyższej temperaturze przebiega drugie stadium procesu.

Mufla wykonana jest z płyt szamotowych. Przepływ gazów spalinowych, które ją ogrzewają, zaznaczono na rysunku. Co pewien okres czasu mieszaninę miesza się drągami stalowymi przez otwory robocze w bocznych ścianach mufl. Chlorowódor wydzielający się



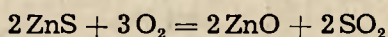
Rys. 63. Piec mechaniczny do otrzymywania chlorowodoru i siarczanu sodowego

wskutek przebiegu reakcji chemicznej odpywa rurą szamotową umieszczoną w sklepieniu. Ze względu na trujące jego działanie nie można dopuścić do wydzielania się gazów z pieca. Aby temu zapobiec, w mufl i nad wanną utrzymuje się przez pochłanianie chlorowodoru w dalszych częściach aparatury ciśnienie niższe od atmosferycznego oraz zamyka się szczelnie otwory robocze. Po ukończeniu procesu siarczan sodowy wygarnia się z mufl do skrzynek.

Piec powyższy wytwarza do 500 kg siarczanu sodowego na dobę, obsługiwany jest ręcznie i pracuje w sposób okresowy. Obsługa ręczna pieca tego typu jest bardzo utrudniona, toteż w nowszych instalacjach piece ręczne zastępuje się piecami mechanicznymi. Jeden z takich pieców muflowych przedstawiono na rys. 63. Sól kuchenna i kwas siarkowy doprowadzane są do muflii górą. Wydzielający się chlorowódor odprowadzany jest do dalszej przeróbki rurą szamotową. Mieszanie związków reagujących ze sobą odbywa się w sposób mechaniczny za pomocą mieszadła grabkowego, przy czym grabie nie tylko mieszają, ale powoli przesuwają również substancje znajdujące się w muflii od środka w kierunku obwodu, gdzie w dnie muflii znajduje się otwór, przez który odchodzi gotowy produkt (Na_2SO_4).

Piece mechaniczne pracują w sposób ciągły, toteż wydajność ich jest większa od wydajności pieców ręcznych. Mechaniczny piec mufłowy o średnicy 4,25 m wytwarza do 15 tonn siarczanu sodowego na dobę. Pierwotnie wanny pieców mechanicznych wykonywano z odlewu żeliwnego, obecnie sporządza się je z szamotu ze względu na to, że wanny żeliwne zbyt szybko zużywały się. Szamotem zabezpiecza się również mieszadła. Ostatnio próbowano zastosować muflę z karborundu: są one droższe, ale znacznie wytrzymalsze i bardziej szczelne. Próby te dały dobre wyniki.

Piece mufłowe do prażenia blendy cynkowej (ZnS) bywają ręczne i mechaniczne. Prażenie blendy przebiega według równania



Chociaż reakcja ta jest egzotermiczna, dla osiągnięcia potrzebnej temperatury (od 900 do 1000°C) trzeba jednak doprowadzać ciepło z zewnątrz, gdyż silnie rozgrzane produkty reakcji: tlenek cynkowy i dwutlenek siarki zabierają z pieca dużo ciepła. W czasie przebiegu procesu blendę należy przegarniać, co wykonuje się albo ręcznie (w piecu systemu Rhenania), albo w piecach nowszej konstrukcji — w sposób mechaniczny.

Piec mufłowy Rhenania, przedstawiony na rys. 64, posiada trzy muflę, z których dwie górne, przylegające do siebie, ogrzewane są tylko z jednej strony (pierwsza od góry, druga zaś od dołu), natomiast trzecia — z obu stron. Przepływ gazów ogrzewających zaznaczono na rysunku strzałkami. Blenda cynkowa do-

prowadzana przez lej do pierwszej muflki od góry stopniowo w czasie prażenia jest przesuwana ręcznie przez otwory w bocznych ścianach po dnie muflki w drugi koniec, gdzie spada do muflki dolnej. Następnie w podobny sposób dostaje się do muflki trzeciej, z końca której wygarnia się już wypałki (ZnO). Dwutlenek siarki z każdej muflki przez kanały boczne kierowany jest do głównego kanału zbiorczego, skąd odprowadza się go do dalszego przerobu.

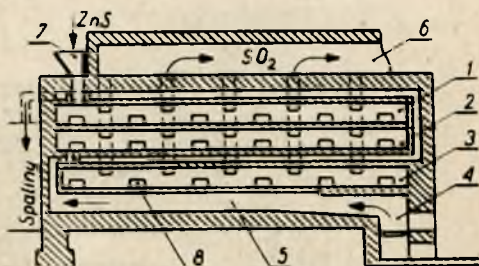
Słabe stężenie dwutlenku siarki w gazach uchodzących z pieca Rhenania, duże zużycie paliwa i ręczna dość uciążliwa obsługa są wadami pieca tego typu, toteż obecnie coraz częściej do wypalania blendy cynkowej stosowane są piece mechaniczne, a piec Rhenania wychodzi z użycia.

Piec mechaniczny do prażenia blendy cynkowej (Spirletta), przedstawiony na rys. 65, stosowany jest na Śląsku. Piec tego typu jest okrągły, o czterech muflkach tak zbudowanych, że dno muflki górnej jest jednocześnie sklepieniem muflki dolnej. Co drugie dno (sklepienie) obraca się i toczy na rolkach po szynach otaczających piec, dzięki czemu następuje przegarnianie prażonego materiału za pomocą szmatowych zębów przymocowanych do sklepień zarówno ruchomych, jak i nieruchomych.

Muflki są niskie, nie mają przestrzeni martwych, toteż stężenie dwutlenku siarki w gazach odlotowych jest dość duże (około 7%).

W piecu systemu Spirletta gazami spalinowymi ogrzewana jest tylko muflka najniższa, w której wydziela się za mało ciepła, gdyż do niej dostaje się z górnych muflki materiał już prawie wyprażony w celu ukończenia procesu.

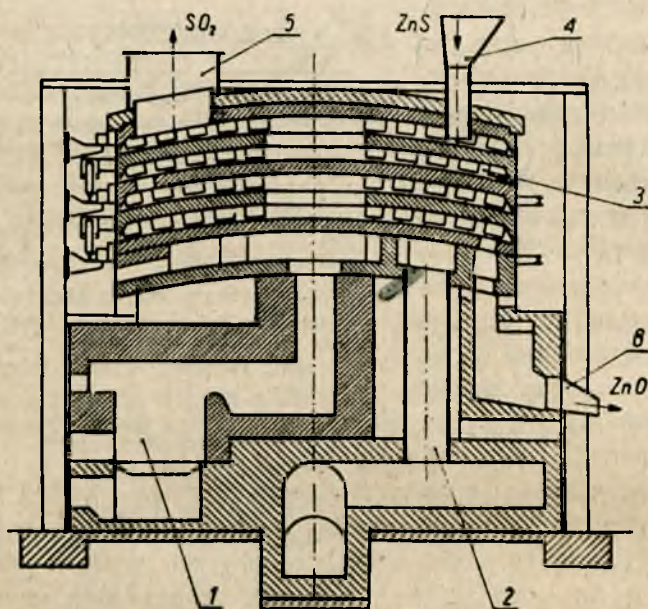
Piec Spirletta w porównaniu z piecem Rhenania posiada dużo zalet. Zużycie opału jest w nim mniejsze, stężenie dwutlenku siarki w gazach odlotowych jest większe, a obsługa łatwiejsza. Wadą tego pieca jest dość skomplikowana wymiana zębów szmatowych w wypadku ich uszkodzenia. Aby dostać się do uszkodzonego



Rys. 64. Piec do prażenia blendy: 1, 2, 3 — muflki, 4 — palenisko, 5 — kanały ogrzewające, 6 — kanał zbiorczy SO_2 , 7 — lej zasilający, 8 — okna robocze

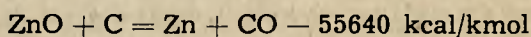
miejsca, trzeba podnieść za pomocą dźwigu wszystkie leżące powyżej sklepienia.

Tlenek cynkowy, otrzymywany przy prażeniu blandy cynkowej, poddaje się redukcji węglem w specjalnych piecach muflowych na technicznie czysty metal.



Rys. 65. Piec do prażenia blandy Spirletta: 1 — palenisko, 2 — kanały dymowe, 3 — mufle, 4 — lej zasilający, 5 — przewód do SO_2 , 6 — lej do wypazków

Proces redukcji tlenku cynkowego przebiega według sumarycznego równania

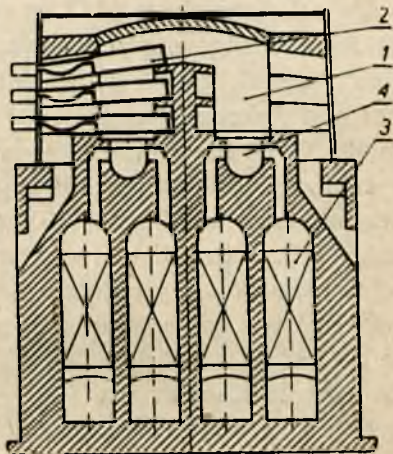


i wymaga ogrzania do temperatury co najmniej 1100°C , czyli znacznie wyższej od temperatury wrzenia cynku, która wynosi 907°C . Wskutek tego otrzymuje się metal w stanie pary, którą należy oziębić w celu skroplenia, a następnie płynny cynk wylać do formy.

Para cynku łatwo i szybko utlenia się do ZnO pod działaniem powietrza jak również dwutlenku węgla i pary wodnej, należy

więc zabezpieczyć ją przed gazami utleniającymi. Z tego powodu proces prowadzi się w piecach muflowych specjalnej konstrukcji.

Piec muflowy do otrzymywania cynku, stosowany w naszych cynkowniach, przedstawiono na rys. 66. Posiada on dwie długie komory, szerokości od 1,5 do 1,7 m, w których zależnie od długości pieca znajdują się muflle poziome w ilości od 100 do 240 sztuk. Muflle umieszczone są w trzech rzędach jedno nad drugim; tylnym końcem wspierają się one na odpowiednim występie środkowej ściany pieca, a przednim — na ścianie frontowej. Obsługa reort jest ręczna, co ogranicza wysokość pieca. Dla ułatwienia obsługi muflle ustawia się pochyło, przy czym kąt nachylenia górnych muflli jest większy od kąta nachylenia muflli dolnych.

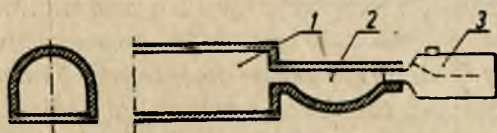


Rys. 66. Piec do destylacji cynku: 1 — komory, 2 — muflle, 3 — regeneratory, 4 — palniki

Piec ogrzewany jest gazem generatorowym i ma regenerację ciepła. Regeneratory do ogrzewania powietrza i paliwa gazowego jak widać z rys. 66 znajdują się pod piecem. W Związku Radzieckim, bogatym w paliwo ciekłe, w niektórych cynkowniach zamiast gazu generatorowego stosują mazut.

Muflle, przedstawione schematycznie w większej skali na rys. 67, są to naczynia ceramiczne o długości od 1,2 do 1,5 m. Posiadają one przekrój okrągły, eliptyczny lub taki jak na rys. 67 i składają się z trzech części: właściwej muflli, odbieralnika i blaszanego przedłużacza (dymnika lub alonzu).

Muflle wykonywane są z gliny ogniotrwałej z dodatkiem szamotu jako środka schudzającego oraz koksu. Odbieralniki wykonuje



Rys. 67. Muflle do destylacji cynku: 1 — mufla, 2 — odbieralnik, 3 — przedłużacz

Muflle wykonywane są z gliny ogniotrwałej z dodatkiem szamotu jako środka schudzającego oraz koksu. Odbieralniki wykonuje

Muflle wykonywane są z gliny ogniotrwałej z dodatkiem szamotu jako środka schudzającego oraz koksu. Odbieralniki wykonuje

się z takiej samej gliny z dodatkiem rozdrobnionych starych odbieralników i koksu. Dodatek pokruszonych, zużytych odbieralników ma na celu zmniejszenie strat cynku, który łatwo wsiąka w ściany. Przedłużacze (dymniki) wykonywane są z blachy stalowej. Dobra mufla wytrzymuje około 30 szarż.

Po załadowaniu mufl i osiągnięciu wewnątrz niej odpowiednio wysokiej temperatury zachodzi redukcja tlenku cynkowego. Wydzielające się gazy z mufl dostają się do odbieralnika, w którym następuje skroplenie się par cynku, gdyż temperatura wynosi około 500°C . Nieskraplające się gazy, które zawierają niewielkie ilości cynku, uchodzą do dymnika, gdzie panuje temperatura niższa od temperatury topnienia ($419,4^{\circ}\text{C}$), wskutek czego następuje przejście par cynku od razu w stan stały z pominięciem fazy ciekłej. W ten sposób otrzymujemy pył cynkowy trudny do dalszego przerobu w ilości co najmniej 3%, a w niekorzystnych warunkach ilość ta dochodzi nawet do 10%. Gazy zaś pozbawione cynku z dymnika uchodzą na zewnątrz.

Proces redukcji tlenku cynkowego w omawianym piecu jest procesem okresowym. Z tego powodu zużycie paliwa jest dość duże i wynosi około 2 kg węgla na 1 kg cynku, a obsługa pieca jest utrudniona. Starano się więc opracować proces redukcji metodą ciągłą. W rezultacie osiągnięto dobre wyniki prowadząc proces w dużych pionowych muflach karborundowych przy zastosowaniu brykietowania ładunku w celu ułatwienia przepływu gazów. W Polsce jednak metoda ta nie jest stosowana.

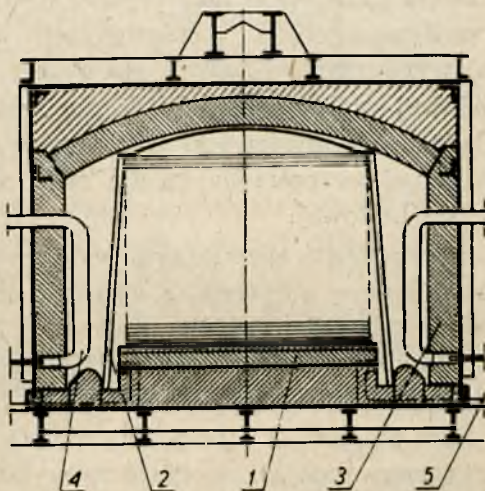
\ Piece z atmosferą ochronną. W odpowiednich przypadkach, np. przy termicznej obróbce niektórych metalowych przedmiotów ogrzewanie ich odbywa się w celu zabezpieczenia powierzchni przedmiotów od utleniania, w środowisku gazów obojętnych. Atmosfera ochronna powinna zapobiegać utlenianiu powierzchni w czasie ogrzewania oraz chłodzenia i nie może działać szkodliwie na obrabiany termicznie metal lub stop. Można ją uzyskać stosując wodór, dwutlenek węgla, produkty spalania amoniaku, azot i w niektórych wypadkach — parę wodną.

Na rys. 68 przedstawiono piec do termicznej obróbki blachy w atmosferze ochronnej. Blachę w arkuszach układa się na trzonie pieca 1 i przykrywa się wewnętrzną lekką, metalową muflą 2, całość zaś pokrywa się ciężkim obmurowanym wewnątrz dwo-

nem 3 (kołpakiem). Paliwo gazowe spalane jest wewnątrz rur żarowych 4 wykonanych z ognioodpornej stali i umieszczonych wewnątrz pieca przy zewnętrznych ścianach dzwonu.

Ogrzewanie mufl i blach odbywa się kosztem ciepła wypromieniowywanego przez rozżarzone rury żarowe. Przez cały czas zaczynając od początku ogrzewania blach aż do ich ochłodzenia do mufl przewodami 5, oznaczonymi na rysunku liniami przerywanymi, doprowadzany jest obojętny chemicznie gaz ochronny.

W piecu tym jeden dzwon (kołpak) może obsługiwać dwa lub trzy trzony. W tym czasie, gdy na jednym trzonie pod dzwonem ogrzewa się blachę, na drugim trzonie wewnątrz mufl następuje chłodzenie blachy, a na trzonie trzecim — wyładowywanie blach gotowych i załadowywanie blach



Rys. 68. Piec z atmosferą ochronną do termicznej obróbki: 1 — trzon, 2 — mufla metalowa, 3 — dzwon, 4 — rury żarowe, 5 — przewód do doprowadzenia gazu ochronnego

świeżych. Oczywiście podnoszenie, opuszczanie i przenoszenie dzwonu odbywa się przy pomocy odpowiedniej dźwigni.

Rozdział VI

KOTŁY PAROWE

31. Wiadomości wstępne. Kocioł walczakowy

Przeznaczeniem kotłów parowych jest wytwarzanie pary wodnej o ciśnieniu większym od atmosferycznego. Para w przemyśle chemicznym potrzebna jest do różnych celów. Jest ona stosowana do ogrzewania aparatów wyparnych i warników, kotłów desty-

lacyjnych, suszarni oraz wszelkiego rodzaju podgrzewaczy i kaloryferów. Ponadto jest ona używana w niektórych reakcjach chemicznych (np. przy wytwarzaniu gazu wodnego) i procesach technologicznych (np. przy destylacji z parą wodną) oraz do napędu silników parowych. Ilość pary zużywanej do celów grzejnych i mechanicznych w niektórych gałęziach przemysłu chemicznego i spożywczego (np. w cukrowniach) jest bardzo duża. Oszczędne jej wytwarzanie i zużycie ma duże znaczenie dla gospodarki narodowej, wpływa bowiem na obniżenie kosztów produkcji w zakładach przemysłowych oraz przyczynia się do zmniejszenia zużycia paliwa potrzebnego dla stale rozwijającego się przemysłu Polski Ludowej.

W przemyśle chemicznym wykorzystuje się parę dwóch rodzajów: 1) parę nasyconą, o ciśnieniu kilku lub wyjątkowo kilkunastu atmosfer, do celów grzejnych i 2) parę przegrzaną, o ciśnieniu od kilkunastu do kilkudziesięciu atmosfer, do napędu silników parowych.

Parą przegrzaną albo — jak mówią fizycy — parą nienasyconą nazywamy parę o temperaturze wyższej od temperatury wrzenia cieczy pod tym ciśnieniem, pod którym znajduje się para; temperatura zaś pary nasyconej jest równa temperaturze wrzenia cieczy pod ciśnieniem pary.

Para nasycona teoretycznie może być sucha, praktycznie zaś jest zawsze mniej lub więcej wilgotna. *Suchością pary* nazywamy ilość kilogramów pary suchej zawartej w 1 kg pary wilgotnej. Dawniej nazywano to „wilgotnością“; było to określenie nielogiczne, ale przyjęte w technice. Wilgotność pary należy oznaczać przez $1-x$, gdzie x oznacza stopień suchości.

Aby wytworzyć 1 kg pary suchej nasyconej o ciśnieniu p kG/cm², wodę znajdującą się pod tym ciśnieniem należy ogrzać do temperatury wrzenia, a następnie trzeba ją odparować doprowadzając przy tym ilość ciepła równą ciepłu parowania wody pod ciśnieniem p . Ilość ciepła potrzebna do ogrzania 1 kg cieczy od temp. 0°C do temperatury wrzenia nazywa się entalpią cieczy wrzącej i oznaczana jest przez i' , a ilość ciepła, zawarta w 1 kg pary suchej nasyconej, nosi nazwę entalpii tej pary i oznaczona jest przez i'' .

Różnicę pomiędzy entalpią pary nasyconej a entalpią cieczy wrzącej nazywamy ciepłem parowania r , wobec czego

$$i'' = i' + r \quad [25]$$

Entalpia pary wilgotnej o wilgotności $1-x$ równa się

$$i = i' + x r = i' + x (i'' - i') \quad [26]$$

Dla otrzymania pary przegrzanej należy doprowadzić ciepło do pary suchej nasyconej. Jeżeli temperatura wrzenia cieczy wynosi t_w , a średnie ciepło właściwe pary c_p , to entalpia pary przegrzanej o temperaturze t równa się

$$i = i'' + c_p (t - t_w) \quad [27]$$

Temperatura wrzenia wody, entalpia wody wrzącej i pary suchej nasyconej, objętość właściwa pary oraz jej ciężar właściwy w zależności od ciśnienia podane są w tablicy 11.

Przykład I. Para pobierana z walczaka kotła parowego ma ciśnienie $p = 11$ atn i suchość $x = 0,97$. Ile ciepła należy doprowadzić do każdego kg pary znajdującej się w przegrzewaczu, aby przegrzać ją do temperatury $t = 320^\circ\text{C}$, jeżeli średnie ciepło właściwe pary wynosi $c_p = 0,547$ kcal/kg $\cdot^\circ\text{C}$.

Rozwiązanie. Ciśnienie pary w atmosferach absolutnych wynosi $p = 11 + 1 = 12$ ata albo 12 kg/cm². Entalpia pary suchej nasyconej przy ciśnieniu $p = 12$ kg/cm², jak wynika z tablicy 11, wynosi $i'' = 665,5$ kcal/kg, entalpia cieczy wrzącej pod danym ciśnieniem $i' = 189,6$ kcal/kg, a temperatura wrzenia pod tym ciśnieniem równa jest $t_w = 187,1^\circ\text{C}$. Mając powyższe wielkości obliczamy entalpię pary wilgotnej pobieranej z walczaka i_w oraz entalpię pary przegrzanej i_p

$$i_w = i' + x(i'' - i') = 189,6 + 0,97(664,5 - 189,6) = 651,2 \text{ kcal/kg}$$

$$i_p = i'' + c_p(t - t_w) = 664,5 + 0,547(320 - 187,1) = 738,2 \text{ kcal/kg}$$

Aby parę przegrzać, na każdy jej kilogram doprowadzić należy do przegrzewacza

$$q = i_p - i_w = 738,2 - 651,2 = 87 \text{ kcal/kg}$$

Zadanie 15. Obliczyć entalpię pary wilgotnej o ciśnieniu $p = 8$ atn i o stopniu suchości 0,96.

Zadanie 16. Obliczyć entalpię pary o ciśnieniu $p = 34$ atn, przegrzanej do temperatury $t = 430^\circ\text{C}$.

Zadanie 17. Para o ciśnieniu $p = 3$ atn i temperaturze $t = 148^\circ\text{C}$ przesyłana jest do celów grzejnych długim przewodem rurowym, po wyjściu z którego ma ona ciśnienie $p_1 = 2,6$ atn i suchość $x_1 = 0,98$. Obliczyć w kcal oraz w %, ile ciepła stracił w przewodzie rurowym kg pary.

Zadanie 18. Jaka wilgotność ma para o ciśnieniu 1,8 atn, jeżeli jej entalpia wynosi $i = 595$ kcal/kg.

Para wodna nasycona

Prężność p	Tempera- tura t	Objętość właściwa pary v''	Entalpia		Ciepło parowania $r = i'' - i'$
			cieczy i'	pary i''	
kG/cm ²	°C	m ³ /kg	kcal/kg	kcal/kg	kcal/kg
0,01	6,6	131,8	6,6	599,8	593,2
0,02	17,1	68,25	17,1	604,4	587,3
0,03	23,7	46,51	23,7	607,2	583,5
0,04	28,6	35,44	28,6	609,3	580,7
0,05	32,5	28,71	32,5	611,0	578,5
0,06	35,8	24,18	35,8	612,5	576,7
0,08	41,1	18,44	41,1	614,8	573,7
0,10	45,4	14,94	45,4	616,6	571,2
0,15	53,6	10,21	53,5	620,1	566,6
0,20	59,7	7,794	59,6	622,8	563,2
0,25	64,6	6,324	64,5	624,8	560,3
0,30	68,7	5,329	68,6	626,6	558,0
0,35	72,3	4,612	72,3	628,1	555,8
0,40	75,4	4,070	75,4	629,3	553,9
0,50	80,9	3,302	80,9	631,6	550,7
0,60	85,5	2,785	85,5	633,5	548,0
0,70	89,5	2,411	89,5	635,1	545,6
0,80	93,0	2,128	93,0	636,5	543,5
0,90	96,2	1,906	96,2	637,8	541,6
1,0	99,1	1,727	99,2	638,9	539,7
1,1	101,8	1,580	101,9	640,0	538,1
1,2	104,2	1,456	104,3	640,9	536,6
1,3	106,6	1,351	106,7	641,8	535,1
1,4	108,7	1,261	108,8	642,6	533,8
1,5	110,8	1,182	110,9	643,4	532,5
1,6	112,7	1,113	112,9	644,1	531,2
1,8	116,3	0,997	116,5	645,4	528,9
2,0	119,6	0,903	119,8	646,6	526,8
2,2	122,6	0,826	122,9	647,6	524,7
2,4	125,5	0,7614	125,8	648,6	522,8
2,6	128,1	0,7064	128,5	649,6	521,1
2,8	130,5	0,6589	130,9	650,4	519,5
3,0	132,9	0,6176	133,4	651,2	517,8
3,2	135,1	0,5814	135,6	651,9	516,3
3,4	137,2	0,5492	137,7	652,6	514,9
3,6	139,2	0,5206	139,8	653,2	513,4

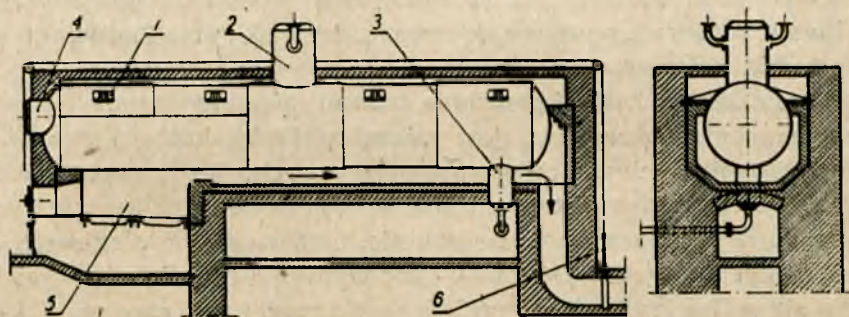
Prężność p	Tempera- tura t	Objętość właściwa pary v''	Entalpia		Ciepło parowania $r = i'' - i'$
			cieczy i'	pary i''	
kg/cm^2	$^{\circ}\text{C}$	m^3/kg	kcal/kg	kcal/kg	kcal/kg
3,8	141,1	0,4948	141,7	653,8	512,1
4,0	142,9	0,4714	143,6	654,4	510,8
4,5	147,2	0,4220	148,0	655,7	507,7
5,0	151,1	0,3822	152,0	656,9	504,9
5,5	154,7	0,3494	155,7	657,9	502,2
6,0	158,1	0,3219	159,2	658,8	499,6
6,5	161,2	0,2984	162,4	659,7	497,3
7,0	164,2	0,2782	165,5	660,5	495,0
7,5	167,0	0,2607	168,5	661,2	492,7
8,0	169,6	0,2452	171,2	661,8	490,6
8,5	172,1	0,2315	173,8	662,4	488,6
9,0	174,5	0,2193	176,3	662,9	486,6
9,5	176,8	0,2083	178,7	663,5	484,8
10	179,0	0,1984	181,0	663,9	482,9
11	183,2	0,1812	185,4	664,8	479,4
12	187,1	0,1667	189,6	665,5	475,9
13	190,7	0,1543	193,4	666,2	472,8
14	194,1	0,1437	197,0	666,8	469,8
15	197,4	0,1345	200,6	667,3	466,7
16	200,4	0,1263	203,8	667,7	463,9
17	203,4	0,1191	207,0	668,1	461,1
18	206,2	0,1127	210,1	668,4	458,3
19	208,8	0,1069	212,9	668,7	455,8
20	211,4	0,1017	215,7	669,0	453,3
22	216,3	0,0926	221,1	669,4	448,3
24	220,8	0,0850	226,0	669,7	443,7
26	225,0	0,0786	230,7	669,9	439,2
28	229,0	0,0730	235,1	669,9	434,8
30	232,8	0,0681	239,4	670,0	430,6
32	236,4	0,06382	243,5	669,9	426,4
34	239,8	0,06003	247,4	669,8	422,4
36	243,1	0,05664	251,1	669,7	418,6
38	246,2	0,05360	254,7	669,4	414,7
40	249,2	0,05085	258,2	669,2	411,0
42	252,1	0,04836	261,6	668,9	407,3
44	254,9	0,04607	264,9	668,6	403,7
46	257,6	0,04398	268,0	668,2	400,2

Prężność	Tempera- tura	Objętość właściwa pary	Entalpia		Ciepło parowania
			cieczy	pary	
p	t	v''	i'	i''	$r = i'' - i'$
kG/cm ²	°C	m ³ /kg	kcal/kg	kcal/kg	kcal/kg
48	262,2	0,04206	271,1	667,9	396,8
50	262,7	0,04029	274,1	667,4	393,3
55	268,7	0,03640	281,4	666,3	384,9
60	274,3	0,03313	288,2	665,0	376,8
65	279,6	0,03034	294,8	663,6	368,8
70	284,5	0,02794	301,0	662,1	361,1
75	289,2	0,02584	307,0	660,5	353,5
80	293,6	0,02400	312,8	658,8	346,0
85	297,9	0,02236	318,5	656,9	338,4
90	301,9	0,02091	323,9	655,1	331,2
95	305,8	0,01959	329,2	653,2	324,0
100	309,5	0 01840	334,4	651,2	316,8
110	316,6	0,01632	344,6	646,9	302,3
120	323,1	0,01457	354,4	642,3	287,9
130	329,2	0,01307	364,1	637,3	273,3
140	335,0	0,01175	373,9	631,9	258,0
150	340,5	0,01058	383,9	625,9	242,0
160	345,6	0,00952	394,0	619,3	225,2
170	350,6	0,00854	404,9	611,8	206,9
180	355,3	0,00763	416,4	603,4	187,0
190	359,7	0,00678	428,6	594,0	165,4
200	364,0	0,00594	442,3	582,9	140,6
210	368,1	0,00510	458,2	569,4	111,2
220	372,0	0,00420	478,8	551,0	72,1
225	374,0	0,00310	515,5	515,5	0

Kocioł walczakowy albo bulierowy, przedstawiony na rys. 69, pod względem konstrukcji jest najprostszym i najstarszym typem kotła. Jest to walec cylindryczny znitowany z poszczególnych arkuszy stali o grubości zależnej od ciśnienia panującego w kotle, jego średnicy i wytrzymałości stali, z której jest on wykonany.

Z boków do walczaka przymocowane są łapy 1, którymi kocioł opiera się na bocznych ścianach obmurza. Na kotle umieszczony jest walec 2 o mniejszej średnicy, tzw. kołpak spełniający rolę

zbiornika pary. Jest on przymocowany do walczaka głównego przez przynitowanie ścian odwiniętych w postaci kołnierza. Do górnej części kołpaka przyłączone są dwa kolana, z których jedno służy do odprowadzania pary z kotła, a do drugiego przymocowany jest (nie pokazany na rysunku) zawór bezpieczeństwa. Para, wydzielając się ze swobodnej powierzchni wody, porywa za sobą kropelki cieczy. Ażeby zdążyły one osiąść wewnątrz kotła, a para dzięki temu zawierała mniejszą ilość wilgoci, trzeba ją odprowadzać z miejsca możliwie jak najwięcej oddalonego od zwierciadła wodnego. Tym się tłumaczy, dlaczego jest ona odprowadzana z górnej części kołpaka.



Rys. 69. Kocioł walczkowy: 1 — łapy, 2 — kołpak, 3 — króciec dolny, 4 — króciec czołowy, 5 — palenisko, 6 — zasuwa kominowa

W tylnej części kotła u dołu znajduje się króciec 3, w którym zbiera się namuł, utworzony z rozpuszczonych w wodzie soli wapiennych i magnezowych. Od dna tego króćca odchodzi rura spustowa. Do przedniego denka kotła przymocowany jest króciec czołowy 4, który wystaje nieco z obmurza w tym celu, aby można było przymocować do niego manometr i przyrządy wskazujące poziom wody w kotle (na rysunku nie pokazane).

Cały kocioł jest obmurowany w taki sposób, że ogrzewana jest tylko część zewnętrznej powierzchni kotła. Granica tej ogrzewanej powierzchni nosi nazwę *linii ogniowej*. Poziom wody w kotle musi być zawsze wyższy od linii ogniowej. Gdyby się on obniżył poniżej tej linii, powstałoby niebezpieczeństwo przegrzania ścian kotła do czerwoności i zmniejszenie się ich wytrzymałości, co spowodowałoby rozerwanie się ścian kotła i jego wybuch. Przepisy

kotłowe wydane przez władze ze względu na bezpieczeństwo publiczne wymagają, aby najniższy poziom wody w kotle był jednak wyższy od linii ogniowej przynajmniej o 100 mm.

Obmurze dookoła walczaka tworzy kanały dymowe, którymi płyną gorące gazy spalinowe ogrzewając kocioł od wewnątrz. Gazy te uchodzą do komina po oddaniu wodzie znajdującej się w kotle większej ilości posiadanego ciepła przez kanał łączący komin z kotłem, czyli przez tzw. czopuch. Za kotłem w czopuchu umieszczona jest zasuwa kominowa, która umożliwia regulowanie ciągu. Aby ułatwić palaczowi manipulowanie zasuwą, ciężar jej zrównoważony jest przeciwwagą, która z przodu kotła jest przywiązana do linki stalowej przerzuconej przez krążki (bloczki). Dzięki temu palacz nie opuszczając swego stanowiska przed kotłem może podnosić i opuszczać zasuwę.

Powierzchnia kotła, ogrzewana gazami spalinowymi, czyli tzw. *powierzchnia ogrzewalna*, jest miarą wielkości kotła. Przez nią kocioł pobiera ciepło od gazów spalinowych. Ilość ciepła, jaką 1 m^2 powierzchni ogrzewalnej może pobrać od spalin w ciągu 1 godziny i przekazać wodzie w kotle, nazywa się *natężeniem powierzchni ogrzewalnej*, które — jak wynika z określenia — mierzy się w $\text{kcal/m}^2 \cdot \text{godz}$. Przyjęte jest również, że natężenie powierzchni ogrzewalnej określa się ilością kilogramów pary wytworzonej w ciągu 1 godziny przez 1 m^2 tej powierzchni. Natężenia powierzchni ogrzewalnej dla danego typu kotłów zmieniają się stosunkowo mało, wskutek czego ilości ciepła przewodzone przez powierzchnie ogrzewalne, a więc i ilości pary wytwarzanej przez kotły tego samego typu są proporcjonalne do wielkości ich powierzchni ogrzewalnych. Im powierzchnia ogrzewalna kotła jest większa, tym może on wytwarzać więcej pary, a więc tym jest on większy. Kotły walczakowe jako przestarzałe nie są obecnie stosowane w przemyśle.

Klasyfikacja kotłów parowych. Powstanie i rozwój konstrukcyjny kotłów parowych jest ściśle związany z powstaniem i rozwojem przemysłu. Początkowo, gdy przemysł był jeszcze słabo rozwinięty, do produkowania pary stosowano małe kotły walczakowe prostej konstrukcji, wytwarzające parę o niskim ciśnieniu i w niewielkich ilościach, co jednak zaspakajało potrzeby ówczesnego przemysłu. Następnie, gdy przemysł w miarę swego rozwoju

stawiał coraz większe wymagania co do ilości i ciśnienia potrzebnej mu pary, kotły walczakowe nie mogły sprostać zadaniom przemysłu i jako przestarzałe zaczęły wychodzić z użycia, zastępowane kotłami nowymi, coraz doskonalszymi. Wytwarzały one parę o wymagany przez przemysł ciśnieniu i w coraz większych ilościach zużywając na produkowanie 1 kg pary coraz mniej paliwa. Szczególnie ostatnio zaznaczył się duży postęp w udoskonaleniu konstrukcji kotłów parowych.

Do postępu technicznego w dziedzinie kotłów parowych, jako bardzo ważnych i bardzo rozpowszechnionych urządzeń przemysłowych, przyczyniło się wielu racjonalizatorów i konstruktorów na całym świecie. Ich pomysłem i twórczej pracy, wyzyskiwanej w ustroju kapitalistycznym przez właścicieli wielkich fabryk, produkujących kotły parowe dla zwiększenia swych dochodów, zawdzięczamy dzisiejszy bardzo wysoki poziom techniczny nowoczesnych instalacji kotłowych.

Kotły parowe są to urządzenia, których okres użytkowania jest długi, a przy stosunkowo małych remontach okres ten może wynieść kilkadziesiąt lat; wobec tego obecnie w przemyśle pracują kotły parowe zarówno dawnych, jak i nowszych konstrukcji. W celu ich sklasyfikowania kotły można podzielić na kilka grup lub typów, a mianowicie na: 1) walczakowe, 2) płomienicowe, 3) płomieniówkowe, 4) kombinowane, 5) wodnorurkowe i 7) inne.

Bardzo ważną cechą charakteryzującą kocioł w czasie pracy jest *względna albo właściwa pojemność wodna kotła*. Jest to ilość wody w kotle przypadająca na 1 m² jego powierzchni ogrzewalnej. Zawartość wody w kotle podczas ruchu, wyrażona w m³, nazywa się *pojemnością wodną bezwzględną*. Obie te wielkości charakteryzują pracę kotłów.

W celu uruchomienia kotła o dużej pojemności bezwzględnej trzeba spalić znaczną ilość paliwa, a przy dużej pojemności właściwej należy zużyć dużo czasu (kilka godzin). Przy zatrzymywaniu kotła o dużej bezwzględnej pojemności wodnej traci się nieużytecznie znaczną ilość ciepła. Kotłów o dużej pojemności właściwej nie opłaca się forsować, tzn. wytwarzać w nich parę w ilościach większych niż normalnie, gdyż połączone to jest z dużymi stratami ciepła. Natomiast, gdy obciążenie kotłów jest zmienne, ciśnienie w kotłach o dużej pojemności wodnej waha się w mniejszych gra-

nicach niż w kotłach zawierających mało wody, kotły bowiem o znacznej pojemności bezwzględnej są dużymi zasobnikami (akumulatorami) ciepła. Nadają się więc one dobrze do zakładów przemysłowych i fabryk, w których zapotrzebowanie pary zmienia się w szerokich granicach.

Do wad kotłów o dużej pojemności wodnej należy również zaliczyć dużą ich siłę niszczącą w razie wybuchu. Wybuch kotła następuje wtedy, gdy ściany jego pod wpływem ciśnienia wewnętrznego ulegają rozerwaniu. W tym wypadku ciśnienie w kotle momentalnie spada do ciśnienia atmosferycznego, a woda znajdująca się w nim wskutek tego obniża swoją temperaturę do 100°C, gdyż znajdując się pod ciśnieniem atmosferycznym może ona mieć tylko taką temperaturę. Natychmiastowe obniżenie temperatury wody następuje przez odparowanie pewnej jej ilości, momentalnie powstaje więc dużo pary, która wywołuje bardzo szybki wzrost ciśnienia w przestrzeni otaczającej kocioł i powstanie fali detonacyjnej o tak dużej energii mechanicznej, że powoduje ona silne zniszczenie w pobliżu kotła parowego.

Kotły o małej właściwej pojemności wodnej w przeciwieństwie do kotłów o pojemności dużej można prędzej uruchomić spalając przy tym mało paliwa oraz można je forsować, gdy zachodzi potrzeba wytworzenia większych ilości pary zużywając przy tym niewiele więcej paliwa na 1 kg pary niż przy obciążeniu normalnym. Przy zatrzymywaniu kotłów o małej bezwzględnej pojemności wodnej traci się niewielką ilość ciepła, w razie wybuchu powstaje mniejsze zniszczenie. Nie nadają się jednak one do pracy pod zmiennym obciążeniem, gdyż przy niespodziewanym szybkim wzroście obciążenia ciśnienie w nich gwałtownie spada.

Trzeba zaznaczyć jeszcze, że kotły o małej właściwej pojemności wodnej mają zwykle dużą powierzchnię ogrzewalną i wytwarzają dużo pary, a kotły o małej pojemności bezwzględnej należą do typu kotłów starszej konstrukcji, wytwarzających stosunkowo mało pary. Aby wykorzystać zalety obu grup i złagodzić ich wady zaczęto budować kotły kombinowane.

32. Kotły płomienicowe, płomieniówkowe i kombinowane

Kotły płomienicowe. Chociaż kotły płomienicowe są kotłami starszego typu, jednak obecnie także buduje się je dla takich za-

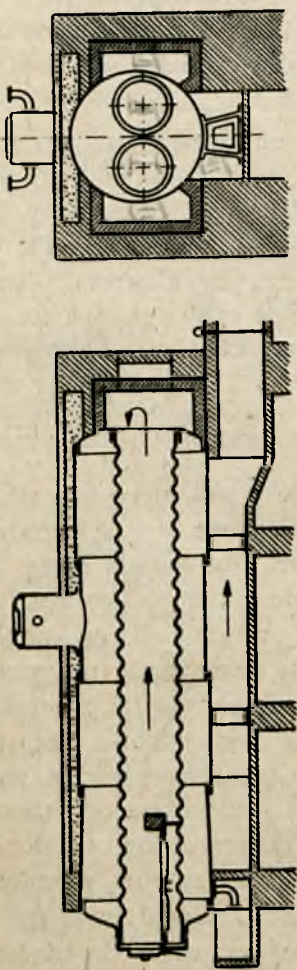
kładów przemysłowych, które zużywają parę w stosunkowo niewielkich ilościach i nierównomiernie wywołując przez to zmienne obciążenie kotła.

W kotłach płomienicowych wewnątrz walczaka znajduje się jedna (kocioł kornwalijski) lub dwie (kocioł lankaszyrski) rury o dużej średnicy tzw. płomienice, wewnątrz których umieszczone są paleniska. Tylko przy spalaniu paliw o małej wartości opałowej i dużej objętości są stosowane paleniska przednie.

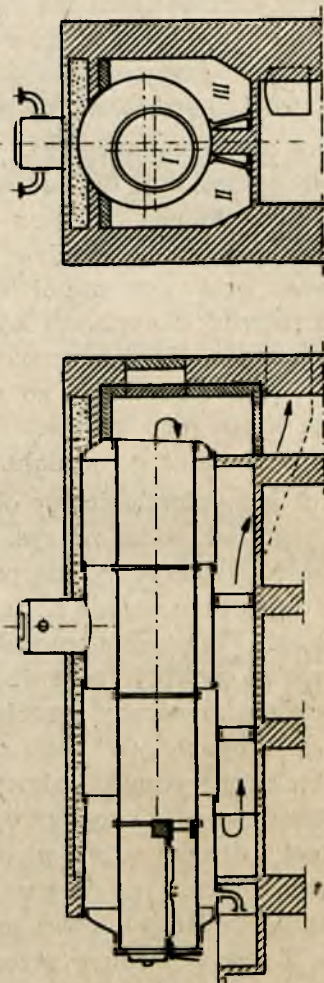
Kocioł dwupłomienicowy z paleniskami wewnętrznymi przedstawiony jest na rys. 70. Jak widać z rysunku, jest on obmurowany i ma trzy kanały dymowe — dwa boczne i jeden dolny. Paleniska znajdują się w przedniej części kotła w płomienicach. Gazy spalinowe ogrzewając kocioł od wewnątrz płyną rurami płomienicowymi z palenisk do tylnych komór dymowych utworzonych przez obmurze kotła. Tam zawracają i płyną kanałami bocznymi do przodu kotła, ogrzewając go z boków, a następnie łączą się na przodzie kotła (pod paleniskiem) i płyną trzecim kanałem pod kotłem ogrzewając go od dołu.

Kocioł jednopłomienicowy obmurowany jest nieco inaczej. Obmurze jego, jak widać na rys. 71, tworzy dwa boczne kanały oddzielone od siebie przegrodą pod kotłem. Oba kanały łączą się ze sobą pod przednią częścią kotła (pod paleniskiem). Gazy spalinowe po przejściu przez płomienicę dostają się z tyłu kotła do kanału II, następnie po przepłynięciu wzdłuż kotła przechodzą (na przodzie, gdzie nie ma przegrody rozdzielającej) do kanału III, skąd dostają się do czopucha. W kotle tym rura płomienicowa jest umieszczona ekscentrycznie, wskutek czego przestrzeń wodna pomiędzy płomienicą a II kanałem dymowym jest węższa od przestrzeni wodnej z drugiej strony płomienicy. Do przestrzeni tej dopływa więc więcej ciepła niż do przestrzeni pomiędzy rurą płomienicową a kanałem III, ponieważ przez kanał II przepływają gorętsze spaliny. Z tego powodu w przestrzeni tej wytwarza się więcej pęcherzyków pary. Wywołuje to ruch wody (cyrkulację) w kotle.

Krażenie wody, czyli tzw. cyrkulacja jest zjawiskiem pożądanym, gdyż utrudnia osiadanie na powierzchni ogrzewalnej kotła kamienia kotłowego i ułatwia przechodzenie ciepła od ścian kotła do wody.

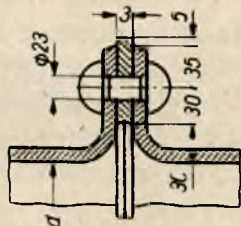


Rys. 70. Kocioł dwupłomienicowy (lankaszyski)

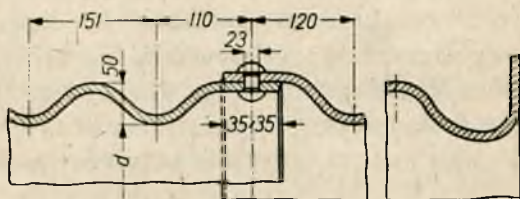


Rys. 71. Kocioł jednopłomienicowy (kornwalijski)

Najważniejszą częścią kotłów płomienicowych są rury płomienne. W rurach tych gazy spalinowe oddają większą część zawartego



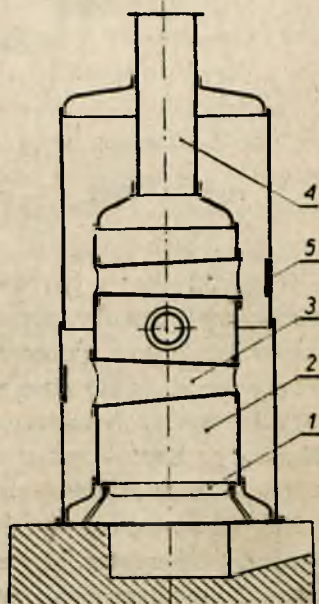
Rys. 72. Łączenie części płomienicy gładkiej



Rys. 73. Łączenie części płomienicy falistej

w nich ciepła. Zewnętrzna powierzchnia ogrzewalna walczaka przewodzi tylko do 30% ciepła pobieranego przez wodę w kotle na wytworzenie pary, a reszta przypada na płomienice. Dawniej płomienice były gładkie i złożone z kilku odcinków połączonych ze sobą odwiniętymi kołnierzami (rys. 72), pomiędzy którymi umieszczono płaski, nieco grubszy pierścień w celu usztywnienia płomienicy i zwiększenia jej odporności na ciśnienie wody. Obecnie rury płomienicowe są faliste (rys. 73), dzięki czemu ich powierzchnia ogrzewalna większa jest o kilkanaście procent oraz łatwiejsze są zmiany ich długości wskutek odkształceń termicznych. Płomienice faliste również składają się z części znitowanych ze sobą w obwodzie, jak pokazano na rys. 73.

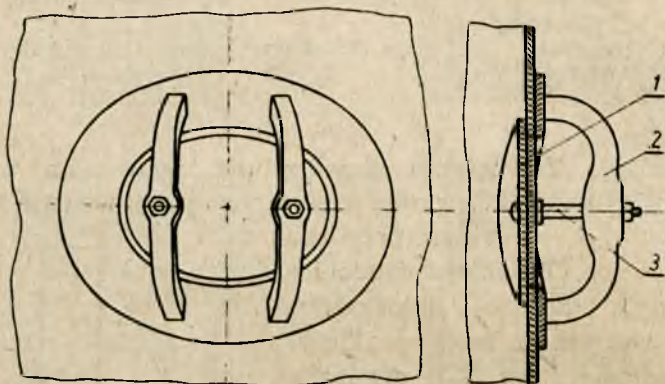
W celu zwiększenia powierzchni ogrzewalnej, wywołanie energicznego krążenia wody oraz dobrego mieszania się spalin, w poprzek płomie-



Rys. 74. Kocioł płomienicowy z rurami Galloway'a: 1 — palenisko, 2 — płomienica, 3 — gaźnice Galloway'a, 4 — komin, 5 — otwory z pokrywami

nic wstawia się rury stożkowe, tzw. garłacze Galloway'a. Mały stojący kocioł płomienicowy z rurami Galloway'a przedstawiono na rys. 74.

Powierzchnia ogrzewalna tego kotła nie przekracza zwykle 6 m². Naprzeciw każdego garłacza w ścianie kotła znajduje się otwór zamykany przykrywkami, przeznaczony do czyszczenia garłaczy z kamienia kotłowego. Kocioł tego typu ma tę zaletę, że zajmuje mało miejsca, a poza tym można łatwo i szybko przeprowadzić jego montaż, gdyż nie potrzeba go obmurowywać.



Rys. 75. Właz: 1 — pokrywa włazu, 2 — pałak, 3 — drążki

Wszystkie kotły parowe, a więc i kotły płomienicowe posiadają włazy, czyli otwory, przez które można dostać się do kotła w celu oczyszczenia go z kamienia kotłowego i sprawdzenia jego wnętrza. Włazy znajdują się albo w denkach kołpaków, gdy kocioł je posiada, albo w dnach walczaków, albo wyjątkowo — w bocznych ich ściankach. Kształt włazów jest owalny (rys. 75), przy czym długość ich dużej osi zawiera się w granicach od 450 mm do 6000 mm, a długość małej osi — od 300 do 350 mm. Pokrywa włazu zamyka otwór od wewnątrz, aby ciśnienie panujące w kotle dociskało ją do ścian. Dla osiągnięcia szczelności pomiędzy pokrywą a ścianami umieszcza się szczeliwo. Do pokryw są przymocowane dwa drążki o końcach nagwintowanych. Na drążki te po ustawieniu pokrywy i ułożeniu uszczelki nakłada się kabłąki, a następnie pokrywę i kabłąki za pomocą nakrętek dociska się do ściany kotła.

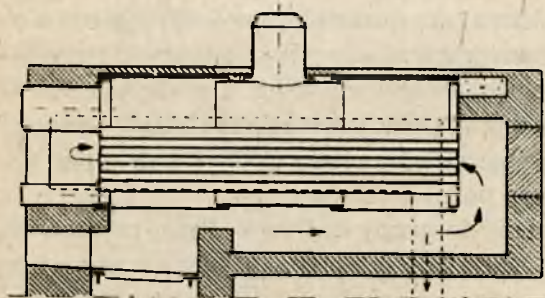
Sprawność kotłów płomienicowych nie jest duża, normalnie wynosi około 65%. Wobec tego, że w kotłach tych duże ilości ciepła uchodzą przez obmurze, ostatnio kotłów płomienicowych nie obmuruje się, lecz ich zewnętrzną powierzchnię dobrze się izoluje, a gazy spalinowe po wyjściu z płomienic kieruje do przegrzewacza pary oraz wyzyskuje do podgrzewania wody zasilającej. Przy takim rozwiązaniu konstrukcyjnym sprawność kotła przekracza 75%, koszty inwestycyjne zmniejszają się, gdyż odpada koszt obmurowania, zmniejsza się również powierzchnia zajmowana przez kocioł w kotłowni i obniża się potrzebna siła ciągu.

Kotły płomienicowe należą do grupy kotłów o dużej pojemności wodnej, wobec czego wykazują one wszystkie zalety i wady z tym związane. Są one proste, łatwe do obsługi, nadają się do zmiennego obciążenia, nie stawiają specjalnych wymagań co do czystości wody i dlatego chętnie są stosowane w małych, a czasami w średniej wielkości fabrykach przemysłu chemicznego i spożywczego. Do wad kotłów tego typu zalicza się małą wydajność i niewysoką sprawność, zajmowanie dużo miejsca, stosunkowo słabe krążenie wody, szczególnie w kotłach dwupłomienicowych, i niebezpieczeństwo wybrzuszenia się płomienic nad paleniskiem wskutek silnego ich przegrzania się, gdy z jakiegoś powodu obniży się poziom wody w kotle. Kotły te stosowane są w przemyśle chemicznym nie tylko do wytwarzania pary, ale również i do innych celów, np. jako kotły destylacyjne w aparaturze Nobla do destylacji ropy naftowej.

Powierzchnia ogrzewalna kotłów płomienicowych dochodzi do 150 m², jej natężenie waha się w granicach od 18 do 24 kg/m²·godz, a wydajność kotłów dochodzi do 3500 kg pary na godzinę.

Kotły płomieniówkowe. Płomieniówkowymi albo ogniururkowymi nazywamy takie kotły, które zamiast jednej lub dwóch rur o dużej średnicy mają kilkadziesiąt lub nawet przeszło sto rurek o małej średnicy (od 40 do 70 mm). Rurki te, wykonane bez szwu, o grubości ścianek 3—4 mm przechodzą przez kocioł od jednej do drugiej jego dennicy (rys. 76). Dennice kotłów płomieniówkowych są płaskie, odpowiednio wzmocnione dla zapobieżenia ich odkształceniom pod wpływem ciśnienia panującego w kotle. Mają one otwory, w których przez rozwalcowanie umocowane są końce płomieniówek. Takie denka z otworami nazywamy denkami sitowymi.

Długość rurek płomieniówkowych, a więc i długość kotła nie przekracza zwykle 5 m. Budowa dłuższych kotłów nie jest celowa, gdyż spaliny w rurkach szybko się ochładzają i większa ich długość nie byłaby wykonalna. Paleniska przy kotłach płomieniówkowych są albo dolne, albo przednie.



Rys. 76. Kocioł płomieniówkowy

W pierwszym przypadku kocioł jest obmurowany w taki sposób, że gazy spalinowe ogrzewają go wpierw od dołu, a później płyną przez rurki

grzejąc go od wewnątrz i następnie z boków. W drugim przypadku kotła można nie obmurowywać, lecz dobrze zaizolować, a gazy spalinowe po przejściu przez rurki, jeżeli są jeszcze dostatecznie gorące, kierować do przegrzewacza pary i podgrzewacza wody.

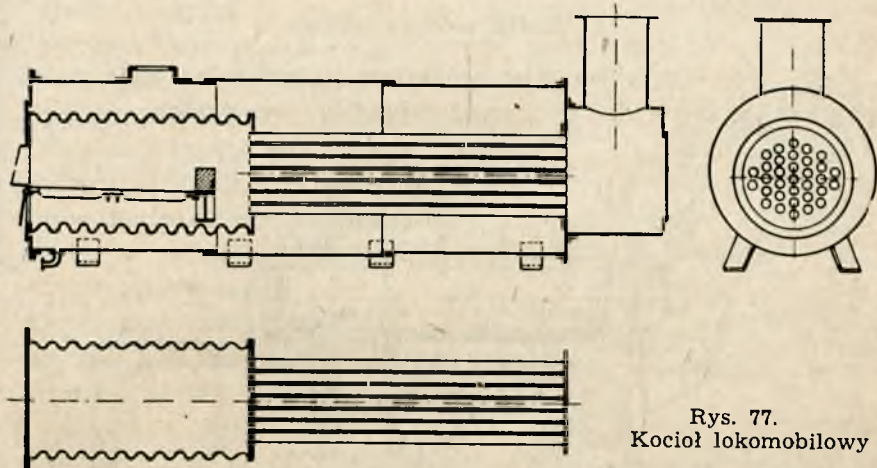
Wadą kotłów płomieniówkowych jest szybkie zanieczyszczenie się ich rurek sadzą i lotnym popiołem, co wymaga częstego ich oczyszczania oraz usuwania z wewnętrznej powierzchni rurek kamienia kotłowego. Z tego powodu kotły płomieniówkowe należy zasilać wodą miękką lub lepiej destylowaną (skroplinami). Powierzchnia ogrzewalna i wydajność tych kotłów jest niewiele większa od powierzchni ogrzewalnej kotłów płomienicowych, a konstrukcja ich bardziej skomplikowana.

Kotły płomieniówkowe jako kotły samodzielne nie są obecnie stosowane, natomiast wchodzi w skład kotłów kombinowanych lub stanowią część aparatury przemysłowej fabryk chemicznych, gdzie służą do wyzyskania ciepła odpadkowego.

Kotły kombinowane są połączeniem kotła płomieniówkowego z walczakowym lub płomienicowym. W pierwszym dwudziestopięcioleciu obecnego stulecia kotły kombinowane były bardzo szeroko stosowane w przemyśle chemicznym i spożywczym wypierając kotły płomieniówkowe. Obecnie kotły kombinowane budowane są dla drobnego przemysłu i rolnictwa jako kotły lokomobilowe,

a dla celów komunikacyjnych — jako kotły parowozowe i okrętowe.

Kocioł lokomobilowy, przedstawiony na rys. 77, ma krótką falistą płomienicę z paleniskiem wewnętrznym i szereg płomieniówek. Płomienica z rurkami płomiennymi stanowi całość, która śrubami połączona jest z kotłem. Można ją wyciągnąć z ko-



Rys. 77.
Kocioł lokomobilowy

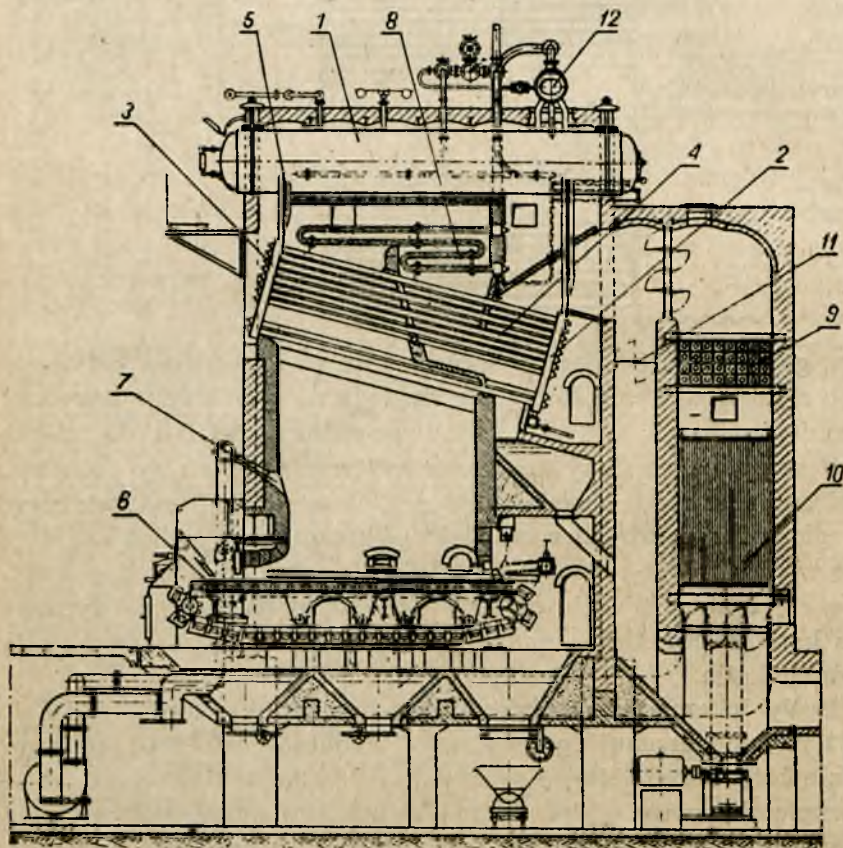
ta, gdy zachodzi potrzeba oczyszczania go z kamienia kotłowego lub wymiany płomieniówek. Ze względu na dość trudne usuwanie kamienia z rurek kotły lokomobilowe należy zasilać wodą miękką lub skroplinami. Gazy spalinowe wytwarzające się w palenisku tuż za przewalem wchodzą do rurek płomiennych, wskutek czego węglowodory, które bezpośrednio po narzuceniu paliwa znajdują się w nich w dość dużej ilości, nie mają czasu na dokładne spalenie się i niecałkowicie spalone uchodzą przez komorę dymową do komina powodując nadmierne dymienie i zwiększając straty ciepłe kotła.

Kotły lokomobilowe wykonuje się różnej wielkości: od 10 do 120 m² powierzchni ogrzewalnej i wydajności do 2500 kg pary. Małe kotły lokomobilowe są zwykle jednopłomienicowe, a duże — dwupłomienicowe. Odpowiednio duża ilość płomieniówek umożliwia uzyskanie potrzebnej powierzchni ogrzewalnej przy stosunkowo małych wymiarach i niewielkim ciężarze, co pozwala na ustawienie kotła na kołach i przesuwanie z miejsca na miejsce. Kotły stałe mają odpowiednie łapy, którymi są przymocowane

do fundamentów. Można je obmurowywać podobnie jak kotły płomienne albo, co się zdarza częściej, tylko izolować. Kotły ruchome izoluje się zwykle azbestem i korkiem, kotły zaś stałe — ziemią okrzemkową, watą szklaną lub inną odpowiednią masą izolacyjną. Sprawność kotłów lokomobilowych jest większa od sprawności kotłów płomienicowych i wynosi od 70 do 75%.

33. Kotły wodnorurkowe

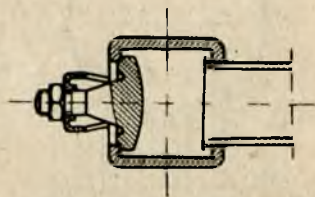
Kotły wodnorurkowe albo opłomkowe obecnie są najczęściej spotykane w średnich i większych zakładach przemysłowych, gdyż



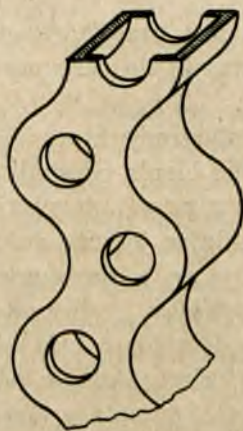
Rys. 78. Kocioł systemu Babcock i Wilcox: 1 — walczak, 2 i 3 — przednie i tylne skrzynki sekcyjne, 4 — opłomki, 5 — komora paleniskowa, 6 — ruszt taśmowy, 7 — powietrze wtórne, 8 — przegrzewacz pary, 9 — podgrzewacz wody, 10 — podgrzewacz powietrza, 11 — kłapy, 12 — zbiornik pary

bardziej niż inne typy kotłów nadają się one do wysokich ciśnień przy dużej powierzchni ogrzewalnej, wielkiej wydajności pary i wysokiej sprawności. Istnieją dwie odmiany kotłów tego typu: z rurkami słabo pochylonymi i z rurkami stromymi. Pierwsze można podzielić na kotły komorowe i sekcyjne, drugie — na kotły o rurkach prostych i wygiętych.

Kotły sekcyjne. Na rys. 78 przedstawiono wodnorurkowy kocioł o rurkach słabo pochylonych, nowszej konstrukcji firmy Babcock Wilcox. Główną część składową tego kotła stanowi walczak 1, tylne i przednie skrzynki sekcyjne 2 i 3, rurki wodne (opłomki) 4 o średnicy od 70 do 100 mm i rury łączące skrzynki sekcyjne z walczakiem 5. Oba końce opłomek połączone są ze skrzynkami przez rozwalcowanie, jak to pokazano na rys. 79. Aby połączenie to można było wykonać, oraz aby rurki wodne można było wyjmować i wkładać przy ich wymianie, skrzynki sekcyjne mają otwory rozmieszczone naprzeciw siebie w obu przeciwległych zewnętrznych ścianach. Otwory te są nieco większe od otworów, w których są rozwalcowane opłomki i zamykane są pokrywkami. Pokrywki zamykają skrzynie od wewnątrz, aby ciśnienie panujące w kotle dociskało je do ściany; z zewnątrz pokrywki dociśnięte są za pomocą pałaka i nakrętki. Skrzynki sekcyjne są to długie wąskie stalowe skrzynie; mają one kształt falisty, co umożliwia objęcie większej ilości opłomek rozstawionych w szachownicę (rys. 80). Opłomki połączone z jedną skrzynką tworzą sekcję; stąd pochodzi nazwa „skrzynka sekcyjna“ i „kotły sekcyjne“. Skrzynki sekcyjne zarówno tylne, jak i przednie połączone są z walczakiem za pomocą odpo-



Rys. 79. Łączenie opłomek ze skrzynkami przez rozwalcowanie

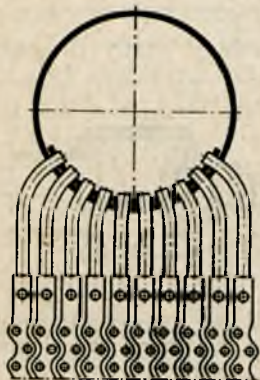


Rys. 80. Skrzynka sekcyjna

wiednio wygiętych rur (rys. 81). Skrzynki tylne umieszczone są niżej niż przednie, tak że rurki ustawione są pochyło,

przy czym kąt ich nachylenia do poziomu wynosi od 11 do 15°. Pochyłe ustawienie rurek ułatwia krążenie wody, która znajduje się w kotle i całkowicie wypełnia opłomki, skrzynie sekcyjne i rury łączące je z kotłem.

Ruch wody w opłomkach w kierunku od tylnych skrzyń sekcyjnych do przednich spowodowany jest silniejszym ogrzewaniem



Rys. 81. Połączenie skrzynek sekcyjnych z walczykiem

przedniej części rurek wodnych gorącymi gazami spalinowymi. Wskutek tego woda z opłomek przez przednie skrzynie przepływa do walczyka, a z niego przez skrzynie tylne opada na dół. Silne krążenie wody utrudnia osiadanie kamienia kotłowego wewnątrz rurek i dodatkowo wpływa na przewodnictwo ciepła.

W rozpatrywanym typie kotła palenisko jest dolne o ruszcie taśmowym 6, podmuchu i doprowadzaniu wtórnego powietrza przez przewód 7. Ma on dużą komorę spalań (przestrzeń nadrusztową), która umożliwia osiągnięcie zupełnego i prawie bezdymnego spalania.

Pomiędzy opłomkami i kotłem umieszczony jest przegrzewacz pary 8, którego zadaniem jest osuszanie i przegrzewanie pary wytwarzanej przez kocioł.

Gorące gazy spalinowe przez odpowiednie przegrody kierowane są w poprzek opłomek, co ułatwia przenikanie ciepła od spalin poprzez ścianki opłomek do wody. Po przejściu przez pierwszy (przedni) odcinek rurek wodnych, gazy te posiadając jeszcze dość wysoką temperaturę ogrzewają przegrzewacz pary, a następnie oddając w dalszym ciągu ciepło płyną przez środkowy i tylny odcinek opłomek. Wobec tego, że spaliny po przejściu przez ostatni odcinek rurek wodnych są jeszcze dość gorące, kieruje się je do podgrzewacza wody 9 i podgrzewacza powietrza 10 w celu wykorzystania zawartego w nich ciepła i zmniejszenia przez to strat kominowych. Przy uruchamianiu kotła lub przy bardzo słabym jego obciążeniu, gdy gazy spalinowe nie są dość gorące, podgrzewacze wody i powietrza można wyłączyć za pomocą klap 11.

Dwa dolne szeregi opłomek prawie na całej swej długości umie-

szczone są w górnej części paleniska. Otrzymują one dużo ciepła przez promieniowanie, co zwiększa natężenie powierzchni ogrzewalnej kotła i jego wydajność.

Para nasycona z walczaka kilkoma rurami dostaje się do zbiornika pary 12, umieszczonego nad walczakiem, skąd kierowana jest do przegrzewacza, a po osuszeniu i przegrzaniu odprowadzana jest poza kocioł.

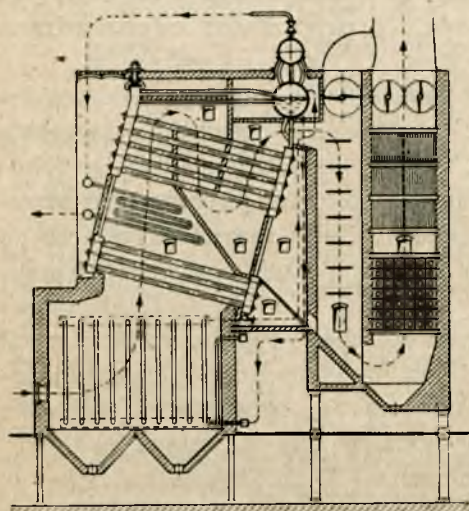
Kotły wodnorurkowe należy zasilać wodą miękką, najlepiej destylowaną (skroplinami), gdyż oczyszczanie opłomek z kamienia kotłowego zabiera dużo czasu. W celu oczyszczenia najpierw kocioł należy opróżnić i pozdejmować pokrywki zamykające otwory w skrzynkach wodnych; dopiero wtedy można przystąpić do usuwania kamienia kotłowego z wewnętrznej powierzchni opłomek.

Ciśnienie w kotłach sekcyjnych opisanego typu, wykonywanych dotychczas, wynosi od 25 do 50 atn, powierzchnia ogrzewalna dochodzi do 600 m², natężenie powierzchni ogrzewalnej waha się w granicach od 25 do 50 kg/m²·godz, wydajność osiąga 30 t/godz, a sprawność zawiera się w granicach od 75 do 83%.

Kotły opłomkowe o dużej wydajności. Dla uzyskania dużych powierzchni ogrzewalnych i w związku z tym większych ilości pary zamiast walczaka podłużnego (jak w omawianym powyżej przypadku) buduje się kotły sekcyjne z walczakiem ustawionym poprzecznie, którego oś jest prostopadła do osi opłomek. Układ poprzeczny walczaka umożliwia budowę kotłów o dużej szerokości, a więc i o dużej powierzchni ogrzewalnej w przeciwieństwie do układu podłużnego, w którym ilość skrzynek sekcyjnych, a w związku z tym i wielkość powierzchni ogrzewalnej jest ograniczona średnicą walczaka, sumaryczna bowiem szerokość wszystkich skrzynek sekcyjnych nie może być znacznie większa od średnicy walczaka. Walczak poprzeczny bywa ustawiony albo nad tylnymi, albo nad przednimi skrzynkami sekcyjnymi, z którymi łączy się za pośrednictwem rur pionowych. Skrzynki sekcyjne, które nie są umieszczone pod walczakiem, łączą się z nim za pomocą rur prawie poziomych. Jeden z takich kotłów przedstawiono na rys. 82. Opłomki w tym kotle podzielone są na dwie grupy, pomiędzy którymi znajduje się przegrzewacz pary. Dolną grupę opłomek ustawia się bezpośrednio nad pale-

niskiem, wskutek czego pobierają one dużo ciepła przez promieniowanie.

Kotły sekcyjne z walczakiem poprzecznym wytwarzają znaczne ilości pary (do 240 t/godz), ich powierzchnia ogrzewalna w instalacjach dotychczas wykonywanych wynosi od 500 do 2400 m², natężenie powierzchni ogrzewalnej średnio waha się w granicach od 35 do 70 kg/m²·godz, a przy forsownym wykorzystywaniu kotła dochodzi do 100 kg/m²·godz, ciśnienie zaś pary — do 120 atn.

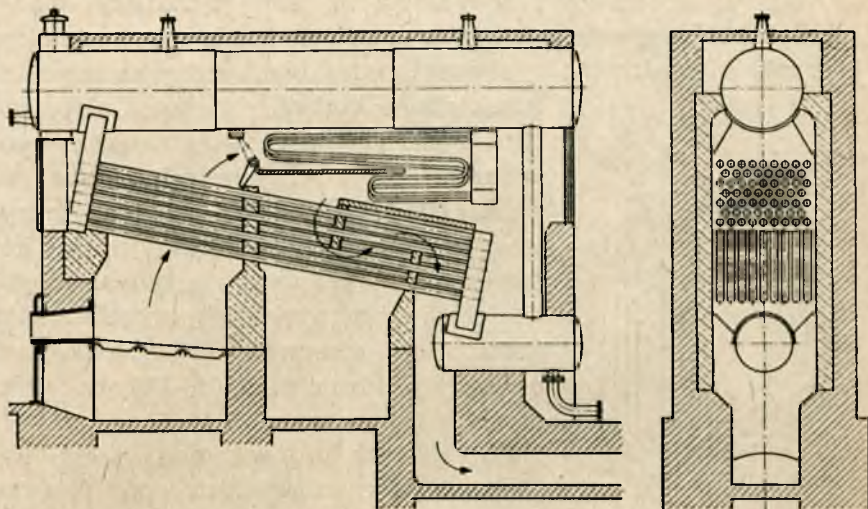


Rys. 82. Kocioł opłomkowy z walczakiem poprzecznym

Kotły komorowe spotykane jeszcze dość często w małych i średnich zakładach przemysłowych nie są obecnie budowane. Pod względem konstrukcji ustępują one kotłom sekcyjnym.

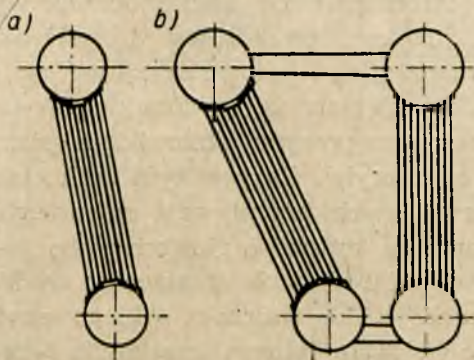
Na rys. 83 przedstawiono opłomkowy kocioł komorowy konstrukcji polskiej, wykonywany przez fabrykę budowy kotłów w Sosnowcu. Od kotłów sekcyjnych z walczakiem podłużnym różni się on tym, że zamiast wielu skrzynek sekcyjnych z przodu i z tyłu ma on tylko po jednej bardzo szerokiej skrzyni wodnej obejmującej wszystkie opłomki. Pod tylną skrzynią znajduje się cylindryczny zbiornik, tzw. błotnik, połączony z nią bezpośrednio, a z walczakiem połączony za pośrednictwem rury pionowej. W błotniku zbiera się osad powstający z różnych soli, głównie wapiennych i magnezowych rozpuszczonych w wodzie zasilającej kocioł. Z soli tych powstaje kamień kotłowy, którego duże ilości — jak wykazała praktyka — gromadzą się w miejscach położonych najniżej, gdzie jest najslabsze krążenie. Z tych powodów w omawianym kotle kamień kotłowy osiada poza walczakiem, głównie w błotniku, z którego łatwo go usunąć. Wskutek tego

w rurkach wytwarza się mniej kamienia kotłowego, co umożliwia dłuższą ich pracę bez kłopotliwego oczyszczania.

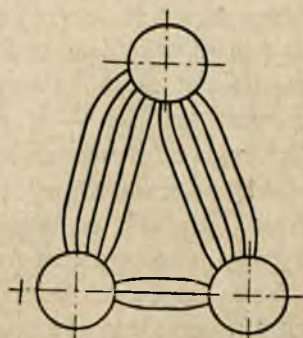


Rys. 83. Kocioł dwukomorowy systemu Fitzner i Gamper

Powierzchnia ogrzewalna kotłów komorowych wynosi od 50 do 450 m², natężenie — od 25 do 35 kg/m²·godz, wydajność dochodzi do 16 t/godz, a ciśnienie — do 20 atn.



Rys. 84. Schematy kotłów stromorukowych systemu Garbego: a) dwuwalczkowy, b) czterowalczkowy

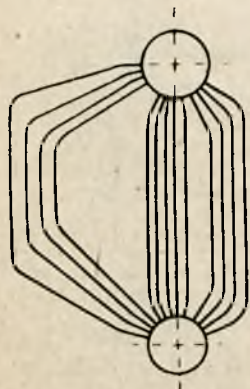


Rys. 85. Schemat kotła stromorukowego systemu Stirlinga

Kotły stromorukowe nie posiadają skrzyń wodnych. Opłomki są rozwalcowane w tych kotłach bezpośrednio w ścianach walcza-

ków. Ilość walczaków wynosi od 2 do 5. Na rys. 84, 85 i 86 podano schematy budowanych dotychczas kotłów stromorurkowych.

Kotły stromorurkowe wyróżniają się silną cyrkulacją wody, kamień kotłowy więc wewnątrz rurek wodnych ma trudniejsze warunki do osadzania się; również mniej osiada sadzy na zewnątrz rurek niż w kotłach o rurkach słabo pochylonych, wskutek czego natężenie powierzchni ogrzewalnych tych kotłów jest duże. Elastyczna budowa oraz brak pokrywek, jakie są w kotłach sekcyjnych i komorowych, a w związku z tym usunięcie trudności związanych z ich uszczelnianiem, umożliwiając stosowanie w tych kotłach bardzo wysokich ciśnień (do 120 atn i wyższych).

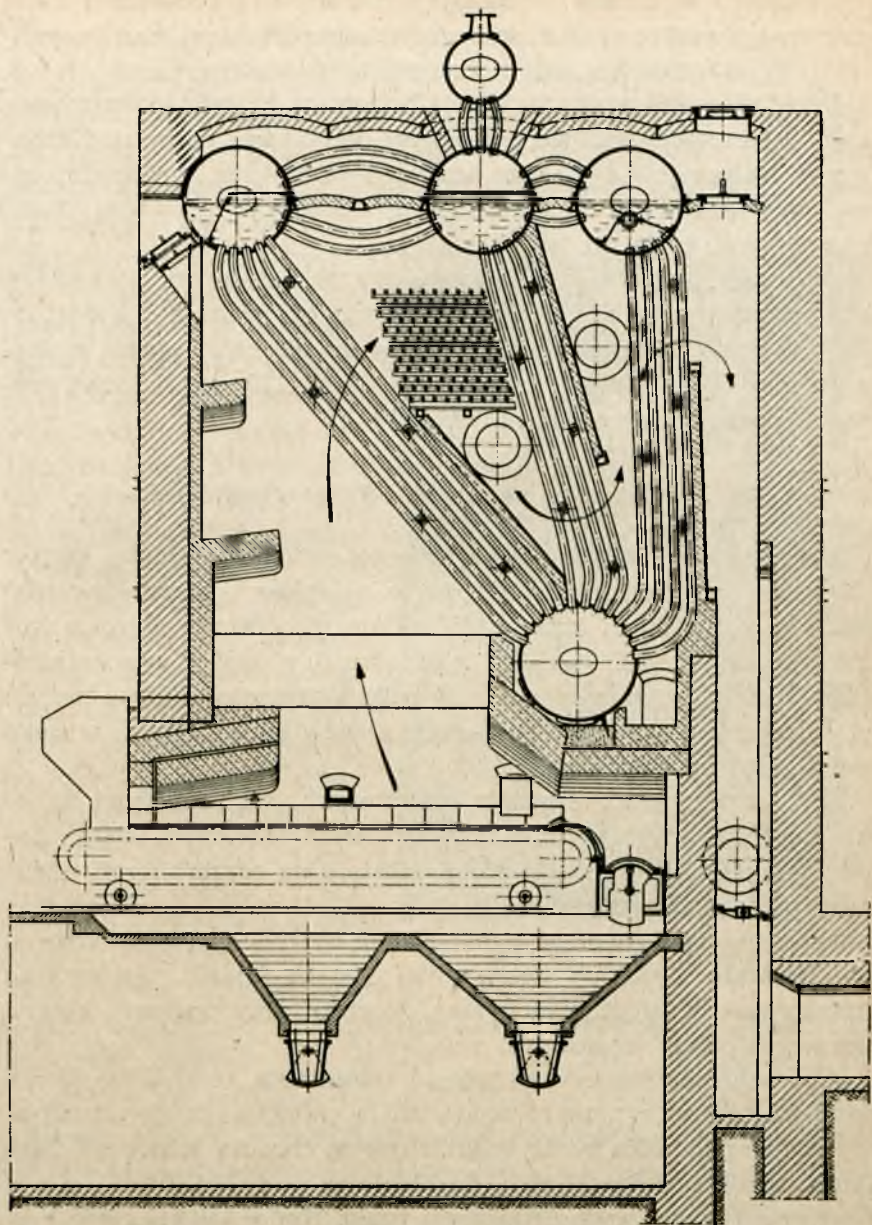


Rys. 86. Schemat kotła stromorurkowego dwuwalczakowego, trzypęczkowego

Do wad tych kotłów można zaliczyć konieczność używania w nich wody destylowanej wskutek trudności związanych z oczyszczaniem wygiętych opłomek z kamienia kotłowego, bardziej kłopotliwą wymianę opłomek oraz wysoki budynek kotłowni.

Na rys. 87 przedstawiono stromorurkowy kocioł opłomkowy o powierzchni ogrzewalnej 500 m², posiadający 4 walczaki i 3 pęczki opłomek. Przestrzenie wodne i parowe skrajnych walczaków połączone są szeregami wygiętych rur z walczakiem środkowym, ten zaś — z umieszczonym powyżej zbiornikiem pary, z którego odprowadza się ją na fabrykę. Gazy w tym kotle, jak w większości kotłów stromorurkowych przepływają równoległe do osi opłomek, co w porównaniu z kotłami o rurkach słabo pochylonych ze względu na przewodnictwo ciepła stanowi ich wadę.

Woda zasilająca doprowadzana jest do walczaka tylnego, skąd tylnym pęczkiem rur opada do walczaka dolnego i następnie pęczkami — przednim i środkowym, silnie parując — wznosi się do góry. Rury łączące przestrzenie wodne górnych walczaków służą do utrzymywania w nich poziomu wody na jednakowej wysokości. Pomiedzy przednim a środkowym pęczkiem rur znajduje się przegrzewacz.



Rys. 87. Kocioł stromorurkowy o powierzchni ogrzewalnej 500 m²

Palenisko o ruszcie taśmowym ma wysoką przestrzeń nadrusztową (komorę spalań), co sprzyja dobremu spalaniu się paliwa przy stosunkowo małym nadmiarze powietrza.

Przed pierwszą wojną światową budowano kotły stromorurkowe dwu- i czterowalczakowe z prostymi opłomkami pomysłu Garbego. W kotłach tego typu tym częściami walczaków, w których rozwalcowywano rurki, nadawano kształt schodkowy (rys. 84a). Obecnie nie buduje się już takich kotłów.

Nowoczesne kotły opłomkowe o rurkach stromych są kotłami o wysokiej wydajności. Ich powierzchnia ogrzewalna dochodzi do 3000 m², natężenie tej powierzchni — do 100 kg/m²·godz, wydajność pary — do 300 t/godz, ciśnienie — do 120 atn, a nawet wyżej, a sprawność wynosi od 80 do 85%.

34. Kotły opromieniowane i kotły wysokoprężne

Kotły opromieniowane. W celu zwiększenia wydajności kotłów parowych oraz ich sprawności przez polepszenie warunków spalania w paleniskach kotłowych buduje się obecnie wysokie komory spalań. Dzięki lepszemu wymieszaniu gazów w wysokiej komorze osiąga się zupełne spalanie paliwa przy stosunkowo małym współczynniku nadmiaru powietrza, a w związku z tym — wysoką temperaturę w palenisku.

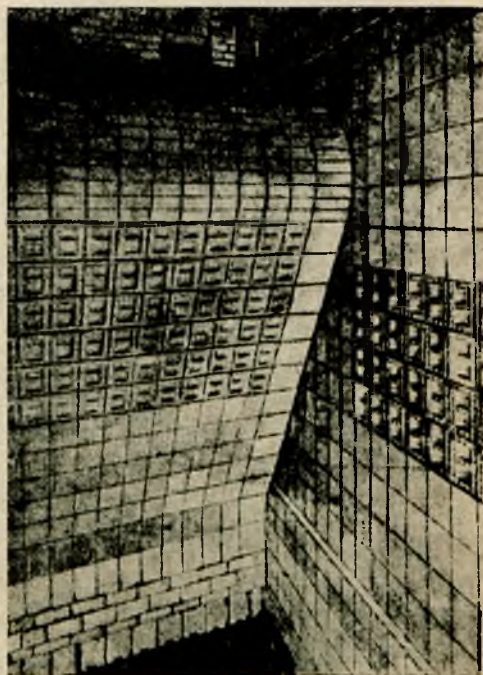
Wysoka temperatura gazów spalinowych jest przyczyną topienia się porywanych przez te gazy drobnych cząsteczek żużlu i popiołu. Roztopione kropelki żużlu osiadają na rozżarzonych ściankach paleniska, wykonanych z cegły ogniotrwałej i działając chemicznie na cegłę (tworząc z materiałem cegły stopy mało odporne na działanie wysokich temperatur) niszczą ścianki. Szczególnie intensywnie występuje powyższe zjawisko przy opalaniu kotłów parowych pyłem węglowym.

Aby ochronić ściany palenisk od zniszczenia, osłania się je rurami stalowymi z przepływającą wodą chłodzącą umieszczonymi wewnątrz paleniska blisko ścian. Rury te chronią ściany od działania wysokiej temperatury, pochłaniając promieniowanie ciepła oraz przed szkodliwym działaniem żużlu. Końce ich na górze i na dole połączone są rurami zbiorczymi o dużej średnicy, znajdującymi się na zewnątrz obmurza paleniskowego. Woda doprowadza-

na z walczaka do dolnych rur zbiorczych przepływa przez rurki wewnątrz paleniska i paruje, pobierając ciepło. Mieszanka wody i pary poprzez górne rury zbiorcze wraca do kotła.

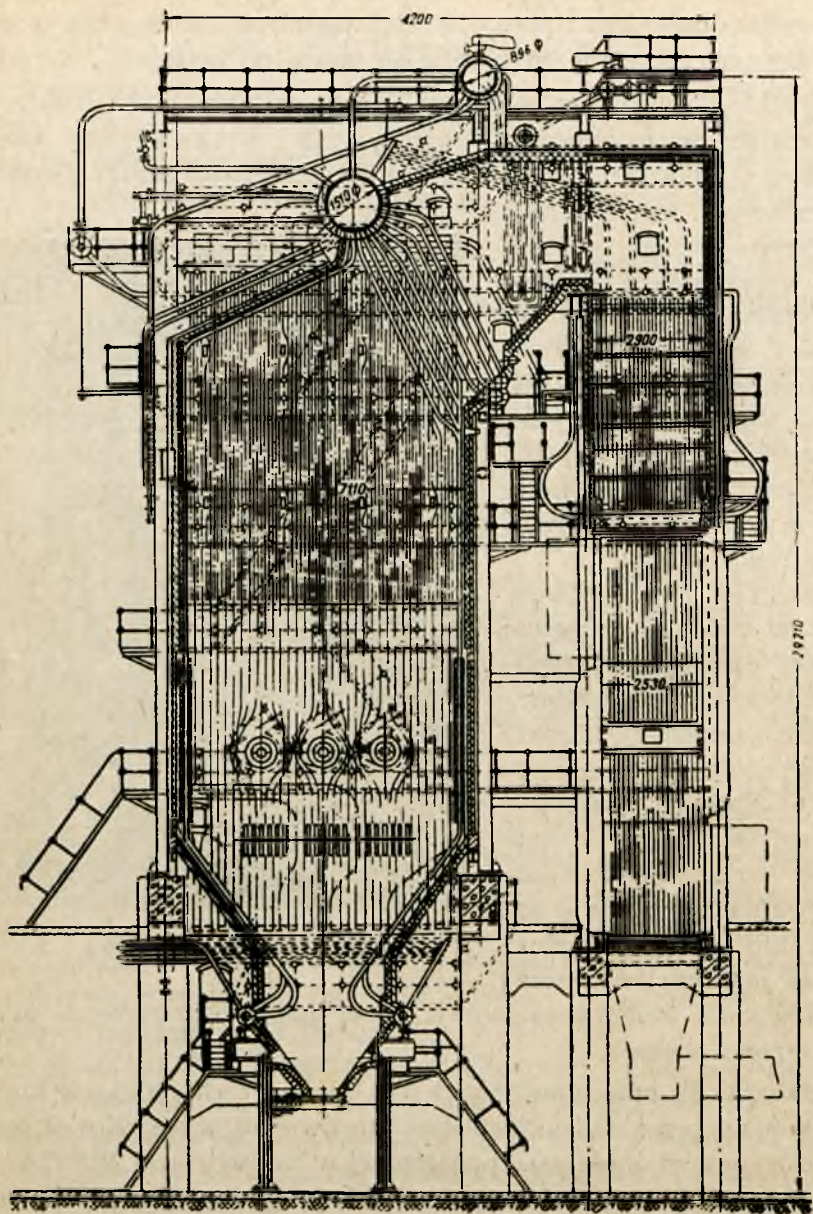
Rurki osłaniające w palenisku, tworzą jak gdyby ekran zabezpieczający ściany przed promieniowaniem i z tego względu noszą nazwę ekranowych. Pod działaniem wysokiej temperatury i jednostronnego, intensywnego ogrzewania rurki ekranowe wypaczają się i ulegają przepaleniu. Aby temu zaradzić, stosuje się ściany ochronne konstrukcji Bailleya, wykonane z płyt żeliwnych specjalnego kształtu, pokrytych od strony ognia materiałem ogniotrwałym (rys. 88).

Rurki ekranowe pobierając w palenisku znaczne ilości ciepła silnie zwiększają natężenie powierzchni ogrzewalnej. Zostało to wyzyskane w nowoczesnych kotłach opalanych pyłem węglowym, w których rurki ekranowe odgrywają główną rolę w odbieraniu energii cieplnej przez powierzchnię ogrzewalną kotła. Kotły tego rodzaju noszą nazwę ekranowych albo opromieniowanych.



Rys. 88. Ściana Bailley'a

Na rys. 89 przedstawiono kocioł opromieniowany, wykonany przez radzieckich specjalistów kotłowych. Kocioł ten, w którym wydajność pary przegrzanej w temperaturze 425°C wynosi 200 t/godz pracujący pod ciśnieniem 35 atn, opalany pyłem węglowym ma duże i całkowicie ekranowane palenisko. Zapewnia to dobre, prawie bezdymne spalanie paliwa i energiczne pobiera-



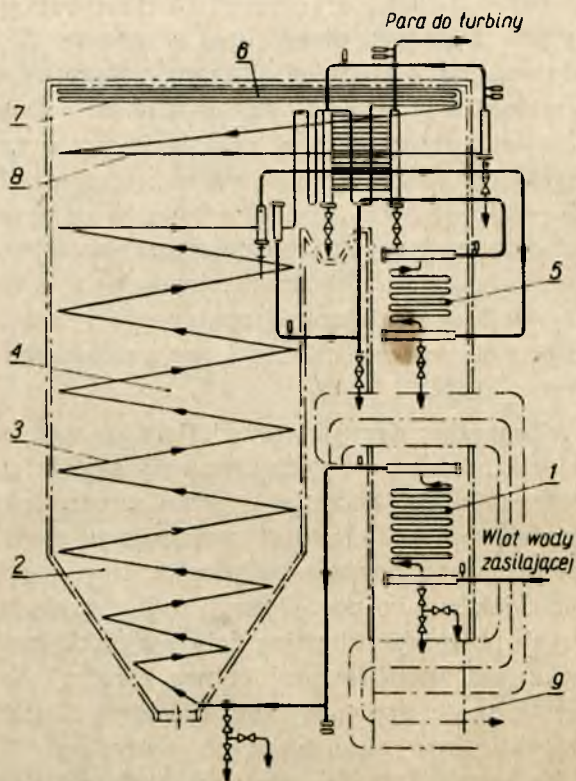
Rys. 89. Kocioł opromieniowany konstrukcji radzieckiej

nie ciepła, przez co temperatura gazów spalinowych opuszczających palenisko nie jest zbyt wysoka. Z tego powodu ilość opłomek w tym kotle oraz ich powierzchnia ogrzewalna są małe. Kocioł posiada walczak o średnicy 1510 mm; w jego ściankach znajdują się rozwalcowane opłomki oraz rury, którymi odpływa lub powraca woda przepływająca przez rurki ekranowe. Zbiornik pary stanowi mały walczak o średnicy 896 mm, połączony z przestrzenią parową walczaka głównego. Gazy spalinowe po wyjściu z paleniska i przejściu przez opłomki ogrzewają przegrzewacz pary, a następnie podgrzewacz wody i powietrza, gdzie oziębiają się do odpowiednio niskiej temperatury. Wzorując się na powyższym kotle parowym oraz wykorzystując ostatnie zdobycze nauki i techniki opracowano w ZSRR znormalizowany typ kotła opromieniowanego o wielkiej wydajności, opalanego pyłem węglowym, pracującego pod ciśnieniem 100 atn i wytwarzającego parę przegrzaną do temp. 510°C.

Kotły wysokoprężne. Korzyści wynikające ze stosowania wysokich ciśnień w silnikach parowych wysunęły zagadnienie budowy kotłów wysokoprężnych. Zadanie to zostało rozmaicie rozwiązane przez konstruktorów. Jedni dostosowali do nowych warunków znane przedtem i wypróbowane kotły opłomkowe zarówno o rurkach stromych, jak i słabo pochylonych (o konstrukcjach częściowo omawianych powyżej) osiągając dobre wyniki. Inni — porzucając stosowane od wielu lat szablonowe konstrukcje — próbowali pokonać trudności spowodowane wysokimi ciśnieniami przez realizację zupełnie nowych i śmiałych pomysłów. W rezultacie powstało kilka oryginalnych i wartościowych rozwiązań, z których na uwagę zasługują kotły Ramzina i La Monta.

Kocioł Ramzina. Na kilka lat przed drugą wojną światową wybitny radziecki specjalista i utalentowany konstruktor w dziedzinie kotłów parowych prof. Ramzin opracował konstrukcję przepływowego kotła wysokoprężnego o wydajności pary od 160 do 200 t/godz. Kocioł ten po wybudowaniu wykazał tak wiele zalet, że po wojnie uzyskał on dość szerokie zastosowanie. Wybudowano dużo kotłów tego typu o różnej wielkości, w tym kilka kotłów o wydajności 220 t/godz, pracujących pod ciśnieniem 100 atn.

Kocioł systemu Ramzina, przedstawiony schematycznie na rys. 90, działa w sposób następujący: woda zasilająca przez rurkowy podgrzewacz 1 dostaje się do szeregu rur 2 znajdujących się w dolnym leju kotła i płynie dalej przez opromieniowane w pa-



Rys. 90. Kocioł Ramzina: 1 — podgrzewacz wody, 2 — rurki dolne, 3 — rurki opromieniowane, 4 — komora paleniskowa, 5 — rurki strefy przejściowej, 6 — przegrzewacz konwekcyjny, 7 — przegrzewacz ekranowy, 8 — przegrzewacz opromieniany, 9 — podgrzewacz powietrza

lenisku pyłowym 4 rury 3, gdzie następuje jej parowanie. Rury te, stanowiące jednocześnie osłonę ścian paleniskowych, ułożone są przy ścianie czołowej i tylnej prawie poziomo, a przy ścianach bocznych — pochyło. Z rur tych mieszanina wody i pary wchodzi do rur 5 strefy przejściowej ogrzewanej spalinami, które po wyjściu z paleniska spływają ku dołowi. W rurach tych nastę-

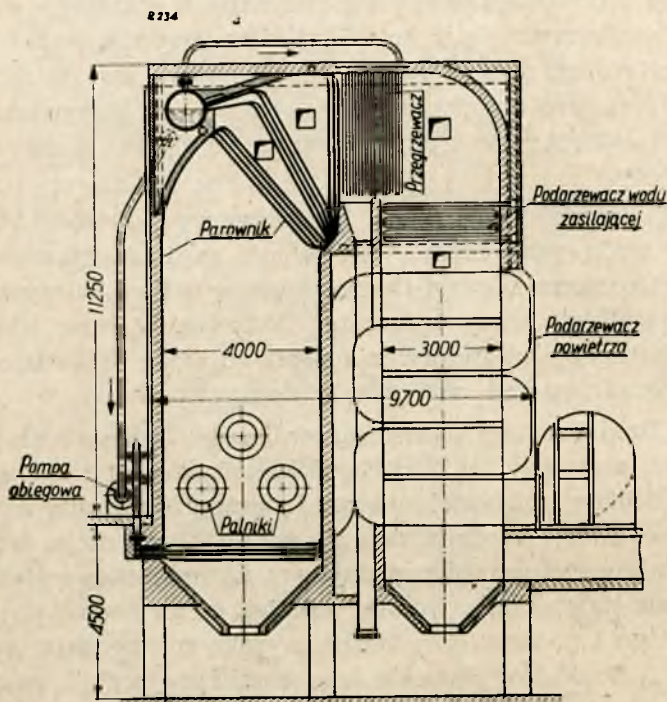
puje dalsze odparowanie wody. Para przegrzewana jest kolejno w kilku przegrzewaczach: najpierw — w konwekcyjnym 6, później — w ekranowym 7 umieszczonym pod stropem paleniska, następnie w opromieniowanym 8 i wreszcie w poziomym przegrzewaczu znajdującym się w krótkim poziomym kanale spalinowym. Para z ostatniego przegrzewacza odprowadzana jest do turbin parowych. Temperatura jej w razie nadmiernego przegrzania obniżana jest automatycznie do potrzebnej wysokości przez wtryskiwanie wody.

Kocioł Ramzina jako kocioł przepływowy powinien być stale zasilany wodą, przy czym intensywność zasilania musi odpowiadać ilości pobieranej pary. Doprowadzanie paliwa należy zharmonizować z ilością wody wtłaczanej do kotła. W razie wstrzymania odbioru pary lub przerwania dopływu wody do kotła automatycznie powinien być wstrzymany dopływ paliwa.

Kotły Ramzina dały wyniki zadowalające. Jeden z nich pracuje w pewnej elektrowni w ZSRR już kilkanaście lat i był w ruchu przeszło 63000 godzin bez konieczności przeprowadzania większych remontów. Kotły te odznaczają się prostą konstrukcją, łatwą obsługą, małym ciężarem przypadającym na jednostkę wytwarzanej pary, małą pojemnością wodną, wskutek czego można je uruchomić w ciągu 1 godziny oraz bardzo wysoką sprawnością wynoszącą od 87,5 do 90,5%. Słusznie więc ustalił się pogląd, że obecnie one są najlepszymi kotłami.

Kocioł La Monta przedstawiony schematycznie na rys. 91 posiada wymuszony obieg wody pobieranej przez pompę obiegową z walczaka (umieszczonego poza paleniskiem i zupełnie nie ogrzewanego) i tłoczonej do rurek znajdujących się na ścianach komory paleniskowej. W rurkach tych, silnie ogrzewanych przez promieniowanie i konwekcję, woda paruje i zmieszana z parą wraca do walczaka, gdzie para oddziela się od wody i uchodzi do przegrzewacza, a następnie po przegrzaniu do odpowiedniej temperatury odpływa do turbiny lub do innych odbieralników. Gazy spalinowe po wyjściu z paleniska i ogrzaniu kilku rzędów rurek grzejnych przepływają przez przegrzewacz pary i podgrzewacz wody ogrzewając wodę zasilającą, która płynie do walczaka oraz przez skrzyniowy podgrzewacz powietrza.

Przymusowe krążenie wody umożliwia zastosowanie w kotłach La Monta rurek grzewczych o małej średnicy (30—38 mm), co polepsza przenikanie ciepła.



Rys. 91. Kocioł La Monta

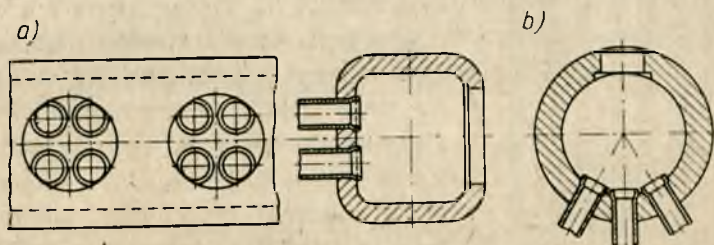
Kotły La Monta zaczęto budować stosunkowo niedawno i od razu zdobyły sobie one powodzenie jako kotły małej i średniej wydajności. Mają one duże natężenie powierzchni ogrzewalnej, przekraczające $100 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{godz}$, oraz dość wysoką sprawność; z tego względu w przyszłości prawdopodobnie zastąpią kotły płomienicowe i mniejsze kotły opłomkowe.

35. Przegrzewacze, podgrzewacze i osprzęt kotłów

Przegrzewacze pary. Para oddzielająca się w walczaku kotła od wody jest wilgotna. Porywa ona tym więcej wilgoci, im mniejsza jest powierzchnia zwierciadła wodnego, przypadająca na 1 kg pary

wytwarzanej w kotle. Średnio zawartość wilgoci w parze wynosi od 1 do 3%, a w niektórych wypadkach jest nawet większa. Do napędu maszyn i turbin parowych potrzebna jest para przegrzana, gdyż przy stosowaniu pary nasyconej sprawność silników parowych jest mała. Para przegrzana potrzebna jest również w fabrykach chemicznych do destylacji z parą wodną niektórych substancji organicznych oraz do innych celów technologicznych. Parę przeznaczoną do napędu maszyn parowych przegrzewa się do temp. 350—375°C, a parę przeznaczoną do napędu turbin parowych — do temp. 450°C.

Urządzenia, w których zachodzi osuszanie i przegrzewanie pary do potrzebnej temperatury, nazywamy przegrzewaczami. Budowa ich jest bardzo prosta: składają się one zwykle z dwóch komór zbiorczych mających kształt długich skrzyń o przekroju prostokątnym

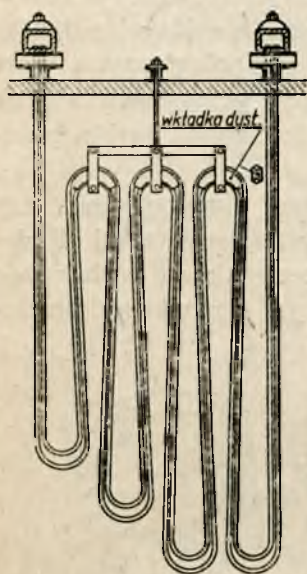


Rys. 92. Skrzynki przegrzewacza: a) o przekroju prostokątnym, b) o przekroju okrągłym

kątnym (rys. 92a) lub w przypadku wysokich ciśnień — o przekroju okrągłym (rys. 92b), połączonych szeregiem długich rurek o średnicy od 38/30 mm przy niskich ciśnieniach do 51/35,6 mm — przy wysokich. Końce rurek przegrzewacza są zwykle rozwalcowywane w ściankach komór zbiorczych lub — co zdarza się rzadziej — do nich przyspawane. Otwory w przeciwległej ścianie, przez które przeprowadza się rozwalcowanie, są zamykane pokrywami podobnymi do pokryw używanych w skrzynkach sekcyjnych kotłów opłomkowych.

Przegrzewacze bywają leżące, jak na rys. 78 i 82 lub wiszące jak na rys. 93. Ustawia się je zwykle w takich miejscach, gdzie temperatura spalin wynosi od 500 do 750°C, gdyż w wyższych temperaturach rurki zbyt szybko się przepalają. Przegrzewacze

powinny być zaopatrzone w termometr, zawór bezpieczeństwa oraz zawór spustowy do usuwania skroplin po zatrzymaniu kotła. Powierzchnia ogrzewalna przegrzewacza w kotłach dawnej konstrukcji wynosiła od 30 do 40% powierzchni ogrzewalnej kotła, w kotłach zaś nowszej konstrukcji dochodzi do 80%, a nawet przekracza 100%.



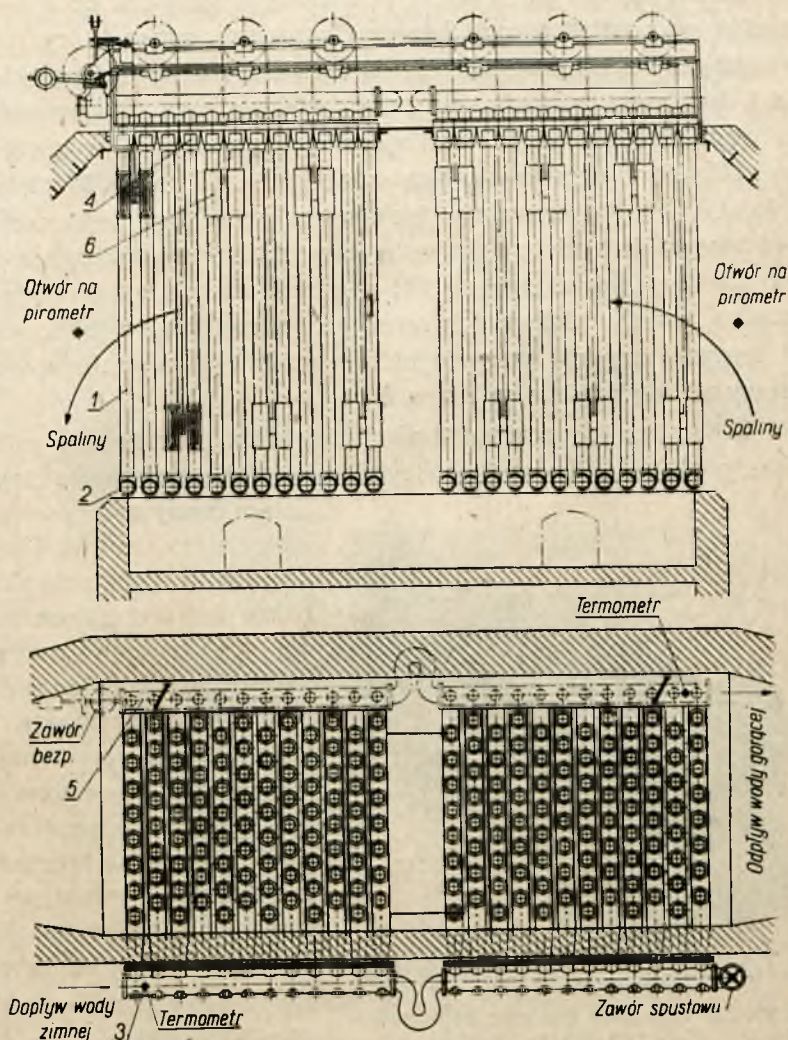
Rys. 93. Przegrzewacz wiszący

Podgrzewacze wody. Gazy spalinowe opuszczając kocioł mają temperaturę wyższą od temperatury wrzenia wody w kotle w najlepszym razie o 50 do 100°C, a przy forsownym wykorzystywaniu kotła — różnica między temperaturą wody w kotle i temperaturą gazów jest większa niż 100°C. Temperatura ich w czopuchu kotła przy normalnym obciążeniu wynosi zwykle od 250 do 350°C, a w razie przeciążenia jest znacznie wyższa. Gazy spalinowe o tak wysokiej temperaturze unoszą do komina dużo ciepła, które w znacznej części traci się nieużytecznie, gdyż dla utrzymania dość dużego ciągu w kominie wystarczy temperatura spalin, zawierająca się w granicach

od 180 do 200°C, a przy ciągu sztucznym temperatura spalin w kominie może być dowolnie niska. Dla wyzyskania ciepła zawartego w spalinach, a przez to dla zmniejszenia strat kominowych i zwiększenia sprawności kotła na drodze gazów spalinowych do komina bezpośrednio za kotłem ustawia się podgrzewacz wody doprowadzanej do kotła.

Doprowadzanie do kotła gorącej wody zasilającej zamiast wody zimnej nie tylko zmniejsza zużycie paliwa w kotle i przez to przyczynia się do ekonomiczniejszego wytwarzania pary, ale również obniża koszt budowy instalacji kotłowej, gdyż budowa 1 m² powierzchni ogrzewalnej podgrzewacza wody kosztuje taniej niż 1 m² powierzchni ogrzewalnej kotła. Z powodu oszczędności, które daje stosowanie podgrzewacza wody, w zakładach przemysłowych nosi on nazwę *ekonomizera*.

Podgrzewacze wody mogą być centralne, obsługujące kilka kotłów lub — co się częściej zdarza — indywidualnie tj. dla każdego

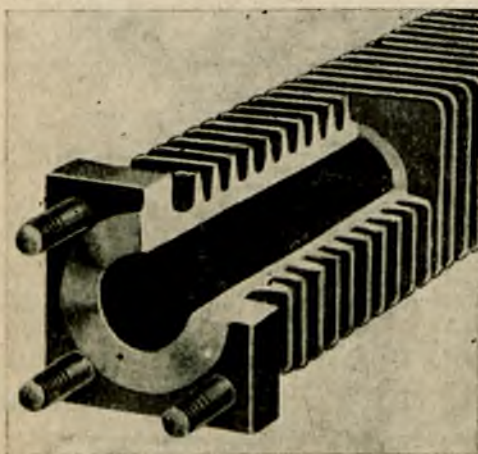


Rys. 94. Podgrzewacz wody: 1 — rurki pionowe, 2 — rura rozdzielcza, 3 — rura zasilająca, 4 — rura zbiorcza, 5 — rura odprowadzająca gorącą wodę, 6 — skrobacze

kotła oddzielne, stanowiące z nim organiczną całość. Są one wykonywane z rur żeliwnych, gładkich lub żebrowych, albo przy wysokich ciśnieniach — z rur stalowych.

Podgrzewacz z rur gładkich, systemu Greena, przedstawiony schematycznie na rys. 94, składa się z kilkunastu lub kilkadziesiątu szeregów rur pionowych, ustawionych grupami po 8 do 12 szeregów w powiększonym kanale dymowym, przez który przepływają gazy spalinowe z kotła do komina. Każdy szereg składa się z 6 do 8 rur 1 połączonych u dołu większą rurą 2 doprowadzającą wodę zimną z rury 3 zasilającej podgrzewacz, a w górze — rurą zbiorczą 4 odprowadzającą wodę gorącą do rury 5 zasilającej kocioł. W podgrzewaczu tym woda przepływa jednocześnie przez wszystkie rurki pionowe, a gazy spalinowe ogrzewają kolejno poszczególne szeregi rurek; ponieważ są one najgorętsze na początku, więc w pierwszych szeregach ogrzewają wodę do wyższej temperatury niż w szeregach ostatnich. Temperatura wody wyrównuje się dopiero w rurze 5.

Na zewnętrznych powierzchniach rur dość intensywnie osiada sadza i popiół. Ściany rurek pokryte nalotem źle przewodzą ciepło,



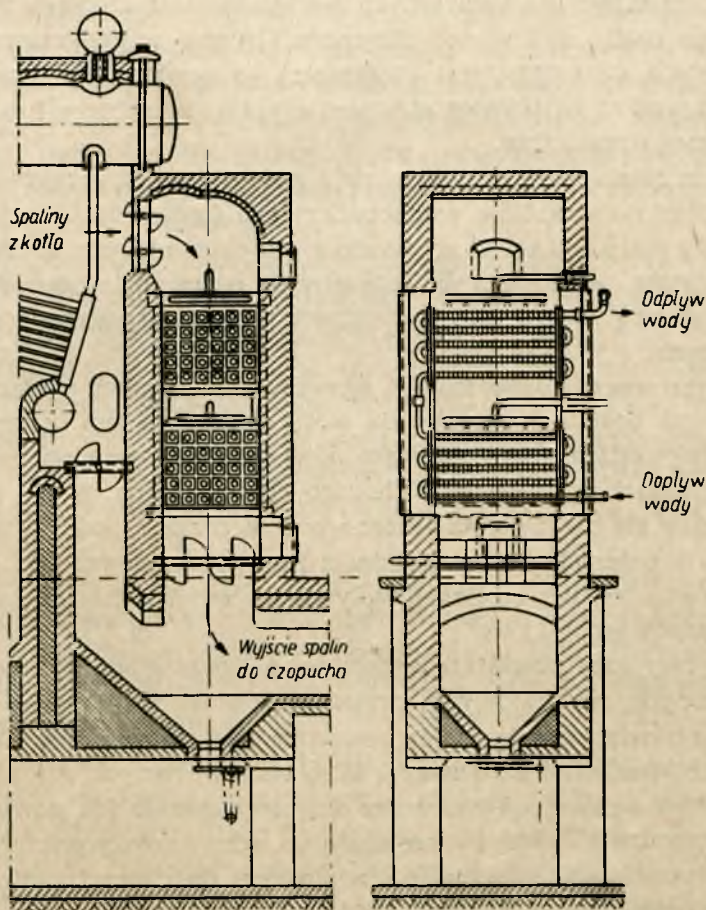
Rys. 95. Żeliwne rury żebrowe podgrzewacza wody

zatem osady z ich powierzchni należy usuwać. Do tego celu służą żeliwne skrobacze 6, które przesuwają się po rurach ruchem zwrotnym z góry na dół i z powrotem oczyszczając w ten sposób rury z zewnątrz. Skrobacze zawieszono na łańcuchach przerzuconych przez koła łańcuchowe, które są poruszane za pomocą odpowiedniego mechanizmu przez silnik elektryczny ruchem obrotowo-zwrotnym.

Podgrzewacze wody systemu Greena, mimo iż przed wojną ich nie budowano, są dość rozpowszechnione w przemyśle. Obecnie przy budowie nowych instalacji kotłowych bywają ustawiane podgrzewacze wody wykonane z żeliwnych rur żebrowych, które ze względu na to, że po-

siadają większą powierzchnię ogrzewalną od strony dopływu spalin są lżejsze i zajmują mniej miejsca niż podgrzewacze wody z rur gładkich.

Żeliwne rury żebrówce (rys. 95) stosowane w podgrzewaczach posiadają średnicę od 60 do 80 mm, długość od 1 do 3 m, żebra i kołnierze kwadratowe, przy czym długość boków kołnierza wy-



Rys. 96. Podgrzewacz wody z rur żebrowych

nosi od 140 mm do 220 mm. Kołnierze umożliwiają łączenie rur żebrowych za pomocą odpowiednich kolanek i rur zbiorczych w jeden zespół stanowiący podgrzewacz, jak widać na rys. 96; na rysunku tym jest przedstawiony podgrzewacz wody, wykonany

z rur żebrowych zainstalowanych w kotle opłomkowym omawianym w pktcie 33 i podanym na rys. 78. Rury żebrowe w podgrzewaczach zawsze zajmują położenie poziome w tym celu, aby płaszczyzny żeber były ustawiane pionowo, gdyż poziome żebra bardzo łatwo zanieczyszczają się sadzą i popiołem. Dobre oczyszczenie powierzchni zewnętrznej tych podgrzewaczy podczas ruchu jest niemożliwe, co stanowi ich wadę. Zamiast ciągłego zeskrobywania osadu, jak w podgrzewaczu Greena, w podgrzewaczach żebrowych stosowane jest najczęściej co pewien czas usuwanie zanieczyszczeń za pomocą strumienia przegrzanej pary lub lepiej sprężonego powietrza.

W ten sam sposób oczyszcza się z sadzy również przegrzewacze pary oraz rurki kotłów wodnorurkowych (opłomki).

Każdy podgrzewacz wody powinien mieć manometr, zawór bezpieczeństwa, termometr umieszczony na przewodzie odprowadzającym gorącą wodę i wentyl spustowy w najniższym miejscu podgrzewacza.

Podgrzewacze powietrza. W nowoczesnych dużych instalacjach kotłowych oprócz podgrzewania wody stosowane jest podgrzewanie doprowadzanego do paleniska powietrza kosztem ciepła zawartego w gazach spalinowych uchodzących do kominia. W ten sposób odzyskuje się część ciepła traconego w kominie i podnosi temperaturę w palenisku, a w związku z tym polepsza warunki spalania paliwa, co w rezultacie wpływa na zwiększenie sprawności kotła parowego.

Podgrzewacze powietrza wykonywane są z gładkich, pionowo ustawionych rur stalowych, przez które przepływają gazy spalinowe, a powietrze opływa je z zewnątrz albo z elementów (skrzyń) płaskich specjalnej konstrukcji, albo też z żeliwnych rur uźebrowanych na zewnątrz i wewnątrz dla powiększenia ich powierzchni ogrzewalnej. Podgrzewacze służą do ogrzewania powietrza wykorzystywanego w przemyśle chemicznym do różnych celów; będą one omówione w III części niniejszego podręcznika przy opisie innych podgrzewaczy powietrza (kaloryferów).

Osprzęt kotłów parowych składa się z osprzętu grubego, do którego zalicza się części metalowe paleniska (drzwiczki, ruszty i in.), części służące do podparcia kotła (stojaki, łapy, zawieszania), zasuw, pokrywy włazów, nasady itp., oraz z osprzętu drobnego,

w którego skład wchodzi przyrządy przeznaczone do dozoru i kontroli pracy kotła. Osprzęt drobny, czyli wprost osprzęt nosi nazwę **armatury**.

Przepisy kotłowe, wydane przez władze państwowe w trosce o bezpieczeństwo ludzi pracy pod odpowiedzialnością karną zabraniają uruchomienia kotła parowego w przypadku, gdy brak jest chociażby jednego z przyrządów wchodzących w skład (wymaganego przez te przepisy) osprzętu. Każdy kocioł parowy według tych przepisów powinien posiadać: a) manometr, b) dwa wodowskazy lub jeden wodowskaz i komplet kurków kontrolnych, c) dwa zawory bezpieczeństwa, d) dwa przyrządy do zasilania kotła wodą, e) rurę spustową z zaworem, f) zawory — zasilający, parowy oraz zawory zwrotne.

Podwójna ilość najważniejszych przyrządów wchodzących w skład armatury uzasadniona jest koniecznością zapewnienia całkowitego bezpieczeństwa pracy kotła.

Manometr wskazujący ciśnienie w kotle powinien być umieszczony na widocznym miejscu i dobrze oświetlony. Najwyższe ciśnienie robocze w kotle należy oznaczyć na manometrze czerwoną kreską. Do mierzenia ciśnienia w kotle stosowane są manometry sprężynowe zarówno z przeponą sprężynującą, jak i z rurką sprężystą.

Wodowskazy są to rurki szklane lub szkła płaskie osadzone w odpowiednich oprawkach metalowych, za pomocą których są połączone z wodną i parową przestrzenią kotła. Umieszcza się je zwykle w tych samych miejscach co i manometr, gdyż powinny być zawsze widoczne.

Przepisy kotłowe wymagają, aby kocioł był zaopatrzony w dwa przyrządy wskazujące poziom wody: albo dwa szkła wodowskazowe, albo jedno szkło i dwa kurki kontrolne, z których jeden umieszcza się na linii najniższego poziomu wody w kotle, a drugi w przestrzeni parowej kotła tuż nad najwyższym poziomem wody.

Zawór bezpieczeństwa jest przyrządem zabezpieczającym kocioł przed wzrostem ciśnienia powyżej ciśnienia dopuszczalnego. Otwiera się on automatycznie i wypuszcza parę wówczas, gdy ciśnienie w kotle przekroczy ciśnienie dopuszczalne. Zawory bezpieczeństwa umieszcza się na kołpakach i zbiornikach pa-

ry . W kotłach parowych stałych stosowane są zawory bezpieczeństwa obciążone ciężarem umieszczonym na dźwigni, w kotłach zaś ruchomych (parowozowych) ze względu na ewentualne wstrząsy używane są sprężynowe zawory bezpieczeństwa.

Do zasilania kotłów parowych wodą stosowane są pompy tłokowe, odśrodkowe i strumieniowe, przy czym przepisy kotłowe wymagają, aby były zainstalowane dwa urządzenia do zasilania. Najczęściej spotykane są tłokowe pompy parowe, a w dużych kotłowniach pompy odśrodkowe. Na przewodzie zasilającym przy samym kotle powinny się znajdować zawory — wsteczny (zwrotny) i zasilający. Zawór wsteczny zamyka samoczynnie przewód i przeciwdziała wyciekaniu wody z kotła. Rura spustowa służy do spuszczenia co pewien czas namułu z kotła i do opróżniania go z wody. Powinna ona być zaopatrzona w odpowiedni zawór. Umieszcza się ją w najniższej części kotła.

Zawór parowy służy do odcinania kotła od sieci przewodów parowych, gdy kocioł jest nieczynny. Przy niskich ciśnieniach stosuje się zawory żeliwne, przy wysokich — stalowe. Zawór ten podobnie jak inne zawory umieszcza się w taki sposób, aby za pomocą odpowiedniego urządzenia można go było swobodnie otwierać i zamykać z miejsca, gdzie stale przebywa palacz obsługujący kocioł.

36. Przewody rurowe do pary i wody

W kotłowni znajduje się wiele przewodów rurowych, przez które przepływają wody zasilające, skropliny, woda odprowadzana z kotła zawierająca muł, para przegrzana do silników parowych, para nasycona przeznaczona do celów grzejnych i inne. Dla umożliwienia przeprowadzenia ich kontroli i obsługi zwykle oznacza się je różnymi kolorami.

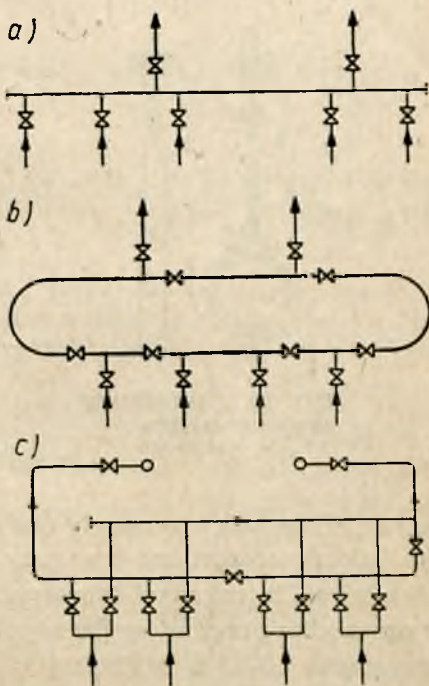
Rurociągi, do których dopływa para (lub ciecz) z kilku źródeł i z których odpływa ona do kilku lub więcej odbieralników, należy wykonywać w taki sposób, aby zapewnić niezawodność ich działania bez zbędnego komplikowania sieci przewodów rurowych. Zadanie to można rozwiązać trzema sposobami, jak pokazano schematycznie na rys. 97. Pierwszy sposób (rys. 97a) polega na tym,

że do przewodu głównego (magistrali) doprowadzone są przewody, przez które para dopływa z kotłów lub z innych źródeł, i odprowadzone są przewody, przez które kieruje się parą do odbieralników. Drugi sposób (rys. 97b) różni się od poprzedniego tym, że główny przewód parowy ma kształt pierścienia zamkniętego. Trzeci sposób (rys. 97c) polega na tym, że magistrala jest podwójna i doprowadzane są z każdego źródła podwójne dopływy pary. Na przewodach doprowadzających i odprowadzających we wszystkich rozwiązaniach powinny znajdować się zawory, za pomocą których poszczególne źródła lub odbiorniki można odłączać od magistrali (podobny cel mają również zawory umieszczone na magistrali).

Do budowy przewodów parowych stosuje się rury stalowe bez szwu i w przypadku średnic przekraczających 50 mm łączy się je albo za pomocą kołnierzy, pomiędzy które wkłada się uszczelki, albo w celu uniknięcia dość kosztownych i kłopotliwych połączeń kołnierzowych — przez spawanie. Rury o mniejszej średnicy można łączyć przy pracy pod niskimi ciśnieniami za pomocą złączy gwintowanych.

Przy układaniu przewodów parowych oraz innych, przez które przepływają gorące ciecze i gazy, należy uwzględnić odkształcenia termiczne; odkształcenia te zachodzą w przewodach na skutek zmian temperatury. Przyrost długości przewodów stalowych (w mm) można obliczyć ze wzoru

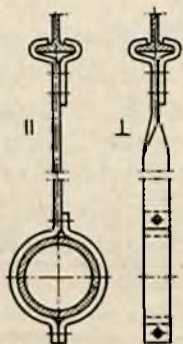
$$\Delta l = 1,2 l \frac{\Delta t}{100} \text{ mm}$$



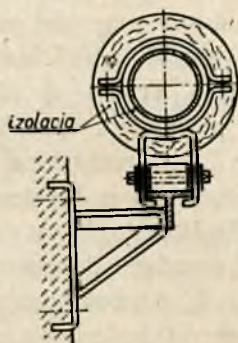
Rys. 97. Przewody parowe: a) z pojedynczym przewodem głównym, b) z przewodem pierścieniowym, c) z podwójnym przewodem głównym

gdzie: l oznacza długość przewodu w m, Δt — przyrost temperatury przewodu w $^{\circ}\text{C}$.

Dla umożliwienia wydłużenia i kurczenia się przewodów rurowych przy zmianach temperatury należy je zawieszać lub podpie-



Rys. 98. Wahadłowe zawieszenie przewodu rurowego

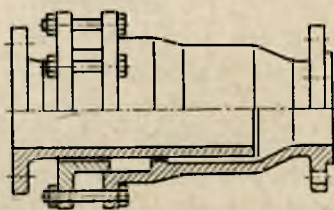


Rys. 99. Podparcie przewodu rurowego na wałku

rać w taki sposób, aby mogły one swobodnie przesuwac się wzdłuż osi, jak przedstawiono na rys. 98 i 99. Dla skompensowania odkształceń termicznych stosowane są kompensatory, przy czym w przypadku przewodów parowych są to najczęściej kompensatory lirowe (rys. 100) i dławikowe (rys. 101).



Rys. 100. Kompensator lirowy



Rys. 101. Kompensator dławikowy

Przewody rurowe do wody zasilającej ze względu na wysokie ciśnienie są wykonywane z rur stalowych połączonych ze sobą kołnierzami. Przewody do wody o niskim ciśnieniu sporządza się z żeliwa (gdy bieżą pod ziemią) lub ze stali (gdy układane są na po-

wierzchni), przy czym rury o mniejszej średnicy łączy się za pomocą złączy gwintowanych, a większe za pomocą kołnierzy.

Średnicę przewodów rurowych d oblicza się ze wzoru

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{V_{\text{sek}}}{u}$$

gdzie: V_{sek} oznacza objętość (m^3/sek) pary lub wody przepływającej przez przewód w ciągu 1 sek, u — prędkość dopuszczalną tych płynów (w m/sek).

Dopuszczalną prędkość przepływu pary przyjmuje się w granicach od 25 do 45 m/sek , a dopuszczalną prędkość przepływu wody — od 1 do 3 m/sek .

Przykład I. Obliczyć średnicę przewodu rurowego, przez który przepływa $G = 5400$ kg pary na godzinę, o ciśnieniu $p = 24$ atn, przegrzanej do temperatury $t = 350^\circ\text{C}$, jeżeli prędkość przepływu pary w przewodzie wynosi $u = 40$ m/sek .

Rozwiązanie. Temperatura wrzenia pod ciśnieniem $p = 24 + 1 = 25$ atn, jak widać z tablicy 11 na stronie 149 wynosi $t_w = 222,9^\circ\text{C}$, a objętość właściwa pary w tej temperaturze $v'' = 0,08157$ m^3/kg . Przyjmując, że dla pary przegrzanej można stosować wzór Gay-Lussaca $\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}$ obliczamy objętość właściwą pary przegrzanej v

$$v = v'' \frac{273 + t}{273 + t_w} = 0,08157 \frac{273 + 350}{273 + 222,9} = 0,10248 \text{ m}^3/\text{kg}$$

wobec czego objętość pary przepływającej w ciągu 1 sek przez obliczany przewód wyniesie

$$V_{\text{sek}} = \frac{G \cdot v}{3600} = \frac{5400}{3600} \cdot 0,10248 = 0,15372 \text{ m}^3/\text{sek}$$

a przekrój poprzeczny przewodu równa się

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{V_{\text{sek}}}{u} = \frac{0,15372}{40} = 0,003843 \text{ m}^2$$

średnica zaś przewodu rurowego wynosi

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} 0,003843} = 0,07 \text{ m} = 70 \text{ mm}$$

Przykład II. Jaką średnicę powinien mieć przewód rurowy dla przepływu 14,4 m^3 wody na godzinę przy prędkości jej $u = 2$ m/sek ?

Rozwiązanie. Przekrój poprzeczny przewodu obliczamy ze wzoru

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{V_{\text{sek}}}{u} = \frac{14,4}{3600 \cdot 2} = 0,002 \text{ m}^2$$

zatem średnica tego przewodu wynosi

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot 0,002} = 0,0507 \text{ m} = 50,7 \text{ mm}$$

Zadanie 19. Z niskoprężnego kotła parowego pobiera się do celów grzejnych parę nasyconą o ciśnieniu $p = 4 \text{ atn}$ w ilości $G = 900 \text{ kg/godz.}$ Obliczyć średnicę przewodu rurowego, zakładając że para jest sucha oraz że jej prędkość wynosi $u = 25 \text{ m/sek.}$

Zadanie 20. Obliczyć średnicę przewodu wodnego zasilającego kocioł płomienicowy o wydajności 3000 kg/godz. jeżeli zgodnie z przepisami kotłowymi przewód ten powinien przepuszczać podwójną ilość wody. Przyjmując, że prędkość przepływu wody $u = 1,5 \text{ m/sek.}$

Rozdział VII

KOMINY I WYCIĄGI

37. Ciąg

W instalacjach kotłowych i piecowych (gdy są one w porządku) gaży spalinowe płyną od paleniska do komin. Przyczynę, która zmusza spaliny do ruchu w powyższym kierunku, nazywamy siłą ciągu, a sam ruch gazów — ciągiem.

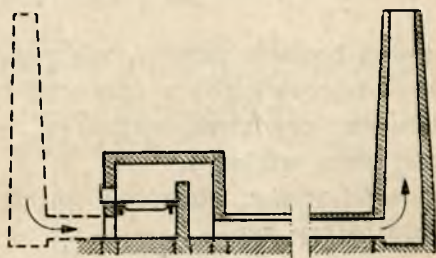
Ciąg może być wytwarzany przez komin, wtedy nosi nazwę ciągu *naturalnego*, lub przez wentylatory i urządzenia strumieniowe (inżektory) i wtedy nosi nazwę ciągu *mechanicznego* lub *sztucznego*.

Obserwując kotły parowe i piece przemysłowe, pracujące przy ciągu kominowym, a nawet piece w domach mieszkalnych, zauważymy, że ciąg kominowy nie zawsze jest jednakowy. Jego siła zmienia się w zależności od pogody i stanu paleniska oraz od innych czynników.

Ciągiem (siłą ciągu) w jakimś miejscu pieca nazywamy różnicę pomiędzy parciem powietrza zewnętrznego na 1 m^2 na wysokości danego miejsca a parciem gazów spalinowych w tym miejscu. Różnicę tę określa się w kg/m^2 lub co jest równoznaczne — w mm słupa wody. Dla wyjaśnienia, od czego zależy ciąg, rozpatrzmy schemat instalacji piecowej (rys. 102), która składa się z paleniska, kanałów dymowych i komin.

Wyobraźmy sobie, że przed paleniskiem znajduje się połączony z popielnikiem komin o tej samej wysokości co komin rzeczywisty.

Wtedy oba kominy wraz z paleniskiem i kanałami dymowymi tworzą naczynia połączone, napełnione różnymi płynami: komin (wyobrażalny) wypełniony jest powietrzem o temperaturze t_{pow} , a komin rzeczywisty — gazami spalinowymi o temperaturze t_{sp} . W naczyniach połączonych płyn cięższy wypiera lżejszy; ponieważ w danym wypadku cięższe jest powietrze, więc wypiera ono gazy spalinowe, wobec czego ruch ich w kanałach dymowych skierowany jest od paleniska do komina.



Rys. 102. Schemat kanałów do teorii ciągu

Siła, z jaką powietrze wypiera gazy spalinowe u podstawy komina, jeżeli jego przekrój w tym miejscu wynosi F m², ciężary właściwe powietrza i gazów spalinowych odpowiednio równe są γ_{pow} i γ_{sp} kG/m³, a wysokość komina — H m, wynosi

$$P = F \cdot H \cdot (\gamma_{pow} - \gamma_{sp}) \text{ kG}$$

wobec czego ciąg u podstawy komina ma wartość

$$S = \frac{P}{F} = H (\gamma_{pow} - \gamma_{sp}) \text{ kG/m}^2$$

Ciezar właściwy powietrza suchego w temp. 0°C i pod ciśnieniem 760 mm Hg wynosi $\gamma_0 = 1,293$ kG/m³, w temperaturze zaś t_{pow} °C i pod ciśnieniem barometrycznym B mm Hg równa się

$$\gamma_{pow} = 1,293 \frac{273}{273 + t_{pow}} \cdot \frac{B}{760} \text{ kG/m}^3$$

Powietrze zewnętrzne nigdy jednak nie jest suche. Zawsze zawiera ono pewną ilość wilgoci, a ciężar właściwy powietrza wilgotnego jest mniejszy od ciężaru właściwego powietrza suchego i wynosi

$$\gamma_{pow} = 1,293 \frac{273}{273 + t_{pow}} \cdot \frac{B}{760} - 0,489 \frac{273}{273 + t_{pow}} \cdot \frac{\varphi p}{760}$$

gdzie φ — jest wilgotnością względną powietrza, a p — prężnością pary wodnej nasyconej w mm Hg w temperaturze t_{pow} .

Ciężar właściwy gazów spalinowych w temperaturze t_{sp} równa się

$$\gamma_{sp} = \gamma_{0sp} \frac{273}{273 + t_{sp}} \cdot \frac{B}{760} \cong 1,293 \frac{273}{273 + t_{sp}} \cdot \frac{B}{760}$$

można bowiem przyjąć, nie popełniając wielkiego błędu, że ciężar właściwy spalin w temperaturze 0°C równy jest ciężarowi właściwemu powietrza, to jest $\gamma_{0sp} = 1,293 \text{ kG/m}^3$ (w rzeczywistości jest nieco większy).

Podstawiając obliczone ciężary do wzoru na ciąg kominowy otrzymamy, że:

$$S = H (\gamma_{pow} - \gamma_{sp}) = \left[1,293 \cdot \frac{B}{760} \left(\frac{273}{273 + t_{pow}} - \frac{273}{273 + t_{sp}} \right) - 0,489 \frac{273}{273 + t_{pow}} \cdot \frac{q_p}{760} \right] H$$

Ze wzoru powyższego wynika, że ciąg kominowy jest wprost proporcjonalny do wysokości komina. Zwiększa się on ze wzrostem temperatury gazów kominowych, a zmniejsza się ze wzrostem temperatury i wilgotności powietrza. Jest on tym większy, im większe jest ciśnienie barometryczne.

Wysokość komina H powinna być taka, aby siła jego ciągu wystarczyła na pokonanie oporów, które spotykają na swej drodze gazy spalinowe przepływające przez instalację kotłową lub piecową, oraz na nadanie im dostatecznej prędkości. Ze względów higienicznych, żeby spaliny nie zanieczyszczały powietrza, komin powinien być wyższy przynajmniej o 3 m od najbliższego budynku w promieniu 250 m.

Aby przy niekorzystnym wietrze pęd jego nie tamował wypływu spalin z komina, prędkość ich przy wylocie z komina powinna wynosić przynajmniej 3 do 4 m/sek.

Przy projektowaniu nowego komina oblicza się jego wysokość ze wzoru

$$H = \frac{S}{\gamma_{pow} - \gamma_{sp}} \quad [29]$$

gdzie S — jest to ciąg potrzebny do pokonania oporów i do nadania gazom spalinowym energii kinetycznej.

Oprócz wysokości komina oblicza się również jego średnicę ze wzoru:

$$\frac{\pi d^2}{4} \cdot w = \frac{V \cdot A}{3600} \cdot \frac{B}{760} \cdot \frac{273 + t_{sp}}{273} \quad [30]$$

gdzie: w — jest prędkością spalin przy wylocie komina w m/sek, V — objętością gazów spalinowych z 1 kg paliwa w m^3/kg , A — ilością kg paliwa spalonego w ciągu 1 godziny, a t_{sp} — temperaturą gazów spalinowych przy wylocie z komina, d — średnicą komina.

Przykład I. Obliczyć ciąg u podstawy komina o wysokości $H = 30$ m, jeżeli temperatura gazów spalinowych wynosi $t_{sp} = 260^\circ C$, temperatura powietrza $t_{pow} = 16^\circ C$, jego wilgotność względna $\varphi = 80\%$, ciśnienie barometryczne $B = 750$ mm Hg, a prężność pary wodnej nasyconej w temp. $16^\circ C$ wynosi $p = 13,5$ mm Hg.

Rozwiązanie. Potrzebny ciąg obliczamy podstawiając do wzoru [28] wartości liczbowe, wtedy:

$$\begin{aligned} S &= H \left[1,293 \frac{B}{760} \left(\frac{273}{273 + t_{pow}} - \frac{273}{273 + t_{sp}} \right) - 0,489 \frac{273}{273 + t_{pow}} \cdot \frac{\varphi p}{760} \right] = \\ &= 30 \left[1,293 \frac{750}{760} \left(\frac{273}{273 + 16} - \frac{273}{273 + 260} \right) - 0,489 \cdot \frac{273}{273 + 16} \cdot \frac{0,80 \cdot 13,5}{760} \right] = \\ &= 16,3 \text{ kG/m}^2 \text{ lub } 16,3 \text{ mm H}_2\text{O} \end{aligned}$$

Przykład II. Obliczyć wysokość i średnicę komina pieca ceramicznego, w którym spala się 160 kg węgla kamiennego na godzinę, jeżeli z 1 kg węgla otrzymuje się $11,6 m^3$ (w temp. $0^\circ C$ i ciśn. 760 mm Hg) gazów spalinowych uchodzących z komina w temp. $180^\circ C$. Ciąg potrzebny na pokonanie oporów w piecu wynosi $18 \text{ mm H}_2\text{O}$ (18 kg/m^2). Temperatura powietrza wynosi $10^\circ C$, jego wilgotność względna $\varphi = 90\%$, ciśnienie barometryczne $B = 746$ mm Hg, a prężność pary wodnej nasyconej w temp. $10^\circ C$ równa jest $p = 9,16$ mm Hg.

Rozwiązanie. Dla obliczenia wysokości komina ze wzoru [29] należy obliczyć ciężary właściwe powietrza i gazów spalinowych

$$\begin{aligned} \gamma_{pow} &= 1,293 \frac{273}{273 + t_{pow}} \cdot \frac{B}{760} - 0,489 \frac{273}{273 + t_{pow}} \cdot \frac{\varphi p}{760} = \\ &= 1,293 \frac{273}{273 + 10} \cdot \frac{746}{760} - 0,489 \frac{273}{273 + 10} \cdot \frac{0,90 \cdot 9,16}{760} = 1,219 \text{ kG/m}^3 \end{aligned}$$

$$\gamma_{sp} \cong 1,293 \frac{273}{273 + 180} \cdot \frac{746}{760} = 0,736 \text{ kG/m}^3$$

$$H = \frac{S}{\gamma_{pow} - \gamma_{sp}} = \frac{18}{1,219 - 0,736} = 37,3 \text{ m}$$

Przekrój poprzeczny kominu obliczamy ze wzoru [30] przyjmując, że prędkość gazów spalinowych wynosi $w = 4$ m/sek

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{1}{w} \cdot \frac{V \cdot A}{3600} \cdot \frac{B}{760} \cdot \frac{273 + t_{sp}}{273} = \frac{1}{4} \cdot \frac{11,6 \cdot 160}{3600} \cdot \frac{746}{760} \cdot \frac{273 + 180}{273} = 0,21 \text{ m}^2$$

wobec czego średnica kominu $d = \approx 0,520 \text{ m} = 520 \text{ mm}$.

Zadanie 21. Jaki ciąg wytwarza komin o wysokości 42 m, w przypadku gdy temperatura powietrza wynosi $t_{pow} = 24^\circ\text{C}$, wilgotność względna $\varphi = 92\%$, ciśnienie barometryczne $B = 748 \text{ mm Hg}$, a temperatura gazów spalinowych $t_{sp} = 320^\circ\text{C}$.

Zadanie 22. Obliczyć wysokość kominu, który powinien wytwarzać ciąg równy 22 mm H_2O , przyjmując, że temperatura powietrza wynosi 18°C , jego wilgotność względna 75%, ciśnienie barometryczne $p = 736 \text{ mm Hg}$.

Zadanie 23. Jaką średnicę powinien mieć komin kotła parowego, w którym spala się 240 kg paliwa na godzinę, jeżeli z 1 kg paliwa powstaje 10,8 m³ gazów spalinowych (w temp. 0°C i pod ciśnieniem 760 mm Hg), temperatura spalin w kominie wynosi 220°C , prędkość ich $w = 5$ m/sek, a ciśnienie barometryczne $B = 752 \text{ mm Hg}$.

38. Kominy

Kominy bywają murowane, żelbetowe i stalowe. Kominy murowane są kosztowne i ciężkie, ale trwałe; nie wymagają one częstych napraw i prawie nie oziębiają gazów spalinowych. Kominy stalowe są tanie i lekkie, lecz nietrwałe; poza tym oziębiają one gazy spalinowe, przez co osłabia się ciąg. Kominy żelbetowe natomiast pod każdym względem zajmują pozycję pośrednią pomiędzy kominami murowanymi a stalowymi.

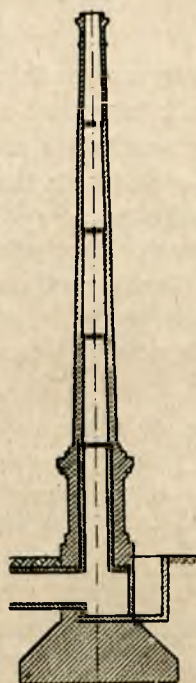
Kominy murowane są wykonywane ze specjalnej cegły kominowej dziurkowanej w kierunku grubości. Wewnątrz dolnej części wykładane są zwykle cegłą ogniotrwałą. Przekrój poprzeczny kominów murowanych jest zwykle kołowy, chociaż można spotkać niewysokie kominy o przekroju ośmiokątnym lub kwadratowym.

Ze względów estetycznych i statycznych komin ma kształt stożka ściętego postawionego na cokole i ozdobionego u góry główką (rys. 103).

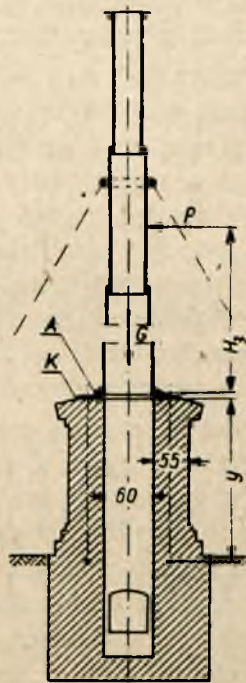
Dla uzyskania kształtu stożkowego oraz ze względów statycznych i oszczędnościowych grubość ściany kominu od wewnątrz zmniejsza się o 50 mm w odstępach co 4 — 5 m.

Na komin działa parcie wiatru, które przy obliczeniach statycznych przyjmuje się za równe 100 kg/m² na wysokości do 15 m od

poziomu ziemi, 125 kG/m^2 na wysokości od 15 do 25 m i 150 kG/m^2 powyżej 25 m. Pod wpływem tego parcia w kominie powstają naprężenia rozrywające od strony wiatru i naprężenia ściskające po stronie przeciwnej oraz naprężenia ścinające. Naprężenia ściskające i rozrywające wywołane parciem wiatru



Rys. 103. Komin murowany



Rys. 104. Komin stalowy

sumują się z naprężeniami ściskającymi, które powstają pod działaniem siły ciężkości górnych części komina. Oczywiście naprężenia wypadkowe nie powinny przekraczać naprężeń dopuszczalnych. Szczególnie niebezpieczne są naprężenia rozrywające, gdyż na ogół zaprawa murarska słabo przylega do cegieł, wskutek czego łatwo je oderwać od siebie. Z tego powodu naprężenia rozrywające większe od 1 kG/cm^2 dopuszcza się w kominach tylko w wyjątkowych wypadkach.

Kominów murowanych ze względu na duży ich ciężar nie można wiązać konstrukcyjnie z piecami i ścianami budynków fabrycz-

nych. Zwykle są one wolno stojące, najczęściej poza budynkiem fabrycznym i posiadają własny mocny fundament. Dno komina powinno znajdować się poniżej czopucha, czyli kanału, którym dopływają z kotła parowego lub pieca gazy spalinowe, aby na dnie mogły się zbierać popiół i sadza. Stąd co pewien okres czasu są one usuwane przez właz, który znajduje się w dolnej części komina i normalnie jest zamurowany.

Kominy stalowe (rys. 104) wykonuje się z blachy o grubości od 5 do 6 mm w dolnej części (dla kominów o dużej średnicy do 8 mm), a w górnej od 3 do 4 mm. Grubość blachy wyznacza się nie ze względów wytrzymałościowych, lecz ze względu na to, że cienkie ściany kominu szybciej ulegają zniszczeniu wskutek rdzewienia oraz pod wpływem działania chemicznego gazów spalinowych zawierających SO_2 i H_2O niż ściany grubsze. Blachy zwijane są w pierścienie o coraz mniejszej średnicy tak, aby pierścień górny wchodził w pierścień dolny (jak w rurze teleskopowej) i łączone ze sobą przy pomocy nitowania lub spawania.

W dolnej części kominów stalowych znajduje się płyta żeliwna lub stalowa, która służy do przymocowania ich do murowanego cokółu, za pomocą śrub fundamentowych. Aby zabezpieczyć kominy od wywrócenia się pod wpływem silnego wiatru mniej więcej na $\frac{3}{5}$ ich wysokości przywiązuje się do nich linki odciążające, których dolne końce przymocowane są do murów sąsiednich budynków lub do wkopanych w ziemię zaczepów (kotwic). Chcąc zabezpieczyć kominy przed opadami atmosferycznymi ustawia się niekiedy nad nimi daszek stożkowy. (Komin przedstawiony na rysunku 104 daszka nie posiada. Jest on pokazany na rysunku 107).

39. Obliczanie kominów stalowych

Wysokość i średnicę kominów stalowych oblicza się w sposób podany w przykładzie II na stronie 191, grubość ich ścianek ze względu na założony czas ich użytkowania przyjmuje się od 3 do 8 mm, natomiast pozostałe wymiary należy obliczyć przy projektowaniu lub wyznaczyć na podstawie właściwych przesłanek.

Dla przykładu obliczmy komin o wysokości $H = 12$ m i średnicy $D_0 = 600$ mm, ustawiony na kwadratowym murowanym cokole

o wysokości $H = 6$ m i o grubości $c = 0,55$ m (rys. 104 i 105). Komin jest nitowany z 5 pierścieni łączonych teleskopowo (ilość pierścieni zależy od rozmiarów rozporządzalnych blach), przy czym trzy górne pierścienie są wykonane z blachy o grubości $s_1 = 3$ mm, a dwa dolne — z blachy o grubości $s_2 = 4$ mm. Stosujemy nitowanie półszelne, tzn., że przed nitowaniem powierzchnie blach w miejscach, gdzie się stykają one ze sobą, pokrywamy farbą ochronną. Średnicę nitów obliczamy ze wzoru empirycznego $d = \sqrt{5 \cdot s} - 0,4$, wobec czego dla górnych pierścieni otrzymamy

$$d_1 = \sqrt{5 \cdot s_1} - 0,4 = \sqrt{5 \cdot 0,3} - 0,4 \approx 0,8 \text{ cm} = 8 \text{ mm}$$

a dla dolnych

$$d_2 = \sqrt{5 \cdot s_2} - 0,4 = \sqrt{5 \cdot 0,4} - 0,4 \approx 1 \text{ cm} = 10 \text{ mm}$$

Podziałkę t dla szwów poprzecznych i podłużnych wyznaczamy ze wzoru empirycznego $t = 3d + 0,5$, stąd dla górnych pierścieni otrzymamy

$$t_1 = 3d_1 + 0,5 = 3 \cdot 0,8 + 0,5 = 2,9 \text{ cm} = 29 \text{ mm}$$

a dla dolnych

$$t_2 = 3d_2 + 0,5 = 3 \cdot 1 + 0,5 = 3,5 \text{ cm} = 35 \text{ mm}$$

Odległość osi nitów od brzegu blachy dla górnych pierścieni przyjmujemy $e_1 = 15$ mm, a dla dolnych $e_2 = 18$ mm, wobec czego szerokość zakładki dla górnych pierścieni wyniesie $b_1 = 2e_1 = 30$ mm, a dla dolnych $b_2 = 2e_2 = 36$ mm.

Szerokość blach, z których wykonane są pierścienie (wysokość pierścieni), będzie równa

$$B = \frac{H + 2 \cdot b_1 + 2b_2}{5} = \frac{12 + 2 \cdot 0,03 + 2 \cdot 0,036}{5} = 2,426 \text{ m} \approx 2430 \text{ mm}$$

Długość (rozwinięcie) pierwszej od góry blachy

$$L_1 = \pi (D_0 + s_1) + b_1 = \pi (600 + 3) + 30 = 1924 \text{ mm}$$

Długości następnych blach wynoszą

$$L_2 = \pi (D_0 + 3 \cdot s_1) + b_1 = \pi (600 + 3 \cdot 3) + 30 = 1943 \text{ mm}$$

$$L_3 = \pi (D_0 + 5 \cdot s_1) + b_1 = \pi (600 + 5 \cdot 3) + 30 = 1962 \text{ mm}$$

$$L_4 = \pi (D_0 + 6 \cdot s_1 + s_2) + b_2 = \pi (600 + 6 \cdot 3 + 4) + 36 = 1990 \text{ mm}$$

$$L_5 = \pi (D_0 + 6s_1 + 3s_2) + b_2 = \pi (600 + 6 \cdot 3 + 3 \cdot 4) + 36 = 2015 \text{ mm}$$

Ciężary poszczególnych blach są odpowiednio równe.

$$G_1 = 2,430 \cdot 1,924 \cdot 0,003 \cdot 7,85 = 0,11 \text{ t} = 110 \text{ kG},$$

$$G_2 = 111 \text{ kG}, G_3 = 112 \text{ kG}, G_4 = 152 \text{ kG}, G_5 = 154 \text{ kG}.$$

Wieniec górny, do którego przymocowany jest daszek, wykonuje się z kątownika o wymiarach $40 \times 40 \times 5$ mm (jego ciężar wynosi około 6 kG). Pierścień zaś dolny, którym przymocowujemy komin do płyty fundamentowej sporządza się z kątownika $60 \times 60 \times 6$ mm (o ciężarze około 11 kG).

Przyjmując, że ciężar daszka nad kominem, ciężar pierścienia, do którego przymocowane są liny odciągające, oraz ciężary nitów łącznie wynoszą 44 kG, otrzymamy więc, że ciężar całego kominu wyniesie

$$G = 6 + 110 + 111 + 112 + 152 + 154 + 11 + 44 = 700 \text{ kG}$$

Parcie wiatru na komin przy uwzględnieniu, że ciśnienie wiatru P wynosi 106 kG/m^2 , równa się

$$P = D \cdot H \cdot p = 0,6 \cdot 12 \cdot 106 \cong 765 \text{ kG}$$

Biorąc pod uwagę, że ciśnienie wiatru w górze jest większe niż w dole, punkt przyłączenia siły parcia wiatru umieścimy na $3/5$ wysokości kominu, czyli na wysokości

$$H_2 = \frac{3}{5} \cdot H = \frac{3}{5} \cdot 12 = 7,2 \text{ m}$$

Wtedy siła Q naciągu liny odciągającej przy kącie $\alpha = 45^\circ$ wynosi

$$Q = \frac{P}{\cos \alpha} = \frac{765}{\cos 45^\circ} = 1082 \text{ kG}$$

Pod wpływem parcia wiatru P komin może się wywrócić obracając się dookoła punktu A (rys. 104 i 105). Przeciwstawia się temu ciężar kominu G , siły działające w śrubach, którymi komin przymocowany jest do płyty fundamentowej oraz liny odciągające. Aby komin się nie wywrócił, moment parcia wiatru $M = P \cdot H_2$ musi być mniejszy od sumy momentów sił przeciwstawiających się wywróceniu, wobec czego nie uwzględniając sił działających w linach otrzymamy, że

$$P \cdot H_2 < G \cdot a + \sum R \cdot x$$

gdzie: $G \cdot a$ jest momentem siły ciężkości, a $\sum R \cdot x$ — momentem sił działających w śrubach; stąd

$$\sum R \cdot x > P \cdot H_2 - G \cdot a$$

Biorąc pod uwagę, że $a = 0,375$ m otrzymamy, że

$$\sum R \cdot x > 765 \cdot 7,2 - 700 \cdot 0,375 = 5245 \text{ kGm} = 524500 \text{ kGcm}$$

Komin przymocowany jest do płyty fundamentowej 12 śrubami. Przyjmując, że tylko 7 śrub przeciwstawia się jego wywróceniu oraz biorąc pod uwagę odległości tych śrub od punktu A (podane na rys. 105) otrzymamy, że

$$\begin{aligned} \sum R \cdot x &= R \cdot (2 \cdot 37,5 + \\ &+ 2,55 + 2 \cdot 67,8 + 72,5) = \\ &= 393,1 \cdot R \text{ kGcm} \end{aligned}$$

wobec czego siła R działająca w śrubach powinna wynosić

$$R > \frac{524500}{393,1} = 1334 \text{ kG}$$

Uwzględniając, że naprężenie dopuszczalne w śrubach równe jest

$$K_r = 800 \text{ kG/cm}^2$$

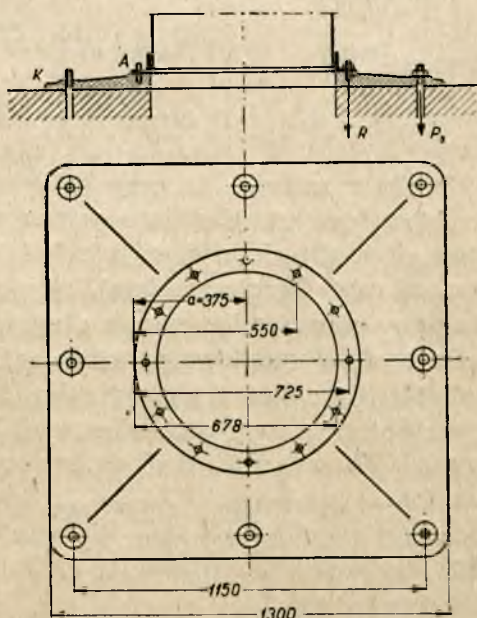
otrzymamy

$$\frac{\pi d_r^2}{4} > \frac{1334}{800} = 1,67 \text{ cm}^2$$

Należy więc zastosować śruby o średnicy $d = 20$ mm.

Płyta fundamentowa kominu przymocowana jest do cokołu 8 śrubami wpuszczonymi w mur na taką głębokość y , aby moment siły ciężkości części cokołu związanej śrubami mógł zrównoważyć moment sił starających się wywrócić komin.

Przyjmując, że ciężar 1 m^3 muru wynosi $\gamma = 2000 \text{ kG/m}^3$ i oznaczając głębokość zamurowania śrub przez y (rys. 104) otrzymamy,



Rys. 105. Płyta kominowa

że objętość górnej części cokołu, którego bok $a = 2 \cdot 0,55 + 0,60 = 1,70$ m wynosi

$$V = (1,70^2 - 0,60^2) \cdot y = 2,53 y \text{ m}^3$$

a ciężar równa się

$$G_c = 2000 V = 5060 \cdot y \text{ kG}$$

Ażeby górna część cokołu nie została wywrócona, moment jej siły ciężkości względem krawędzi podstawy (punkt K , rys. 105)

$G_c \cdot \frac{1,70}{2}$ powinien być większy od momentu $\Sigma R \cdot x = 524500$ kG/cm.

Wobec czego

$$5060 \cdot y \cdot 0,85 > 5245 \text{ kGm}$$

skąd

$$y > \frac{5245}{5060 \cdot 0,85} = 1,22 \text{ mm}$$

Trzeba zaznaczyć, że przy obliczaniu głębokości zamurowania śrub nie była uwzględniana wytrzymałość na rozerwanie muru, która chociaż mała wynosi jednak 1 kG/cm^2 (wytrzymałość muru stanowi zapas bezpieczeństwa). Biorąc powyższe pod uwagę przyjmujemy śruby fundamentowe długości 1200 mm.

Śruby fundamentowe narażone są na rozerwanie siłą P_s . Wielkość tej siły obliczamy przyjmując, że tylko 5 śrub fundamentowych przeciwstawia się momentowi $\Sigma R \cdot x = 524500 \text{ kG} \cdot \text{cm}$, który może obrócić płytę dookoła krawędzi LM

$$3 P_s \cdot 122,5 + 2 P_s \cdot 65 = \Sigma R \cdot x = 524500$$

skąd $P_s = 1054 \text{ kG}$. Wobec tego wybrano śrubę $M 20$.

40. Przewody wentylacyjne i wyciągi

Zagadnienie dobrego przewietrzania pomieszczeń fabrycznych jest szczególnie ważne dla przemysłu chemicznego. W wielu gałęziach tego przemysłu w czasie procesów technologicznych wydzielają się różnego rodzaju szkodliwe dla zdrowia gazy, pary i pyły, które przedostają się do pomieszczeń albo wskutek nieszczelności w aparaturze, albo wskutek nieumiejętnego lub nieuważnego obchodzenia się z nią pracowników przydzielonych do jej obsługi.

W trosce o zdrowie ludzi pracy Rząd Polski Ludowej zalecił nie szczędzić wysiłków i środków materialnych w celu zapewnienia dobrego przewietrzania pomieszczeń, w których w czasie pracy przebywają ludzie. Toteż w fabrykach chemicznych wybudowanych po wojnie szczególnie nacisk położono na dobrą wentylację budynków produkcyjnych.

Ilość powietrza, która musi być zmieniona w danym pomieszczeniu zależna jest od jego przeznaczenia. Gdy w mieszkaniach i biurach wystarcza dwukrotna wymiana powietrza w ciągu godziny, a w ustępach pięciokrotna, w fabrykach chemicznych powinna być zapewniona znacznie intensywniejsza jego wymiana, która w pomieszczeniach, gdzie wydzielają się szkodliwe dla zdrowia gazy może dochodzić do 40-krotnej zmiany powietrza na godzinę, aby można było w razie potrzeby szybko usunąć powietrze zatrute.

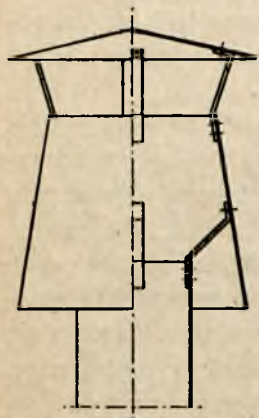
Przewietrzanie budynków może być samoczynne i mechaniczne.

Przewietrzanie samoczynne lub naturalne polega na wykorzystaniu porowatości ścian, szczelności drzwi oraz otwieraniu okien. W ogrzewanym zamkniętym pomieszczeniu istnieje pewna różnica ciśnień między dołem a górą pomieszczenia, wskutek czego nawet przy bezwietrznej pogodzie następuje wymiana powietrza zewnętrznego z wewnętrznym. Świeże powietrze dostaje się do pomieszczenia od dołu, a wewnętrzne zepsute uchodzi górą. Działanie wiatru wzmacnia tego rodzaju samoczynne przewietrzanie, czasami nawet do granic niepożądanych.

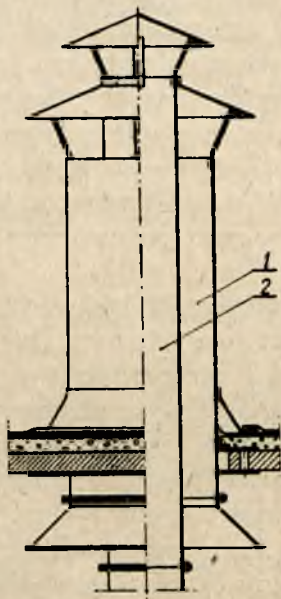
Efekt samoczynnego wietrzenia pomieszczeń można zwiększyć przez wykonanie specjalnych otworów dopływowych dla powietrza świeżego oraz przez budowę kanałów lub rur wyciągowych do usuwania powietrza zepsutego. Przewody wyciągowe (kanały i rury) należy umieszczać przy ścianach wewnętrznych (ciepłych) lub wewnątrz nich i wyprowadzać ponad dach, przy czym każde pomieszczenie powinno mieć własne przewody wyciągowe. Na rys. 106 przedstawiono koniec przewodu wyciągowego w postaci rury wykonanej z blachy stalowej. Przewód ten jest wyprowadzony ponad dach budynku; zaopatrzony jest on w kołpak (daszek stożkowy) zabezpieczający od opadów atmosferycznych.

Prowadzenie kanałów wyciągowych w bezpośrednim zetknięciu się z kanałami dymowymi wpływa na polepszenie przewietrzania.

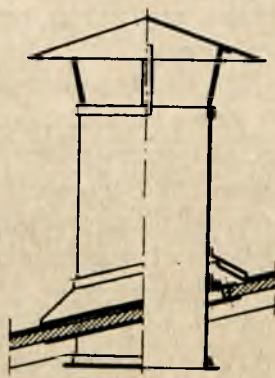
Na rys. 107 przedstawiono wyciągowy kanał wentylacyjny, wewnątrz którego znajduje się komin stalowy. Gorące gazy spalino-
we przepływając przez komin ogrzewają powietrze w przewodzie
wyciągowym, co zwiększa intensywność wentylacji. Ogrzewanie
powietrza w kanałach wyciągowych nawet małym płomykiem ga-
zowym również wpływa dodatnio na przewietrzanie.



Rys. 106. Konec przewodu wentylacyjnego



Rys. 107. Kanał wyciągowy z kanałem kominowym: 1 — kanał wyciągowy, 2 — kanał kominowy



Rys. 108. Deflektor systemu Grigorowicza

Dla wzmocnienia intensywności wietrzenia stosuje się wywietrzniki (deflektory), które umocowane przy wylocie przewodu wentylacyjnego zwiększają w nim ciąg, gdyż ułatwiają wysysanie zepsutego powietrza przez wiatr niezależnie od jego kierunku. Jeden z wywietrzników, o prostszej budowie, przedstawiony jest na rys. 108. Jest deflektor konstrukcji radzieckiego inżyniera Grigorowicza, wykonany z blachy stalowej. Ażeby deflektory spełniały swoje zadanie, należy je ustawić w taki sposób, aby wylot przynajmniej o 0,8 m znajdował się wyżej od grzbietu dachu.

Działanie kanałów wyciągowych zależy od wielkości ich przekrojów poprzecznych, od oporów, które stawiają one przepływającemu powietrzu oraz od różnicy temperatur wewnątrz i na zewnątrz przewietrzanych pomieszczeń. Im większa jest ta różnica, tym większa jest prędkość przepływu zużytego powietrza przez przewód wyciągowy i tym energiczniej działa wentylacja. Aby przewody wyciągowe stawiały mały opór, należy prowadzić je prosto liniowo (bez załamań i zakrzywień) oraz na całej długości nadawać im jednakowe możliwie duże wymiary. Oczywiście przewód o większym przekroju poprzecznym może wyciągnąć z pomieszczenia większą ilość zepsutego powietrza niż przewód o mniejszych poprzecznych wymiarach.

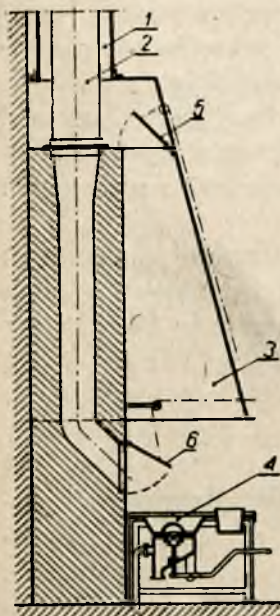
Stosując przewody wyciągowe przy samoczynnej (naturalnej) wentylacji można osiągnąć półtorakrotną wymianę powietrza w ciągu godziny, co wystarcza dla pomieszczeń, w których nie wydzielają się szkodliwe dla zdrowia opary i gazy. Nie nadaje się natomiast wentylacja samoczynna dla pomieszczeń, w których wietrzenie jest specjalnie ważne; w takich przypadkach należy stosować przewietrzanie mechaniczne.

Przewietrzanie mechaniczne za pomocą wentylatorów niezależne jest od wpływów atmosferycznych, umożliwia przeprowadzanie wielokrotnej wymiany powietrza w pomieszczeniu w ciągu 1 godziny i wymaga stosowania przewodów wentylacyjnych mniejszych rozmiarów. Tego rodzaju przewietrzanie może być wyciągowe, nawiewne i dopływowo-wyciągowe.

Przewietrzanie mechaniczne wyciągowe polega na usuwaniu z pomieszczeń powietrza za pomocą wentylatorów ssących wyciągowych, które wytwarzają w nich podciśnienie, wskutek czego do pomieszczeń tych przedostaje się powietrze zewnętrzne. Przewietrzanie wyciągowe stosowane jest w tych przypadkach, gdy wydzielają się szkodliwe gazy, opary i pyły; w ten sposób przeciwdziała się rozprzestrzenianiu się ich poza pomieszczenie, a więc w laboratoriach i w fabrykach chemicznych.

Często, aby zapobiec rozprzestrzenianiu gazów, oparów i pyłów wydzielających się z jakiegoś aparatu lub maszyny, po całym pomieszczeniu, w którym się one znajdują, aparaty i maszyny zaopatrzone są w okapy połączone bezpośrednio z przewodami wyciągowymi. Przez okapy te z przestrzeni nad aparatem lub ma-

szyną odprowadza się gazy, opary i pył oraz zanieczyszczone nimi powietrze. Na rys. 109 przedstawiony jest okap umieszczony nad ogniskiem kowalskim. Dym wydzielający się z ogniska zasysany jest do komina przez kanał 1, powietrze zanieczyszczone czadem i dymem kierowane jest przez okap do kanału wyciągowego 2. Kłapy 5 i 6 służą do regulowania ciągu.



Rys. 109. Okap: 1 — kanał wyciągowy, 2 — kanał dymowy, 3 — okap, 4 — ognisko kowalskie, 5, 6 — kłapy

Okapy nie zawsze wystarczają do zabezpieczenia powietrza w pomieszczeniu fabrycznym przed zanieczyszczeniem pyłem, oparami lub gazami powstającymi w czasie procesów technologicznych. W tych przypadkach urządzenia zanieczyszczające powietrze są osłaniane ochronnymi płaszczami, z pozostawieniem w nich otworów niezbędnych do obsługi aparatów i maszyn. W ten sposób bywają zabezpieczane np. wanny galwaniczne do chromowania, piece do topienia niektórych stopów miedzi, czasami maszyny do obróbki drewna, szlifiarki do szlifowania miękkich materiałów i inne urządzenia przemysłowe. Szkodliwe gazy, opary i pył usuwane są spod płaszczy ochronnych przez przewody wyciągowe za pomocą wentylatorów ssących.

N a w i e w n e przewietrzanie mechaniczne polega na wprowadzeniu do pomieszczeń świeżego powietrza za pomocą wentylatorów, wskutek czego w pomieszczeniach tych wytwarza się nadciśnienie powodujące uchodzenie zepsutego powietrza przez kanały i otwory wylotowe lub przez nieszczelności.

Przewietrzanie d o p ł y w o w o - w y c i ą g o w e polega na stosowaniu mechanicznego doprowadzania świeżego powietrza i mechanicznego usuwania z pomieszczeń powietrza zepsutego. Przewietrzanie tego rodzaju stosowane jest w zakładach przemysłowych oraz w dużych laboratoriach chemicznych. Umożliwia ono regulowanie ciśnień w pomieszczeniach fabrycznych z punktu widzenia dobrej ich wentylacji.

Przewody wyciągowe zarówno przy przewietrzaniu samoczynnym jak i mechanicznym są wykonywane z blachy cynkowej, stalowej ocynkowanej lub z blachy zabezpieczonej w inny sposób przed korozją i rdzewieniem. Mogą być one również murywane, przy czym w tym przypadku wewnętrzne ich powierzchnie ze względu na opory powinny być możliwie gładkie.

Prędkość przepływu powietrza w kanałach wyciągowych ze względu na ich bezszumne działanie nie powinna przekraczać 5 m/sek, a w urządzeniach przemysłowych, gdy dopuszczalny jest niewielki hałas, może dochodzić do 12 m/sek.

Rozmieszczenie otworów wyciągowych i dopływowych powinno zapewnić należyty przepływ powietrza przez pomieszczenia fabryczne z wyeliminowaniem miejsc martwych.

Rozdział VIII

OCZYSZCZANIE WODY

41. Woda surowa i jej zanieczyszczenia

Woda odgrywa doniosłą rolę we wszystkich dziedzinach naszego życia. Ma ona również duże znaczenie w przemyśle, gdyż albo bierze udział w procesach technologicznych, albo też znajduje zastosowanie w urządzeniach pomocniczych (np. w kotłach parowych). Toteż konieczne jest zaznajomienie się z tymi jej własnościami, które mogą decydować o powodzeniu procesu przemysłowego.

Podział wód naturalnych. Woda w przyrodzie znajduje się w ciągłym obiegu, na który składa się parowanie jej z naturalnych zbiorników wodnych, jakimi są oceany, morza, jeziora i rzeki, oraz skraplanie się wytworzonej pary wodnej i powrót jej na powierzchnię ziemi w postaci opadów, a mianowicie rosy, deszczu, gradu i śniegu. Woda opadowa przesiąkając przez glebę zbiera się nad warstwą nieprzepuszczalną w postaci tzw. wody gruntowej. Gdy woda gruntowa wydostaje się na powierzchnię ziemi w sposób naturalny, wówczas tworzy źródła, które stają się zaczątkiem strumieni i rzek. Wodę gruntową w sposób

sztuczny wydobywa się za pomocą studzien. Woda jezior, mórz i oceanów oraz rzek i strumieni jest wodą powierzchniową.

Najczystsza z wód występujących w przyrodzie jest woda opadowa, szczególnie po dłuższym okresie opadów. Jednak ona również zawiera zanieczyszczenia w postaci gazów zawartych w powietrzu, małych ilości azotanów amonowych i innych soli. Ilość oraz jakość tych zanieczyszczeń zależy zresztą od miejsca opadów, np. w miastach i okęgach przemysłowych występuje w wodach opadowych chlorek sodowy, sole wapniowe, kurz zawierający krzemiany i substancje organiczne, bakterie oraz wolny kwas siarkowy i siarkawy.

Wody gruntowe przesiąkając przez glebę rozpuszczają jej składniki. Ich jakość oraz ilość zależy od własności gleby. Wody szczególnie bogate w rozpuszczone sole mineralne noszą nazwę wód mineralnych i często mają własności lecznicze. Głównymi zanieczyszczeniami zwykłej wody gruntowej są chlorki: sodowy i potasowy (NaCl i KCl), siarczany: sodowy (Na_2SO_4), magnezowy (MgSO_4), wapniowy (CaSO_4) oraz głównie obojętne i kwaśne węglany: wapniowy (CaCO_3 i $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), magnezowy (MgCO_3 i $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$) i kwaśny węglan żelazawy ($\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$). Rozpuszczaniu się składników gleby w wodzie gruntowej sprzyja obecność rozpuszczonego w niej dwutlenku węgla (CO_2), pochodzącego z utlenienia substancji organicznych; CO_2 powoduje przechodzenie węglanów (MgCO_3 i CaCO_3) w łatwiej rozpuszczalne węglany kwaśne ($\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ i $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$).

Wody rzek i jezior na ogół mają mniejszą zawartość rozpuszczonych soli niż wody gruntowe na skutek rozcieńczenia opadami, ulatniania się CO_2 i związanego z tym wytrącania się węglanów obojętnych. Wody te natomiast mogą zawierać zawiesinę z łu oraz związki organiczne i bakterie, szczególnie w pobliżu siedzib ludzkich.

Wody mórz i oceanów w porównaniu z innymi wodami odznaczają się bardzo wysoką zawartością soli, głównie chlorku sodowego (NaCl), poza tym chlorku potasowego (KCl) i magnezowego (MgCl_2), oraz siarczanów magnezowego (MgSO_4) i wapniowego (CaSO_4).

Rodzaje zanieczyszczeń

1. **Zawiesiny.** Są to cząstki ciał stałych o wymiarach większych od $0,1 \mu$. Zawiesiny mogą być pochodzenia nieorganicznego (np. muł rzeczny, piasek) lub organicznego (substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego).

2. **Zanieczyszczenia koloidowe** są spowodowane obecnością cząstek o wielkości od $0,001$ do $0,1 \mu$, pochodzenia głównie organicznego. Są to np. produkty butwienia ciał organicznych, emulsje olejów, znajdujące się w skroplinach w różnych zakładach przemysłowych i inne. Z koloidów nieorganicznych należy wymienić krzemionkę koloidalną (SiO_2).

3. **Sole nieorganiczne.** Najbardziej typowe zanieczyszczenia tworzą związki wapnia i magnezu, a mianowicie węglany obojętne i kwaśne, siarczany, rzadziej krzemiany i chlorki. Obecność tych soli jest szczególnie niepożądana w wodzie przeznaczonej do napełniania kotłów, gdyż powoduje tworzenie się na ściankach kotła twardej, dobrze przylegającej, trudnej do usunięcia powłoki, zwanej kamieniem kotłowym. Kamień kotłowy zmniejsza przewodnictwo cieplne ścianek kotła, co prowadzi do znacznego podniesienia się ich temperatury, a tym samym powoduje rozżarzenie się blachy. W wyniku tego zmniejsza się jej wytrzymałość i powstają wybrzuszenia. W razie miejscowego odprysnięcia kamienia kotłowego woda styka się z rozżarzoną blachą i może nastąpić nawet wybuch kotła.

Miarą zawartości w wodzie soli wapniowych i magnezowych jest tzw. twardość wody, którą się mierzy w stopniach. Używane są stopnie niemieckie, francuskie lub angielskie. 1° niemiecki odpowiada zawartości 10 mg CaO lub $7,19 \text{ mg MgO}$ w litrze wody, 1° francuski — 10 mg CaCO_3 w litrze wody, 1° angielski — $14,3 \text{ mg CaCO}_3$ w litrze (czyli 1 grain CaCO_3 w 1 galonie wody).

Rozróżniamy twardość całkowitą, przemijającą i trwałą.

Twardość przemijająca lub węglanowa odpowiada zawartości kwaśnych węglanów, które po ogrzaniu powyżej temp. 60°C wydzielając dwutlenek węgla przechodzą w nierozpuszczalne węglany obojętne. Pozostałe sole, a głównie siarczan wapniowy, nie podlegają zmianom wskutek ogrzania wody i stanowią *twardość trwałą*. *Twardość całkowita* składa się z obu tych twardości.

Związki żelaza spotyka się najczęściej w postaci kwaśnego węglanu żelazawego ($\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$), siarczanu żelazawego (FeSO_4) oraz koloidalnych związków z kwasami humusowymi.

Sole sodowe i potasowe są łatwo rozpuszczalne. W wodach naturalnych występują głównie w postaci chlorków i siarczanów. Siarczany tworzą kamień kotłowy. Węglany rzadko występują w wodzie naturalnej, natomiast w wodzie zmiękczonej są często spotykane.

Ze składników mineralnych w wodzie występuje ponadto krzemionka (SiO_2), częściowo w postaci koloidalnej, częściowo zaś w postaci związków. Krzemionka również wchodzi w skład kamienia kotłowego.

4. Zanieczyszczenia gazowe. Do głównych zanieczyszczeń gazowych wody zalicza się rozpuszczone w niej składniki powietrza: tlen, azot oraz dwutlenek węgla, który w nieznacznym tylko stopniu pochodzi z rozpuszczenia się powietrza. Woda zanieczyszcza się dwutlenkiem węgla głównie wskutek utleniania się substancji organicznych. Poza tym w wodzie występuje amoniak (NH_3), siarkowodór (H_2S) oraz bezwodniki kwasu siarkawego (SO_3) i siarkawego (SO_2).

42. Zastosowania wody

Woda stosowana jest do różnych celów i w związku z tym stawia się jej rozmaite wymagania. Rozpatrzmy kolejno poszczególne przypadki.

Woda do picia powinna zawierać rozpuszczone sole w takiej ilości, aby po wprowadzeniu do żołądka nie powodowała zakłócenia normalnego ciśnienia osmotycznego, jak to ma miejsce w przypadku wody deszczowej i destylowanej. Powinna ona zawierać również rozpuszczone gazy: dwutlenek węgla, tlen i azot, przy tym stosunek ich mniej więcej musi odpowiadać stosunkowi tych gazów w powietrzu. Ponadto woda do picia powinna być chłodna (o temp. $7 - 11^\circ\text{C}$), przezroczysta, bez barwy i zapachu. Bezwzględnie nie może ona zawierać bakterii chorobotwórczych, a bakterie nieszkodliwe mogą w niej występować najwyżej w ilości 100

do 200 na 1 cm³. W wodzie do picia nie mogą znajdować się substancje trujące, jak związki arsenu (As), baru (Ba) i ołowiu (Pb), substancje gnilne, związki organiczne oraz pewne niepożądane sole mineralne (np. sole magnezu). Obecność amoniaku (NH₃), azotanów i azotynów wskazuje na to, że w wodzie odbywały się procesy rozkładowe substancji organicznych, duża zaś ilość chlorków świadczy o przedostawaniu się do wody odchodów zwierzęcych.

Woda przeznaczona do celów przemysłowych musi odpowiadać różnym wymaganiom zależnie od gałęzi przemysłu, w jakiej jest stosowana. Tak więc w zakładach używających mydła, np. w pralniach, farbiarniach stosuje się wodę nie zawierającą soli metali ziem alkalicznych, gdyż sole te wytrącają mydło. W przemyśle fermentacyjnym np. w browarach i gorzelniach, musi być stosowana woda wolna od bakterii, które szkodzą procesom fermentacyjnym. Wody wolnej od bakterii muszą używać również garbarnie. Cukrownie wymagają stosowania wody pozbawionej siarczanu wapniowego (CaSO₄), który krystalizuje razem z cukrem, oraz chlorku sodowego (NaCl), który utrudnia krystalizację. W farbiarniach tkanin oraz w przemyśle ceramicznym nie można używać wody zawierającej składniki, które zmieniają barwy i wywołują plamy, np. metale ziem alkalicznych i metale ciężkie, głównie żelazo.

Woda do zasilania kotłów nie powinna zawierać składników wywołujących korozję żelaza, tworzących kamień kotłowy oraz powodujących pienienie się.

Jak z powyższego wynika, obecność różnych substancji w wodzie przeznaczonej do celów gospodarczych lub przemysłowych jest niepożądana, uważamy je więc za zanieczyszczenia.

43. Oczyszczanie wody od zawiesin, koloidów i gazów

Wodę można oczyszczać różnymi metodami zależnie od charakteru zanieczyszczeń. Sposób oczyszczania jest uzależniony również od przeznaczenia wody — jak podało powyżej — nie wszystkie zanieczyszczenia są jednakowo szkodliwe. Przy wyborze metody oczyszczania dużą rolę odgrywają również lokalne warunki zakładu przemysłowego, jak typ urządzeń i aparatów, ich warunki pracy, rozmiary itp.

Ogólnie biorąc — oczyszczanie wody polega na usunięciu z niej: 1) zawiesin, 2) zanieczyszczeń koloidalnych, 3) soli mineralnych, 4) gazów.

Usuwanie zawiesin. W przypadku większych ilości zanieczyszczeń lub dużych ilości wody przeznaczonej do oczyszczania, stosuje się odstojniki; są to zbiorniki znacznych rozmiarów, przez które woda przepływa z niewielką szybkością (w granicach od 1 do 10 mm/sek), tak że znajdujące się w niej zawiesiny mają czas opaść na dno.

Wymiary zbiornika zależą od szybkości opadania zawiesiny, która z kolei uzależniona jest od wielkości cząstek oraz ich ciężaru właściwego, a także od lepkości wody.

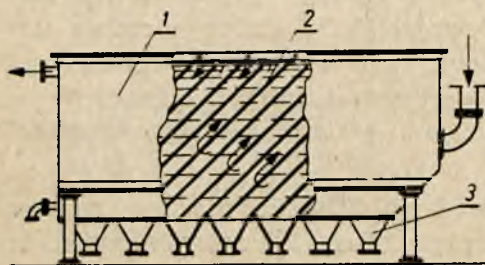
Odstojniki. Mniejsze ilości wody przechowywane są zwykle w pionowych zbiornikach cylindrycznych o dnie stożkowym, zaopatrzone w zasuwę do odprowadzania osadu. Do odprowa-

dzania czystej (klarownej) wody służą kurki znajdujące się na różnych wysokościach. Odstojniki takie pracują w sposób okresowy.

W przypadku oczyszczania dużych ilości wody, co ma miejsce np. przy oczyszczaniu wód ściekowych z zakładów przemysłowych, odstojniki budowane są w postaci wielkich zbiorników betonowych, działających w sposób półciągły.

Woda przepływa przez nie ciągle, osad zaś usuwany jest co pewien okres czasu.

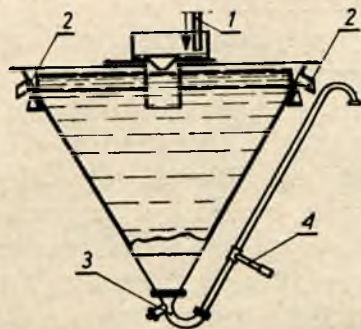
Przykładem odstojnika o więcej zwartej budowie i działaniu półciągłym jest odstojnik przedstawiony na rys. 110, stosowany do oczyszczania wody przeznaczonej do kotłów parowych. Zbiornik 1 tego odstojnika jest prostokątną stalową skrzynią, wewnątrz której znajduje się szereg przegród 2, kierujących strumień wody kolejno z góry na dół i z dołu do góry. Osad zbiera się w stożko-



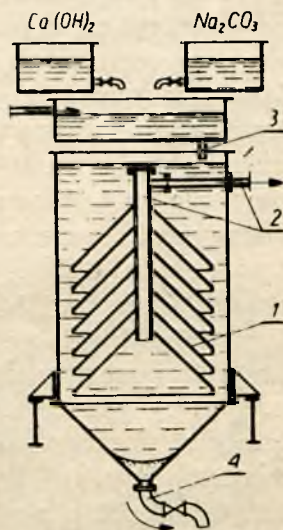
Rys. 110. Odstojnik periodyczny: 1 — skrzynia odstojnika, 2 — przegrody, 3 — leje do osadu

wych wgłębieniach dna 3, skąd spuszczaony jest okresowo przez odpowiednie zawory.

Najprostszym odstojnikiem działającym w sposób ciągły jest aparat przedstawiony na rys. 111. Jest to stożkowy zbiornik o kącie wierzchołkowym równym 60° , do którego rurą 1 doprowadzana jest woda mętna. Woda oczyszczona (klarowna) przelewa się do rynny otaczającej górną krawędź zbiornika, skąd odpływa przewodami 2. Osad z dna osadnika odprowadzany jest w sposób ciągły rurą 3. W razie za-



Rys. 111. Odstojnik ciągły: 1 — rura do doprowadzania cieczy mętnej, 2 — przewód do cieczy oczyszczonej, 3 — rura do odprowadzania osadu, 4 — przewód do cieczy przemywającej



Rys. 112. Odstojnik ze stożkami: 1 — stożki, 2 — rura odpływowa, 3 — rura do wody mętnej, 4 — rura do odprowadzania zawiesin

nieczyszczenia się rury szlamem, można ją przemyć strumieniem wody doprowadzonej pod ciśnieniem przez przewód 4.

Osadniki powyższe łączy się szeregowo w baterię składającą się z kilku aparatów.

Na rys. 112 przedstawiono bardziej skomplikowany odstojnik służący do oczyszczania wody w sposób ciągły. W jego wnętrzu znajduje się szereg stożków 1 przyłączonych do wspólnej rury odpływowej 2. Woda mętna doprowadzana jest do odstojnika przewodem 3; przepływa ona najprzód na dół, a potem między stożkami — do góry; zawiesiny osiadają na stożkach i zsuwając się z nich zbierają się na dnie zbiornika, skąd są odprowadzane rurą 4. Czy-

sta (klarowna) pozbawiona zawiesin woda odpływa rurą 2 na zewnątrz.

Jeżeli zawiesinę stanowią drobne cząstki, nie mające tendencji do opadania lub drobne zanieczyszczenia o charakterze koloidalnym (np. substancje humusowe) staramy się je skoagulować, czyli przeprowadzić w większe skupienia cząsteczek, łatwiejsze do rozdzielania. Osiąga się to przez wprowadzenie odpowiednich odczynników, jak wodorotlenek wapniowy, fosforany sodowe, sole glinu i żelaza. Odczynniki te powodują wytrącanie się kłaczkowatych zawiesin, które wykazują własności adsorpcyjne i ułatwiają klarowanie się wody w odstojnikach. Sposób ten znajduje specjalne zastosowanie przy usuwaniu z wody krzemionki.

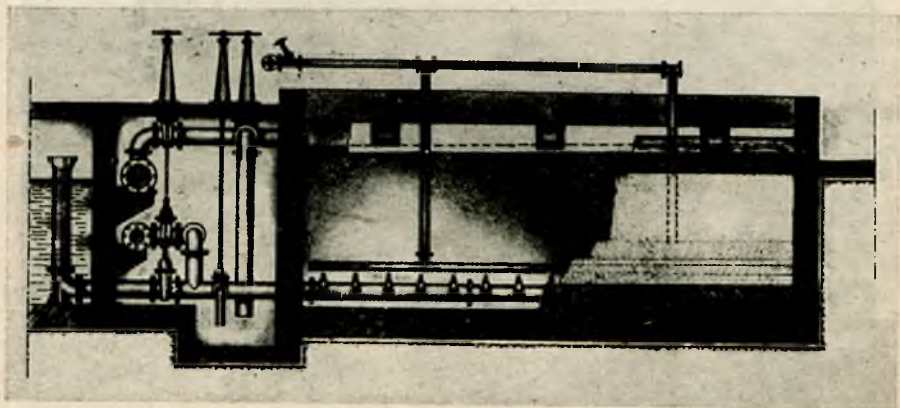
Zanieczyszczenia mechaniczne najlepiej usuwa się z wody przez **filtrowanie**. Polega ono na przepuszczaniu wody przez warstwę masy filtracyjnej, którą najczęściej stanowi żwir. Cząstki zawiesiny, które znajdują się w przepływającej przez filtr wodzie, osadzają się pomiędzy ziarenkami żwiru. Wskutek tego filtr po dłuższej pracy przestaje prawie działać i musi być oczyszczony. Od grubości warstwy, ziarnistości masy i prędkości przepływu wody zależy wynik filtrowania. Masa filtracyjna musi być tym drobniejsza (bardziej drobnoziarnista), im drobniejsze są cząstki zawiesiny. Ponieważ jednak średnica ziaren masy filtracyjnej — praktycznie biorąc — nie może być mniejsza od 1 mm, przeto przy bardzo drobnej zawieszynie należy zmniejszyć prędkość przepływu.

Zależnie od prędkości przepływu wody filtry dzielimy na wolnobieżne i szybkobieżne. W filtrach wolnobieżnych prędkość przepływu wody wynosi $0,1 \div 0,3$ m/godz, a wydajność — $1 \div 2,5$ $m^3/m^2 \cdot$ dobę. Filtry wolnobieżne muszą więc mieć dużą powierzchnię; są one trudne do czyszczenia, a koszt ich jest wysoki. Zaletą ich jest dokładne usuwanie bakterii, które są zatrzymywane przez warstwę zawiesin, osadzoną w górnej warstwie żwiru i stanowiącą właściwy filtr. Obecnie filtry te stosuje się wyłącznie do oczyszczania wody do picia, chociaż i w tym przypadku są częściowo zastępowane filtrami szybkobieżnymi, w których szybkość przepływu wynosi $4 - 10$ m/godz, a wydajność dochodzi do $120 - 150$ m^3/m^2 dobę.

• Filtry szybkobieżne nie usuwają dostatecznie bakterii, toteż przy oczyszczaniu wody do picia albo służą jako filtry przygotowawcze

umieszczone przed filtrami wolnobieżnymi dostarczając im wodę już znacznie oczyszczoną, dzięki czemu mogą one pracować szybciej, lub też w przypadku stosowania filtrów szybkobieżnych wodę oczyszcza się dodatkowo. Bakterie można usuwać z wody metodą biologiczną lub przez chlorowanie.

Pod względem budowy rozróżniamy filtry szybkobieżne otwarte oraz zamknięte, które pracują pod ciśnieniem, dzięki czemu osiągają one dużą szybkość i wydajność. Konstrukcja filtrów tego typu polega na tym, że na dnie stalowym lub z płyt żelbetonowych spoczywa warstwa filtracyjna o grubości 0,5 — 1 m, w wyjątko-

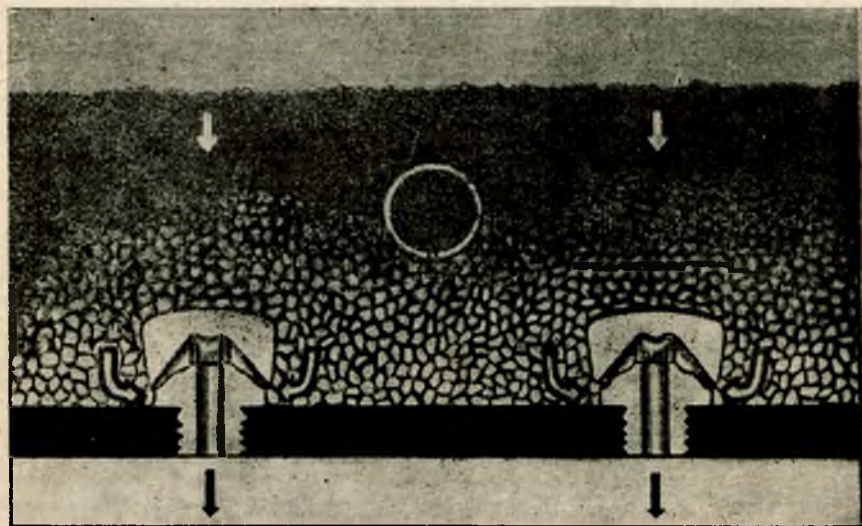


Rys. 113. Filtr otwarty

wych wypadkach grubość tej warstwy wynosi 2 — 3 m. Woda oczyszczana przepływa przez warstwę filtracyjną z góry na dół i jest odprowadzana dyszami porcelanowymi, umieszczonymi w dnie aparatu. Gdy przestrzenie między ziarenkami żwiru zapchają się cząstkami zawiesiny, wówczas filtr jest przepłukiwany; wodę do płukania wprowadza się od dołu przez wspomniane dysze, a przez ruszt powietrzny przechodzący przez cały filtr nieco powyżej dysz wprowadza się sprężone powietrze, które wraz z wodą płuczącą wprawia ziarenka żwiru w gwałtowny ruch, rozdziela je i wymywa zawiesinę. Po włączeniu filtru do pracy najprzód w ciągu kilkunastu minut należy odprowadzać wodę do kanału dopóty, dopóki nie uzyska się krystalicznej przejrzystości. Na

rys. 113 przedstawiono filtr otwarty, a na rys. 114 — przekrój wycinka filtru zamkniętego z warstwą żwirową i dyszami.

Jeżeli woda oczyszczana nie przechodziła uprzednio przez odstożniki, w których była przeprowadzona koagulacja, przed wejściem do filtru należy dodać do niej koagulatora (substancji wywołującej skupianie się zawiesiny koloidalnej w większe cząstki, np. soli glinowych).



Rys. 114. Szczegół filtru zamkniętego

Usuwanie koloidów. Usuwanie koloidów było częściowo omówione w związku z koagulacją zawiesin. Poszczególnymi przypadkami tego samego zagadnienia jest usuwanie z wody żelaza i oleju.

Żelazo występuje w wodzie w postaci nieorganicznych i organicznych soli żelazawych, a jego usuwanie polega na jego utlenieniu i strącaniu w postaci wodorotlenku żelazowego, który jest osadem koloidowym. Najprostszy sposób utlenienia polega na naniepowietrzeniu wody. Sole organiczne wymagają użycia silniejszych środków utleniających, jak chloru, nadmanganianu itp.

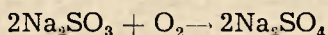
Odżelazianie odbywa się w aparatach otwartych lub zamkniętych. W otwartych aparatach woda rozpylona za pomocą dysz opada do otwartych zbiorników będących jednocześnie filtrami. W instalacjach zamkniętych wodę wprowadza się od góry na tacach

lub rozpyła za pomocą dysz do drobnych kropelek, od dołu zaś doprowadza się sprężone powietrze. W dolnej części aparatu znajduje się filtr żwirowy, który co pewien czas musi być przepłukiwany.

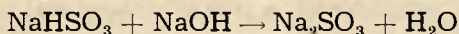
W procesie utleniania obok wodorotlenku żelazowego powstają wolne kwasy, które wpływają hamująco na proces wytrącania się wodorotlenku. Jeżeli woda zawiera węglany, to zobojętniają one powstające kwasy, w przeciwnym razie wodę należy odkwasić dodając wodorotlenku wapniowego.

Zanieczyszczenia w postaci oleju występują w wodzie, która była używana do maszyn parowych i pomp. Para przepływając przez cylindry porywa ze sobą olej stosowany do smarowania. Olej pozostaje w skroplinach. Można go usunąć przez klarowanie wody w odstojnikach, filtrach wypełnionych koksem lub lepiej węglem aktywowanym¹⁾, wreszcie chemicznie przez adsorpcję emulsji olejowej wytrąconym wodorotlenkiem glinowym lub żelazowym i filtrowanie.

Usuwanie zanieczyszczeń gazowych. Najniebezpieczniejszym z zanieczyszczeń gazowych jest tlen (O_2), który powoduje korozję żelaza. Można go usunąć przez wiązanie łatwo utleniającymi się substancjami. Przeważnie stosujemy siarczyn kwaśny lub obojętny ($NaHSO_3$ i Na_2SO_3). Obojętny siarczyn utlenia się łatwo wg równania



Kwaśny siarczyn utlenia się trudniej. Najpierw powinien on być przeprowadzony w siarczyn obojętny



po czym utlenianie przebiega wg powyżej podanej reakcji.

Wszystkie zanieczyszczenia gazowe usuwa się w tzw. odgazowyczach termicznych. Zasada ich działania polega na tym, że ilość rozpuszczonego gazu maleje wraz ze wzrostem temperatury.

1) Węgiel aktywowany jest to węgiel sproszkowany lub granulowany, specjalnie preparowany o silnie rozwiniętej powierzchni, co uzyskuje się przez działanie gazów na rozgrzany węgiel lub przez ogrzewanie węgla ze związkami nieorganicznymi. Wielka powierzchnia tak przygotowanego węgla zapewnia zdolności adsorpcyjne, czyli skupianie na powierzchni cząstek substancji obcych.

Stąd wynika, że najlepsze usunięcie rozpuszczonych gazów osiąga się przy doprowadzaniu cieczy do temperatury wrzenia. Proces możemy prowadzić pod ciśnieniem normalnym, zwiększonym lub pod próżnią, co nie wpływa na działanie odgazowywacza. W aparatach atmosferycznych i ciśnieniowych gazy uchodzą w powietrze, w aparatach zaś próżniowych muszą być usuwane za pomocą pomp próżniowych. Aparaty, w których woda zagotowuje się do wrzenia, nazywamy przekipiaczami.

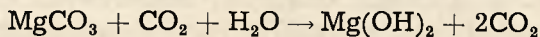
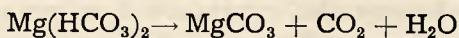
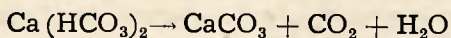
44. Zmiękczenie wody

Usuwanie soli mineralnych, czyli zmiękczenie wody polega głównie na usuwaniu soli, wywołujących ich twardość. Istnieje szereg metod zmiękczenia wody, które można podzielić na trzy grupy: 1) fizyczne, 2) termiczne, 3) chemiczne. Wybór metody zależy przede wszystkim od jakości oraz ilości zanieczyszczeń w wodzie surowej, a następnie od jej przeznaczenia, tzn. czy woda ma być użyta do celów przemysłowych, czy do zasilania kotłów parowych. W pierwszym przypadku jest to uzależnione od tego, w jakiej gałęzi przemysłu chemicznego woda ma być użyta: w cukrowni, farbiarni itp., w drugim decyduje o tym system kotła, wysokość ciśnienia, temperatura pary itp.

Zmiękczenie wody metodą fizyczną polega na destylacji. Prowadzi się ją w instalacji, zwanej *wyparką*. Surową wodę wprowadzoną do wyparki odparowuje się za pomocą gorącej pary, najekonomiczniej za pomocą pary odlotowej z silników parowych. Woda uzyskana w ten sposób ma twardość równą zeru, nie posiada więc rozpuszczonych soli, a nawet gazów wskutek przejścia po wyparce przez skraplacz z pompą powietrzną. Pomimo tych pozornych zalet zmiękczenie wody przez destylację stosowane jest rzadko wskutek tego, że właściwie proces osadzania się kamienia kotłowego zostaje tylko przesunięty z kotła do wyparki, w której również wskutek osadzania się warstewki kamienia, zmniejsza się przenikanie ciepła przez ścianki i powstaje konieczność oczyszczania wnętrza wyparek.

Termiczne zmiękczenie wody stosuje się głównie wówczas, gdy woda ma twardość przemijającą, czyli węglanową. Jest ono oparte na własnościach kwaśnych węglanów (wapniowego

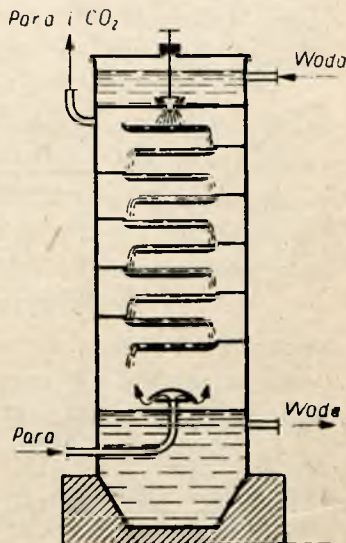
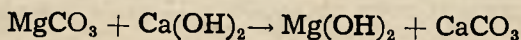
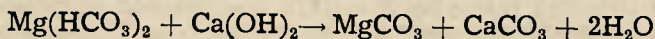
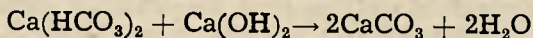
i magnezowego $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ i $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, które rozkładają się pod wpływem ogrzewania według poniższych reakcji



Powstające przy tym węglany obojętne i wodorotlenek magnezowy $\text{Mg}(\text{OH})_2$ wytrącają się w postaci mułu i mogą być usunięte w odstojnikach lub przez filtrowanie. Dla wywołania rozkładu kwaśnego węglanu wapniowego $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ wystarczy ogrzanie go do temp. $70\text{--}90^\circ\text{C}$, natomiast rozkład kwaśnego węglanu magnezowego $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ wymaga dłuższego czasu ogrzewania i wyższej temperatury.

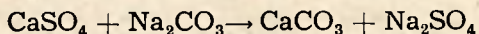
Na rys. 115 przedstawiono urządzenie do termicznego zmiękczenia wody. Składa się ono z zamkniętego metalowego zbiornika, do którego woda doprowadzana jest od góry i spływając kaskadowo z tacy na tacę spotyka płynącą w przeciwnym kierunku parę wprowadzaną od dołu. Zmiękczona woda zbiera się w dolnej części zbiornika, skąd kierowana jest do filtrów i do właściwego zbiornika wody oczyszczonej, natomiast para wraz z dwutlenkiem węgla uchodzi góra.

Chemiczne zmiękczenie wody stosowane jest zarówno dla zupełnego usunięcia twardości przemijającej (czego nie zapewnia zmiękczenie termiczne), jak i dla usunięcia twardości trwałej. W pierwszym przypadku do wody surowej dodaje się wodorotlenku wapniowego ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), tzw. wapna gaszonego. Działanie jego wyjaśniają poniższe reakcje



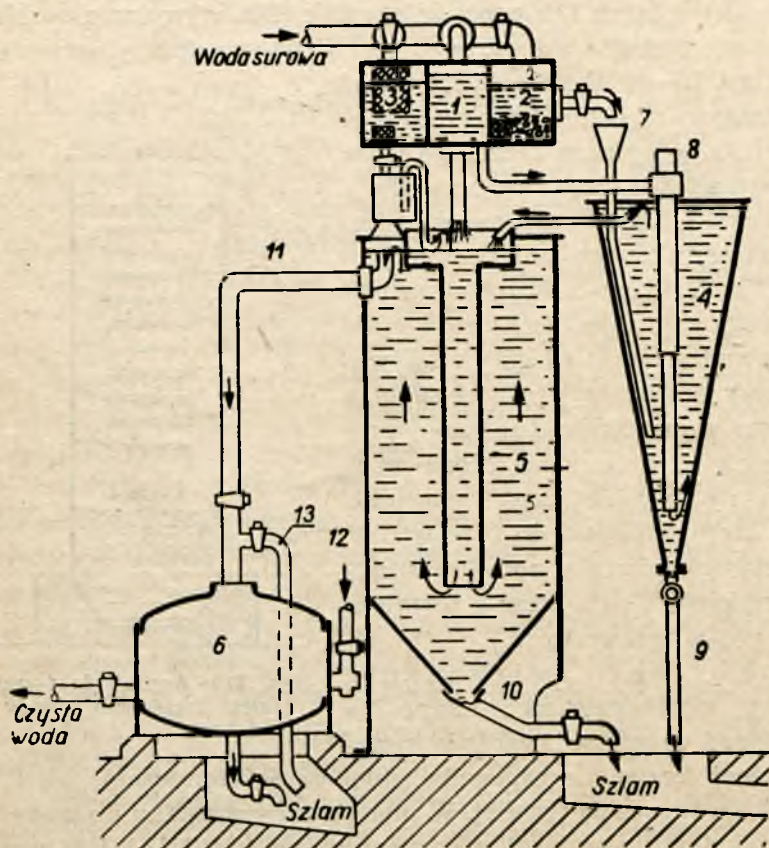
Rys. 115. Aparat do termicznego zmiękczenia wody

Natomiast dla usunięcia soli wywołujących twardość trwałą dodajemy sody (Na_2CO_3), która reaguje następująco



Zazwyczaj dodajemy obu czynników i w ten sposób osiągamy prawie całkowite usunięcie twardości zarówno przemijającej, jak i trwałej. Metoda ta nosi nazwę metody wapniowo-sodowej.

Na rys. 116 przedstawiono instalację stosowaną przy prowadzeniu zmiękczenia wody metodą wapniowo-sodową.



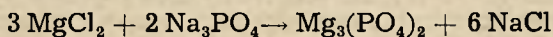
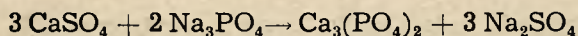
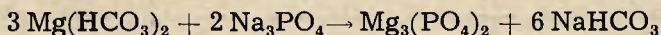
Rys. 116. Instalacja do zmiękczenia wody metodą wapniowo-sodową:
1 — zbiornik rozdzielczy wody surowej, 2 — zbiornik mleka wapiennego, 3 — aparat do dawkowania roztworu sody, 4 — nasycalnik do wody wapiennej, 5 — aparat reakcyjny, 6 — filtr, 7 — przewód do mleka wapiennego, 8 — doprowadzenie wody do nasycalnika, 9, 10, 13 — odprowadzenie szlamu, 11 — przewód wody zmiękczonej, 12 — doprowadzenie sprężonego powietrza

Woda surowa ze zbiornika rozdzielczego 1 sływa do centralnej rury umieszczonej w zbiorniku reakcyjnym 5. Do rury tej ze zbiornika 3 doprowadzany jest roztwór sody oraz woda wapienna. Wodę wapienną przygotowuje się w nasycalniku 4, do którego doprowadza się od dołu mleko wapienne (rurą 7 ze zbiornika 2) i wodę surową (rurą 8 ze zbiornika 1). Zmiękczone woda odpływa rurą 11 do filtru 6. Rurą 12 wprowadza się powietrze w czasie oczyszczania filtru. Szlam odprowadza się rurami 9, 10 i 13.

W metodzie wapniowo-sodowej wodorotlenek wapniowy (Ca(OH)_2) można zastąpić wodorotlenkiem sodowym (NaOH); można też stosować wyłącznie wodorotlenek sodowy uzyskując dzięki temu bardzo niską ostateczną twardość wody: około $0,5^\circ$. Jednak ze względu na wysoką cenę wodorotlenku sodowego metoda ta jest bardzo rzadko stosowana.

Dobre rezultaty osiąga się przez zmiękczenie wody za pomocą wodorotlenku barowego (Ba(OH)_2), gdyż siarczan barowy (BaSO_4) wytworzony w czasie reakcji z gipsem (CaSO_4) wytrąca się i przechodzi do osadu. Woda zmiękczone w ten sposób nie wzbogaca się w sole, co jest zjawiskiem pożądanym. Jednakże odczynnik ten jest kosztowny i nie znalazł szerszego zastosowania.

Woda zmiękczone wapnem i sodą wykazuje jeszcze $2\text{--}3^\circ$ twardości. W wielu wypadkach, jak np. do zasilania kotłów wysokoprężnych jest to twardość zbyt wielka. Doskonale wyniki daje zmiękczenie wody za pomocą fosforanu sodowego (Na_3PO_4), który usuwa twardość zarówno przemijającą, jak i stałą dając przy tym najmniejszą twardość szczałkową, a mianowicie $0,1^\circ$. Jednak z powodu wysokiej ceny związek ten nie może być używany jako jedyny środek zmiękczejący. Natomiast szerokie zastosowanie znalazł on przy zmiękczeniu uzupełniającym po wstępnym oczyszczeniu wapnem i sodą. Reakcje fosforanu sodowego z rozpuszczonymi w wodzie surowej solami są następujące:



Urządzenie do zmiękczenia wody metodą [wapniowo-sodową z uzupełniającym zmiękczeniem fosforanem sodowym przedstawiono na rys. 117.

Cała instalacja jest złożona z dwóch części, z których pierwsza służąca do zmiękczenia wody metodą wapniowo-sodową jest analogiczna do urządzenia przedstawionego na rys. 116. Różnicę stanowi zainstalowanie podgrzewacza parowego 1 do wody surowej. Ogrzewanie wody przyspiesza reakcję zmiękczenia oraz zwiększa rozpuszczalność sody. Zatem stosowanie podgrzewacza wpływa dodatnio na proces zmiękczenia.

Woda po zmięczeniu w pierwszej części instalacji przepływa do rury osadowej naczynia reakcyjnego 2, gdzie podlega zmiękczeniu uzupełniającemu fosforanem sodowym przygotowanym w naczyniu 3. Całkowicie zmięczona woda odpływa góra z naczynia 2 i kierowana jest przez filtr 4 do zbiornika wody zmięczonej. Muł wydzielony w naczyniu 2 odprowadzany jest z dolnej jego części do kanału spustowego tak samo jak w aparatach przedstawionych na rys. 116.

Omówione dotychczas metody oparte były na zasadzie

wytrącania z roztworu niepożądanych składników. Poza tym istnieją metody zmiękczenia, których podstawą są reakcje wymiany zachodzące pomiędzy solami rozpuszczonymi w wodzie surowej, przepływającej przez specjalne masy oczyszczające, a tymi masami. Początkowo masy sporządzano ze związków wymieniających kation¹⁾. Ostatnio zaczęto stosować masy mające zdolność wymia-

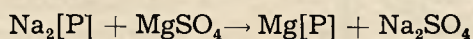
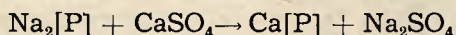
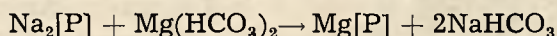
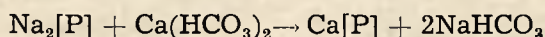
¹⁾ W roztworach wodnych sole, kwasy i zasady rozpadają się na jony; są to atomy lub grupy atomów obdarzone ładunkiem elektrycznym. Jony naładowane dodatnio nazywają się kationami, jony naładowane ujemnie — anionami.

ny anionu. W związku z powyższą własnością masy te noszą ogólną nazwę *jonitów*. Proces odbywa się w ten sposób, że woda surowa w aparacie zwanym wymiennikiem przepływa przez warstwę jonitu wymieniając kationy Ca^{++} i Mg^{++} rozpuszczonych w nich soli na kationy jonitu Na^+ (powstają wtedy sole sodowe) nie powodujące twardości lub na kationy H^+ (tworząc kwasy).

W przypadku jonitu, mającego własność wymiany anionu, z wody surowej mogą być usunięte aniony SO_4^{--} i Cl^- . Całkowite usunięcie soli osiąga się przez zastosowanie mas obydwu rodzajów.

W celu sporządzenia masy do zmiękczenia wody metodą wymiany jonów najpierw zastosowano glinokrzemiany naturalne (np. sodowy $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), a następnie otrzymywane sztucznie. Masy te noszą nazwę *permutytów*, stąd całą metodę nazywamy *permutytową*.

Reakcje wymiany jonów Ca^{++} i Mg^{++} z soli powodujących twardość wody na jon Na^+ z permutytu możemy przedstawić następująco:



w reakcjach tych całą złożoną resztę kwasową glinokrzemianu ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) dla uproszczenia oznaczono symbolem [P] (od nazwy „permutyt“).

W miarę przepływu wody przez permutyt jony wapniowe i magnezowe wypierają z niego jony sodowe. Wobec tego osiąga się coraz słabsze zmiękczenie. Masa permutytowa daje się jednak regenerować: a mianowicie podczas przepuszczania przez nią roztworu soli kuchennej następuje ponowna wymiana związanych z permutytem jonów wapniowych i magnezowych na jony sodowe. Powyższą czynność należy powtarzać co kilka lub kilkanaście godzin.

Ta zdolność regeneracji oprócz zapewnienia szczątkowej twardości poniżej $0,1^\circ$ stanowi zaletę metody permutytowej. Wadą jej

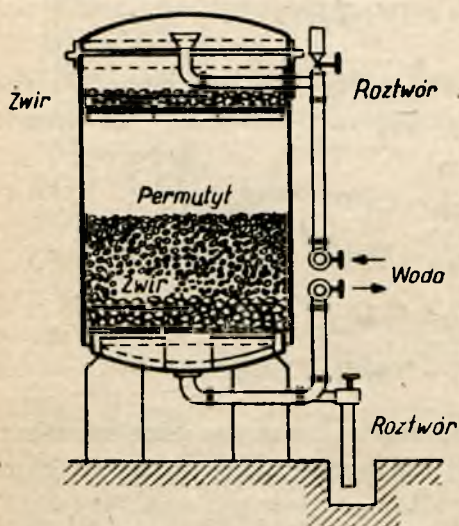
zaś jest duża zawartość w zmiękczonej wodzie kwaśnego węgla sodowego (NaHCO_3).

Lepsze wyniki uzyskuje się przez stosowanie wofatytów. Wofatyty są to żywice organiczne, które zależnie od składu i budowy mogą wymieniać zarówno kationy jak i aniony. Możliwa jest przy tym wymiana również kationu wodorowego H^+ i anionu wodorotlenowego OH^- . Ma to doniosłe znaczenie przy całkowitym odminalizowaniu wody surowej.

Przy zastosowaniu tej metody podobnie jak przy zastosowaniu metody permutytowej mamy do czynienia z zanikaniem zdolności masy wofatytywnej do wymiany w miarę, jak jony z rozpuszczonych w wodzie soli zajmują miejsce aktywnych jonów masy (Na^+ ,

H^+ i OH^-). Wofatyty analogicznie do permutytu dają się regenerować pod działaniem odczynników zawierających odpowiednie jony, a więc soli kuchennej (NaCl) dla jonu sodowego, kwasu solnego (HCl) dla jonu wodorowego i ługu sodowego (NaOH) dla jonu wodorotlenowego.

Zmiękczenie wody metodą wymiany przeprowadza się w aparatach podobnych do ciśnieniowego filtra żwirowego. Jest to zamknięty (rys. 118) zbiornik cylindryczny, w którym na warstwie żwiru znajduje się ziarnista masa jonit-



Rys. 118. Aparat permutytowy

tu (permutytu lub wofatytu). Aparat zaopatrzony jest w przewody rurkowe do zasilania wodą surową i do odprowadzania wody zmiękczonej, oraz w armaturę, która pozwala regenerować zużyty jonit za pomocą przepuszczania właściwych solanek.

Jak wynika z powyższego, oczyszczenie wody do celów przemysłowych musi być znacznie dokładniejsze niż oczyszczanie wody do picia. W wielu przypadkach musi ona być pozbawiona wszystkich zanieczyszczeń chemicznych i mechanicznych.

OGRZEWANIE ELEKTRYCZNE

45. Wiadomości wstępne

Przy ogrzewaniu elektrycznym źródłem energii cieplnej jest prąd elektryczny, który w urządzeniach grzejnych przekształca się w ciepło.

Ogrzewanie elektryczne oparte na przemianie energii elektrycznej w ciepłą jest na ogół bardziej kosztowne od ogrzewania parą lub ogrzewania bezpośredniego przez spalanie paliwa. Chociaż elektryczne urządzenia grzejne mają znacznie większą sprawność niż urządzenia grzejne oparte na spalaniu, jednak jeżeli uwzględnić sprawność siłowni cieplnych wytwarzających energię elektryczną, to okazuje się, że ogólna sprawność elektrowni i ogrzewania elektrotermicznego w najlepszym wypadku nie przekracza 25%. Sprawność ta jest mniejsza od ogólnej sprawności osiąganey przy ogrzewaniu parą lub gazami spalinowymi.

Ogrzewanie elektryczne ma wiele zalet, z których należy wymienić: 1) łatwość regulowania temperatury i ilości wytwarzanego ciepła, 2) możliwość osiągania bardzo wysokich temperatur, 3) szybki rozgrzew, 4) brak spalin mogących oddziaływać szkodliwie na ogrzewane materiały, 5) czystość i łatwość obsługi itp. Zalety te w wielu przypadkach decydują o stosowaniu kosztowniejszego ogrzewania elektrycznego i uzasadniają szerokie rozpowszechnienie grzejników i pieców elektrycznych.

W zależności od tego, w jakich warunkach przechodzi przemiana energii elektrycznej w ciepłą, rozróżniamy kilka sposobów ogrzewania elektrycznego, a mianowicie: 1) ogrzewanie oporowe, 2) elektrodowe, 3) łukowe, 4) indukcyjne, 5) pojemnościowe i 6) promiennikowe.

O g r z e w a n i e o p o r o w e polega na wyzyskaniu ciepła powstającego podczas przepływu prądu elektrycznego przez przewodniki. Ilość ciepła, która przy tym powstaje — jak wiadomo — jest proporcjonalna do kwadratu natężenia prądu elektrycznego I oraz do oporności R przewodnika, przez który przepływa prąd.

Jeżeli natężenie prądu I mierzone jest w amperach, a oporność R — w omach, to ilość ciepła powstałego w ciągu 1 sekundy zgodnie z prawem Joule'a wynosi

$$Q = 0,24 I^2 \cdot R \text{ cal/sek} \quad [31]$$

a w ciągu 1 godziny

$$Q = 0,86 I^2 \cdot R \text{ kcal/godz} \quad [32]$$

Ogrzewanie oporowe bywa bezpośrednie, gdy prąd przepływa przez materiał, który trzeba ogrzać i pośrednie, gdy prąd przepływa przez specjalny przewodnik, który wskutek tego rozgrzewa się do odpowiednio wysokiej temperatury i ogrzewa następnie potrzebne materiały lub przedmioty.

Ogrzewanie elektrodowe stosowane jest do ogrzewania cieczy przez przepuszczanie prądu elektrycznego pomiędzy zanurzonymi w niej elektrodami. W zasadzie jest ono podobne do bezpośredniego ogrzewania oporowego, ale ze względu na to, że towarzyszą mu takie zjawiska jak elektroliza, zmiany oporności i inne, które wywołują komplikacje procesu, ogrzewanie elektrodowe traktowane jest jako odrębny sposób ogrzewania elektrycznego.

Ogrzewanie łukowe. Gdy zetknąć dwie elektrody znajdujące się pod napięciem, a następnie oddalać je od siebie, wówczas pomiędzy nimi płynie przez powietrze prąd elektryczny tworząc łuk. Końce elektrod i powietrze, przez które biegnie łuk elektryczny, silnie się przy tym rozgrzewają i pod wpływem ciepła powstającego z energii elektrycznej osiągają wysoką temperaturę. Jeżeli ciepło łuku elektrycznego jest wykorzystywane do celów grzewczych, to takie ogrzewanie nazywamy ogrzewaniem łukowym.

Ogrzewanie łukowe bywa bezpośrednie, gdy ciało ogrzewane odgrywa rolę elektrody, lub pośrednie, gdy łuk przebiega między specjalnymi elektrodami, natomiast ciepło przekazywane jest ogrzewanym materiałom za pośrednictwem promieniowania, konwekcji lub przewodnictwa.

Ogrzewanie indukcyjne oparte jest na zjawisku indukcji magnetycznej. Prąd pierwotny przy ogrzewaniu indukcyjnym płynie przez uzwojenie w postaci cewki zwanej wzbudnikiem. Uzwojenie to wytwarza pole magnetyczne podobnie jak uzwojenie pierwotne w transformatorze. Rolę uzwojenia wtórnego

odgrywa tu przedmiot lub materiał ogrzewany. Powstające w ciałach ogrzewanych prądy wtórne zgodnie z prawem Joule'a wytwarzają ciepło, wskutek czego temperatura tych ciał wzrasta.

Materiały nie przewodzące elektryczności ogrzewane są prądami indukcyjnymi nie bezpośrednio jak przewodniki, lecz w sposób pośredni. W tym celu umieszcza się je w naczyniu metalowym, które jest ogrzewane indukcyjnie i wytworzone ciepło przekazuje materiałom znajdującym się w jego wnętrzu.

Ogrzewanie pojemnościowe (lub dielektryczne) oparte jest na zjawisku powstawania ruchów drgających cząstek ciał dielektrycznych w szybkozmennym polu elektrycznym. Towarzyszy temu wytwarzanie się ciepła, którego ilość jest tym większa, im większa jest częstotliwość prądu zasilającego. Ogrzewanie pojemnościowe nadaje się wyłącznie do ogrzewania bezpośredniego materiałów będących dielektrykami.

Ogrzewanie promiennikowe oparte jest na zjawisku pochłaniania przez ciała energii promienistej i przekształcania jej w energię cieplną. W tym celu ciało poddaje się działaniu promieni wysyłanych przez promiennik elektryczny, który pod względem budowy przypomina zwykłą żarówkę. Głębokość przenikania promieni w materiał zależy od długości ich fal oraz od rodzaju materiału. Doświadczenia wykazały, że większość materiałów bardzo dobrze pochłania promienie podczerwone, wobec czego promienie te są stosowane przy ogrzewaniu promiennikowym. Materiał pochłaniając promienie podczerwone nagrzewa się.

Z omówionych powyżej sposobów ogrzewania najczęściej rozpozszechnione jest ogrzewanie oporowe i łukowe, a najmniej rozpozszechnione — ogrzewanie pojemnościowe i promiennikowe.

46. Materiały oporowe, ich oporność właściwa i dopuszczalna temperatura ogrzewania

Istotną częścią każdego grzejnika oporowego przeznaczonego do ogrzewania pośredniego jest przewód grzejny, w którym zachodzi przemiana energii elektrycznej w cieplną. Przewody grzejne wyrabia się ze specjalnych materiałów oporowych, które dzielą się na metalowe i niemetalowe. Pierwsze z nich dają się łatwo kształto-

wać (zwiijać w spiralę, wyginać), drugie zaś mogą pracować w znacznie wyższych temperaturach.

Spółród wielu odmian metalowych materiałów oporowych na uwagę zasługują: nikielina, chromonikielina, ferrochromal (kanthal), platyna, molibden i wolfram.

Nikielina jest stopem miedzi, niklu i manganu (Cu-78, 5%, Ni — 20%, Mn — 1,5%) o oporności właściwej $\rho = 0,4\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$. Używa się jej do niskotemperaturowych urządzeń grzejnych o temperaturze roboczej nie przekraczającej 500°C.

Chromonikielina jest stopem żelaza z niklem i chromem o oporności właściwej, która zależy od składu wynosi od $\rho = 1,05$ do $\rho = 1,1\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$. Dopuszczalna temperatura robocza tego stopu waha się od 900 do 1050°C, przy czym temperatura ta jest tym większa, im stop zawiera mniej żelaza (przy składzie Fe — 22%, Ni — 60%, Cr — 18%, $\rho = 1,1\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, a temperatura robocza 950°C).

Ferrochromal (kanthal) jest stopem żelaza z chromem i glinem, często z niewielkim dodatkiem kobaltu. Oporność właściwa ferrochromalu zależy od składu waha się od $\rho = 1,35$ do $\rho = 1,45\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, a dopuszczalna temperatura robocza — od 1150 do 1350°C (przy składzie Fe — 70%, Cr — 23%, Al — 4,5%, Co — 1%, inne domieszki 1,5% $\rho = 1,39$, dopuszczalna zaś temperatura robocza wyniesie 1300°C). Wadą ferrochromalu jest jego kruchość, zwłaszcza po pewnym okresie pracy, oraz wrażliwość na działanie tlenków żelaza.

Platyna ma oporność właściwą $\rho = 0,11\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, jest bardzo kosztowna i bywa używana do wyrobu tylko niewielkich grzejników laboratoryjnych, które dają temperatury do 1400°C.

Molibden jest odporny na działanie temperatur roboczych dochodzących do 2000°C, a wolfram — nawet do 3000°C. Wadą ich jest stosunkowo mała oporność właściwa wynosząca $\rho = 0,045\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ dla molibdenu i $\rho = 0,05\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ dla wolframu, oraz łatwe utlenianie się przy ogrzewaniu na powietrzu; z tego względu materiały te mogą pracować tylko w atmosferze ochronnej (np. w wodorze) lub w próżni.

Z powyższych materiałów oporowych wyrabia się przewody grzejne w postaci drutu lub taśmy. Druty grzejne zwykle mają

średnice od 0,1 do 6 mm, a taśmy bywają wyrabiane o kilkudziesięciu różnych przekrojach od $0,2 \times 0,1$ do $50 \times 2,5$ mm².

Spośród niemetalowych materiałów oporowych najczęściej rozpowszechnione są sylit, węgiel, grafit i kryptol.

Sylit jest węglikiem krzemu (SiC). Używany jest w grzejnictwie elektrycznym do wyrobu prętów i rur o średnicy od 8 do 60 mm i długości od 125 do 1500 mm. Jego oporność właściwa w temp. 20°C wynosi kilka tysięcy Ω mm²/m, a w temp. 900°C równa się $\rho = 900 \Omega$ mm²/m. Węgiel krzemu jest odporny na działanie wysokich temperatur i stosuje się go do wyrobu grzejników dających temperatury do 1400°C. Wadą sylitu jest wzrost jego oporności z biegiem czasu, co należy uwzględnić przy projektowaniu sylitowych urządzeń grzejnych.

Węgiel i grafit używane są w postaci prętów, rur, płyt i tygli (z dodatkiem szamotu w celu zwiększenia wytrzymałości mechanicznej). Węgiel przy ogrzewaniu na powietrzu utlenia się w temp. 500°C, a grafit — w temp. 700°C, wobec czego przewody oporowe wykonane z tych materiałów powinny w wyższych temperaturach pracować w atmosferze ochronnej. Praktycznie za dopuszczalną temperaturę roboczą w odpowiedniej atmosferze dla węgla uważa się temp. 2000°C, a dla grafitu temp. 2500°. Oporność właściwa węgla w miarę wzrostu temperatury zmniejsza się od 60Ω mm²/m w temp. 0°C do 40Ω mm²/m w temp. 2000°C. Oporność właściwa grafitu również się zmniejsza zależnie od wzrostu temperatury i w granicach temperatur od 0 do 1800°C wynosi średnio 9Ω mm²/m.

Kryptol jest to materiał sypki uzyskany przez odpowiednie rozkruszenie uszkodzonych przewodów węglowych i grafitowych. Ziarna kryptolu pozbawione pyłu sortuje się według wielkości. Zwykle w piecach kryptolowych używa się ziarn o wymiarach od 0,5 do 5 mm. Jego oporność właściwa wynosi od kilku tysięcy (w temp. 20°C) do kilkuset tysięcy $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ (w temp. 1500°C).

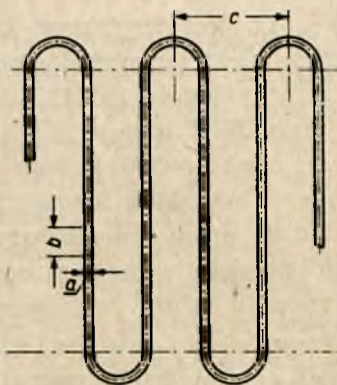
Z omówionych poprzednio materiałów oporowych wykonywane są elementy grzejne otwarte i kryte. Najprostszą budowę mają elementy otwarte wykonywane z gołych przewodów, przy czym ich izolację elektryczną stanowią konstrukcje wsporcze (haki, pręty), na które są nawinięte, lub rowki. Druty grzejne do

elementów otwartych związa się w spirale (rys. 119), przy czym zwykle skok spirali c jest większy od 2 do 3 razy, a jej średnica D — od 4 do 8 razy od średnicy drutu d , z którego jest wykonana spirala.

Taśmy grzejne często wygina się w pętle tworzące węzownice o kształcie przedstawionym na rys. 120, przy czym szerokość taśmy b bywa od 5 do 20 (średnio 10) razy większa od jej grubości a . Aby uniknąć



Rys. 119. Spirala grzejna

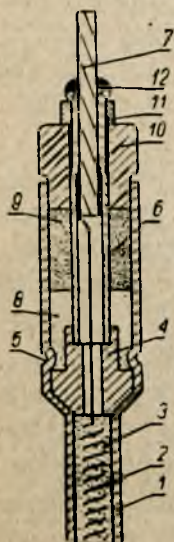


Rys. 120. Taśmowa węzownica grzejna

nadmiernego promieniowania na siebie równoległych części węzownicy, skok jej c powinien być przeszło dwukrotnie większy od szerokości taśmy b .

W przeciwieństwie do otwartych elementów grzejnych o przewodach niez izolowanych w elementach krytych przewód grzejny jest izolowany na całej długości. Konstrukcja jednego z takich elementów grzejnych, a mianowicie elementu rurkowego pokazana jest na rys. 121.

W metalowej rurce ochronnej 1 znajduje się spirala grzejna 2 otoczona masą izolacyjną 3. W rozszerzonym końcu rurki znajduje się izolator prze-



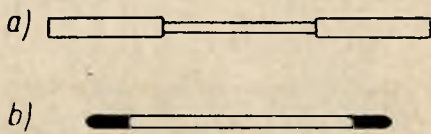
Rys. 121. Rurkowy element grzejny: 1 — rurka ochronna, 2 — spirala grzejna, 3 — materiał izolacyjny, 4 — izolator przepustowy, 5 — wgłębienie unieruchamiające izolator przepustowy, 6 — tulejka metalowa, 7 — giętki przewód połączeniowy, 8 — warstwa proszku żaroodpornego, 9 — warstwa proszku wypełniającego, 10 — końcowy izolator przepustowy, 11 — pierścień unieruchamiający końcowy izolator przepustowy, 12 — oblutowanie mosiądzem

ustawy 4, przez który wyprowadzony jest koniec przewodu grzejnego. W izolator ten, unieruchomiony trzema wgniczeniami 5, wpuszczona jest rurka zaciskowa 6 służąca do zaciśnięcia linki 7. Przestrzeń między rurką zaciskową 6, a rurką ochronną 1 wypełniona jest warstwą proszku żaroodpornego 8 i warstwą proszku wypełniającego 9. Rurka jest zakończona drugim izolatorkiem przepustowym 10 unieruchomionym pierścieniem metalowym 11 zaciśniętym na lince. Miejsce 12 jest oblutowane mosiądzem.

Rurki ochronne wykonuje się z mosiądzu lub ze stali poniklowanej bądź pokrytej warstwą glinu. Dopuszczalna temperatura powierzchni rurki zależy od rodzaju materiału, z którego jest wykonana i dla rurek mosiężnych wynosi 400°C , stalowych poniklowanych 750°C , stalowych pokrytych glinem dochodzi do 1000°C .

Rurkowe elementy grzejne są dwu- lub nawet trzykrotnie trwalsze od spirali otwartych, które pracują na powietrzu, gdyż pracując bez dostępu powietrza nie ulegają one utlenieniu, a poza tym rurka ochronna zabezpiecza je od uszkodzeń mechanicznych.

Elementy grzejne z sylicy wykonywane są w postaci prętów. Aby obniżyć temperaturę panującą na ich końcach, zmniejsza się oporność przez pogrubienie końców (rys. 122a) albo przez metalizację (np. przez posrebrzenie) końców pręta (rys. 122b).



Rys. 122. Elementy prętowe sylicytowe: a) o końcach pogrubionych, b) o styku czołowym

47. Elektryczne piece oporowe

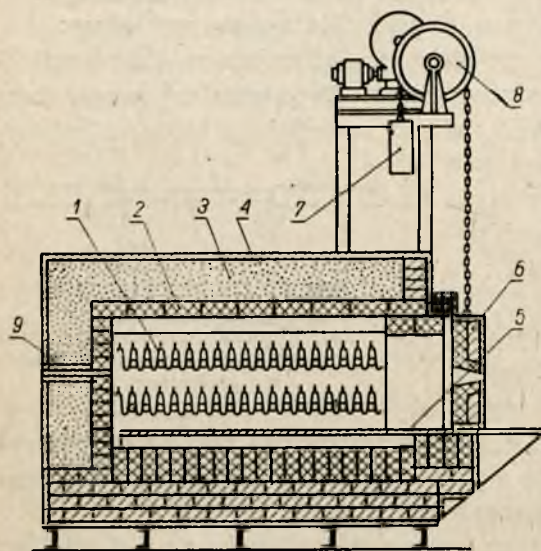
Oporowe grzejniki elektryczne są bardzo rozpowszechnione zarówno w gospodarstwach domowych (kuchenki elektryczne, imbryki, żelazka, piecyki do ogrzewania mieszkań itp.), w laboratoriach (grzałki nurnikowe i inne, cieplarki, czyli termostaty, suszarki różnego rodzaju, laboratoryjne piece elektryczne itp.), jak i w zakładach przemysłowych (piece, suszarnie i inne urządzenia, np. lutownice).

Ze względu na program ograniczymy się tylko do rozpatrzenia grzejników stosowanych w zakładach przemysłowych. Są to przede wszystkim piece, suszarki i cieplarki (termostaty).

Piece oporowe dzielimy na niskotemperaturowe o temperaturze roboczej do 500°C, średniotemperaturowe, w których temperatura robocza wynosi od 500 do 1150°C i wysokotemperaturowe o temperaturze roboczej przekraczającej 1150°C. Zakres temperatur, w których można stosować powyższe piece, jest uzależniony od materiałów, z jakich sporządzone są ich elementy grzejne, a poza tym — od rodzaju i sposobu wykonania izolacji cieplnej.

Oporowe piece elektryczne ze względu na ich budowę dzielimy na komorowe, tunelowe, wieżowe, bębnowe i inne. Piece komorowe należą do najbardziej rozpowszechnionych pieców oporowych.

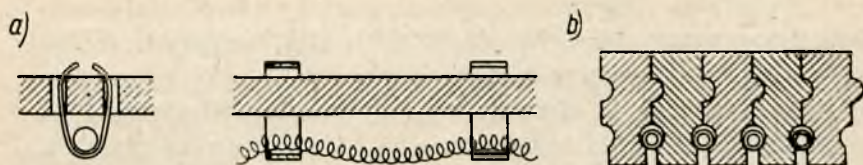
Piec komorowy przedstawiony na rys. 123 ma komorę wykonaną z cegły ogniotrwałej. Dla zmniejszenia strat ciepłych pomiędzy cegłą a zewnętrznym płaszczem stalowym znajduje się materiał izolacyjny. Ładowanie wsadu do pieca odbywa się



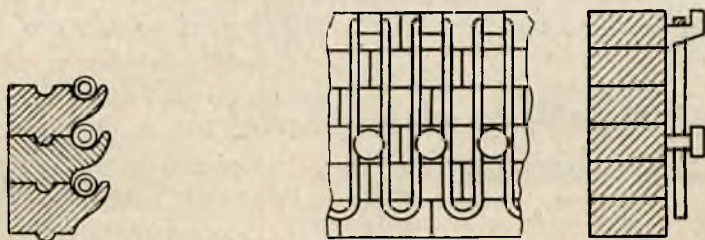
Rys. 123. Piec komorowy: 1 — elementy grzejne, 2 — omurowanie ogniotrwałe, 3 — izolacja cieplna, 4 — obudowa blaszana, 5 — płyta żaroodporna, 6 — drzwiczki, 7 — przeciwwaga drzwiczek, 8 — napęd drzwiczek, 9 — otwór do wprowadzania termoelementu (termopary)

za pomocą specjalnego mechanizmu lub ręcznie (w piecach mniejszych) przez otwór znajdujący się w przedniej ścianie pieca. Otwór zamyka się drzwiczkami podnoszonymi na łańcuchach; zrównoważenie ciężaru drzwiczek uzyskuje się za pomocą przeciwwagi.

Elementy grzejne w piecach komorowych są umieszczane najczęściej w sklepieniach i ścianach bocznych, a w razie potrzeby — na spodzie (na trzonie) pieca; elementy grzejne na trzonie pieca są przykryte płytą żaroodporną.

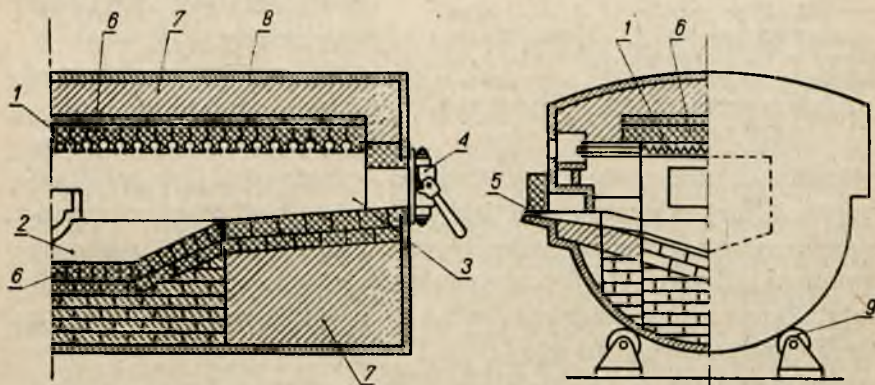


Rys. 124. Umocnienie spiralnych elementów grzejnych na sklepieniu komory: a) na podwieszaniach, b) w żłobkach



Rys. 125. Umocnienie spiralnych elementów grzejnych na bocznych ścianach komory

Rys. 126. Umocnienie węzownic taśmowych na bocznych ścianach komory



Rys. 127. Piec wanny: 1 — elementy grzejne, 2 — wanna, 3 — przedkomorze, 4 — drzwiczki załadowcze, 5 — lej spustowy, 6 — cegła ogniotrwała, 7 — izolacja cieplna, 8 — obudowa, 9 — rolki

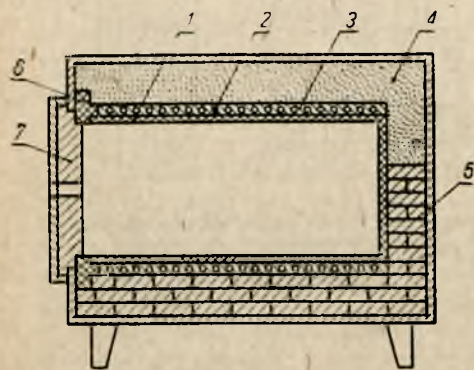
Piece posiadające elementy grzejne z chromonikieliny bezżelazowej i płyty żaroodporne na spodzie komory umożliwiają osiągnięcie temperatur roboczych do 1000°C. Dla temperatur roboczych do 1400°C stosowane są materiały syilitowe.

Sposoby umocowania elementów grzejnych na sklepieniu i na ścianach bocznych pieca komorowego przedstawiono na rys. 124, 125 i 126.

Piec wannowy uwidoczniiony na rys. 127 ma komorę w kształcie płytkiej wanny. Jest on przeznaczony do topienia glinu. Elementy grzejne tego pieca znajdują się w żłobkach sklepienia dość wysoko wzniesionego (jak pokazano na rys. 124b), co zabezpiecza je przed odpryskami ciekłego metalu. Piece wannowe

buduje się o pojemności od 0,3 do 7 tonn i mocy od 100 do 600 kW. Przy topieniu glinu zużywa się w nich około 550 kWh na 1 tonnę metalu. Piece załadowuje się przez otwór w ścianie czołowej, zamykany drzwiczkami, a opróżnia się przez lej spustowy, przy czym piec w czasie opróżniania jest stopniowo przechylany.

Na rys. 128 przedstawiono mały piec mufłowy. Na muflę tego pieca,



Rys. 128. Piec mufłowy: 1 — mufla, 2 — element grzejny, 3 — zaprawa szamotowa, 4 — proszek szamotowy, 5 — obudowa metalowa, 6 — czołowy pierścień szamotowy, 7 — drzwiczki z warstwą izolacji cieplnej

wykonaną z materiału ogniotrwałego, nawinięty jest przewód grzejny w postaci drutu (może być również taśma). W celu lepszego umocowania przewód pokryty jest cienką warstwą zaprawy szamotowej. Ściany pieca (u dołu) zabezpieczone są przed dużymi stratami ciepłymi obmurowaniem z cegły ogniotrwałej i warstwą proszku szamotowego (u góry).

Mufla oddzielająca elementy grzejne od wnętrza komory piecowej zabezpiecza je od uszkodzeń mechanicznych oraz od wpływów substancji chemicznych, które się znajdują w piecu, ale zmniejsza równocześnie panującą w nim temperaturę. Wskutek tego elemen-

ty grzejne powinny mieć temperaturę o 150 do 200°C wyższą od temperatury roboczej pieca, która przy odpowiednio dobranych elementach może wynosić od 800 do 2000°C.

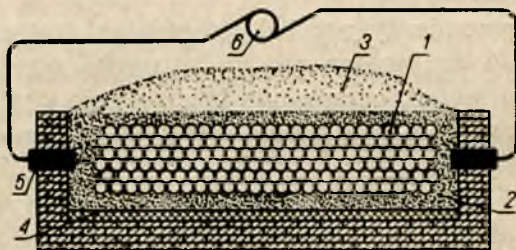
Omawiane powyżej oporowe piece elektryczne należą do grupy pieców o ogrzewaniu pośrednim. Piece do bezpośredniego ogrzewania oporowego stosowane są rzadziej, głównie wówczas gdy wymagają tego procesy technologiczne.

Dla przykładu rozpatrzmy piec grafityzacyjny stosowany do wyrobu elektrod grafitowych, przedstawiony schematycznie na rys. 129.

Surowe elektrody formuje się z koksu, otrzymywanego jako osad na retortach do destylacji ropy naftowej, smoły jako lepiszcza oraz katalizatorów (tlenek żelaza lub dwutlenek krzemu) przyspieszających proces. Następnie poddaje się je działaniu prądu elektrycznego w specjalnym piecu (rys. 129), wskutek czego węgiel przechodzi w grafit.

Surowe elektrody przeznaczone do grafityzacji układa się w poprzek pieca; między nimi a ścianami oraz dnem pieca umieszcza się warstwę koksu. Z wierzchu elektrody przysypuje się również koksem oraz następnie warstwą mieszaniny koksu z piaskiem. Prąd elektryczny doprowadza się za pośrednictwem elektrod zasilających, umieszczonych w czołowych ścianach pieca. Pod wpływem prądu płynącego przez surowe elektrody ich temperatura podnosi się. Proces grafityzacji rozpoczyna się w temperaturze od 2200 do 2500°C. W miarę rozwoju grafityzacji oporność wsadu początkowo zmniejsza się szybko, a następnie — coraz wolniej. Gdy oporność jego ustali się, proces grafityzacji jest ukończony.

Tego rodzaju piece są również stosowane do wyrobu karborundu.



Rys. 129. Piec grafityzacyjny: 1 — wsad, 2 — koks, 3 — mieszanina koksu z piaskiem, 4 — warstwa ogniotrwała, 5 — elektrody zasilające, 6 — źródło prądu

48. Piece łukowe

Ogrzewanie łukowe charakteryzuje się bardzo nierównomiernym rozkładem temperatur, gdyż temperatura łuku elektrycznego wskutek skupienia dużej mocy w niewielkiej przestrzeni jest bardzo wysoka (dochodzi do 8000°C).

Z tego powodu ogrzewanie łukowe nie nadaje się w tych przypadkach, gdy w komorze grzejnej lub w piecu wymagany jest równomierny rozkład temperatur. Natomiast gdy nierównomierność temperatur nie ma istotnego znaczenia, np. przy wytapianiu metali, ogrzewanie łukowe daje wyniki zadowalające.

Dziedzina, w której piece łukowe można często spotkać, jest metalurgia.

Istnieją trzy rodzaje pieców łukowych, a mianowicie piece o ogrzewaniu pośrednim, bezpośrednim i piece oporowo-łukowe.

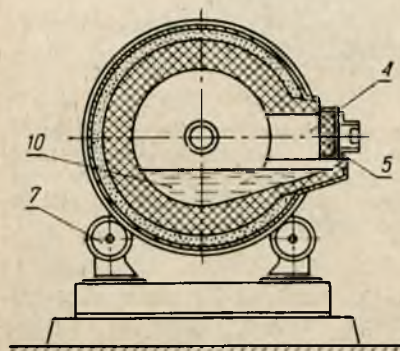
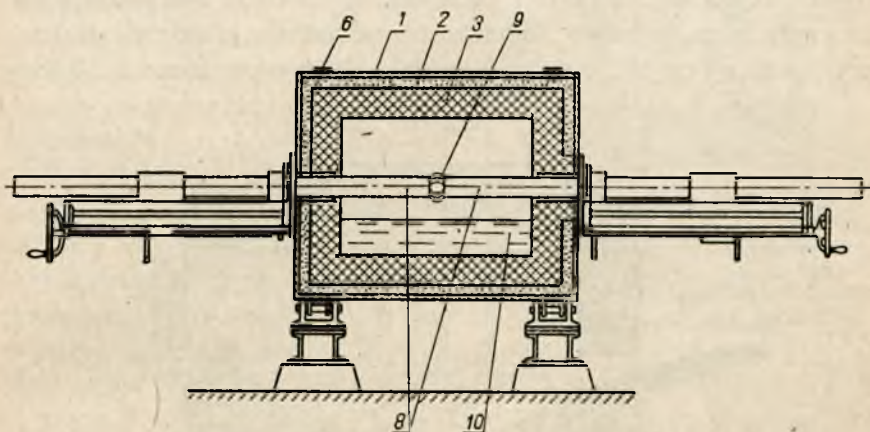
W piecach łukowych o ogrzewaniu pośrednim łuk płonie ponad wsadem pomiędzy poziomymi lub prawie poziomymi elektrodami. Ciepło przenosi się do wsadu przez bezpośrednie promieniowanie elektrod lub przez promieniowanie odbite od sklepienia pieca.

Piece łukowe o ogrzewaniu pośrednim mają kształt bębna (rys. 130) wahającego się na rolkach, dzięki czemu uzyskuje się chłodzenie ścian komory przez omywanie ich stopionym wsadem. Piece tego typu są używane do topienia metali w temperaturze do 1400°C , a więc metali nieżelaznych (miedzi, mosiądzu, brązu itp.). Buduje się je zwykle na prąd jednofazowy o mocy nie wyższej niż 500 kVA.

W czołowych ścianach pieca przedstawionego na rys. 130 znajdują się przepusty, przez które przechodzą elektrody grafitowe. Można je wsuwać do pieca i z niego wysuwać za pomocą specjalnych mechanizmów. Zbliżenie elektrod do siebie jest potrzebne przy wzniesieniu łuku, oddalenie zaś — przy jego przerywaniu. Ponadto elektrody w miarę ich spalania się trzeba zbliżać do siebie w celu utrzymania między nimi stałej odległości.

W piecach łukowych o ogrzewaniu bezpośrednim łuk płonie między elektrodami a wsadem, dzięki czemu znaczna część energii cieplnej przenosi się do wsadu wskutek bezpośredniego jego promieniowania, co przyspiesza ogrzewanie.

Piece te buduje się jako piece trójfazowe różnej wielkości. Małe piece mają pojemność 0,5 tonny i moc 500 kVA, a duże piece — pojemność 30 tonn i moc 10 000 kVA. Używane są do wytapiania metali trudno topliwych, głównie różnych gatunków stali stopowych. Przeprowadza się w nich również rafinację (oczyszczanie) stali przetopionej uprzednio w piecu Martina.

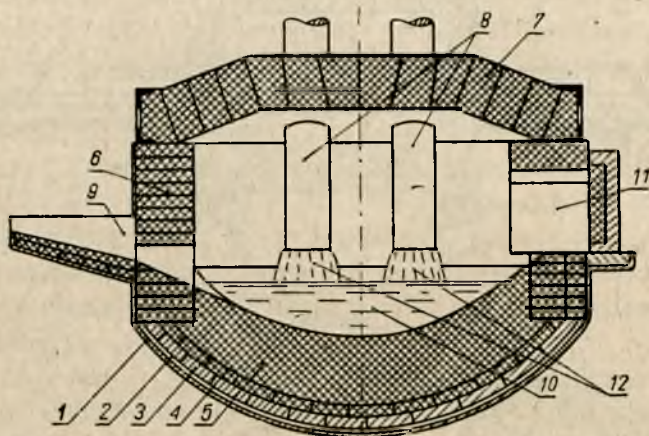


Rys. 130. Piec łukowy bębnowy o ogrzewaniu pośrednim: 1 — obudowa metalowa, 2 — izolacja cieplna, 3 — wyprawa ogniotrwała, 4 — lej spustowy, 5 — drzwiczki, 6 — obręcze, 7 — rolki, 8 — elektrody, 9 — łuk, 10 — wsad

Piec łukowy o ogrzewaniu bezpośrednim i wyprawie zasadowej przedstawiono na rys. 131. Trzon tego pieca jest zbudowany w kształcie miski, w której znajduje się metal roztopiony w czasie pracy pieca. Misa wykonana z masy dolomitowej przy staranym wykonaniu wytrzymuje od 1000 do 15000 wytopów. Ściany boczne z cegieł magnezytowych wytrzymują zwykle 50 wyto-

pów, a tylko w wypadkach wyjątkowych — więcej. Sklepienie narażone na działanie wysokich temperatur (do 1700°C) jest wykonane z cegieł dynasowych. Trwałość sklepienia w zależności od rodzaju wytapianej stali wynosi od 10 do 150 wytopów.

Elektrody są ustawiane w piecu pionowo w taki sposób, aby można było je wsuwać do pieca i z niego wysuwać. W nowoczesnych piecach opuszczanie i podnoszenie elektrod odbywa się samoczynnie za pomocą regulatorów. Średnica elektrod grafitowych wynosi od 100 mm (w piecach małych o pojemności 0,5 ton-



Rys. 131. Piec łukowy wannowy o ogrzewaniu bezpośrednim: 1 — obudowa stalowa, 2 — warstwa termoizolacyjna, 3 — szamota, 4 — cegły magnezytowe, 5 — masa magnezytowa, 6 — ściany ogniotrwałe z cegły magnezytowej, 7 — sklepienie z cegły dynasowej, 8 — elektrody, 9 — lej spustowy, 10 — wsad, 11 — okno wsadowe, 12 — łuk

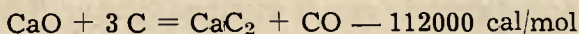
ny) do 450 mm (w piecach dużych o pojemności 30 tonn). Średnica elektrod węglowych przeważnie jest o 50% większa. Straty energii w piecach łukowych są dość duże i z tego powodu sprawność ich wynosi tylko od 0,5 do 0,6.

W piecach oporowo-łukowych łuk płonie pomiędzy elektrodami, których końce zanurzone są we wsadzie o dużej oporności właściwej, wskutek czego ogrzewanie wsadu zachodzi nie tylko pod wpływem łuku elektrycznego, ale również przez zwykłe ogrzewanie oporowe prądem przepływającym między elektrodami poprzez wsad. Łuk w tym wypadku, otoczony ze wszyst-

kich stron kawałkami wsadu, nie może promieniować na ścianki i sklepienie pieca, co daje możliwość osiągnięcia w piecu bardzo wysokich temperatur.

Piece oporowo-łukowe są stosowane do otrzymywania w wysokich temperaturach krzemu, manganu, chromu oraz innych metali z ich tlenków, do otrzymywania stopów tych metali z żelazem, do wytwarzania karbidu (CaC_2), korundu, magnezytu topionego itp. materiałów.

Na rys. 132 przedstawiono schematycznie piec oporowo-łukowy do karbidu. Karbid (węgiel wapniowy) wytwarzany jest z tlenku wapniowego (CaO) i węgla w temperaturze przekraczającej 2000°C , przy czym reakcja przebiega wg równania

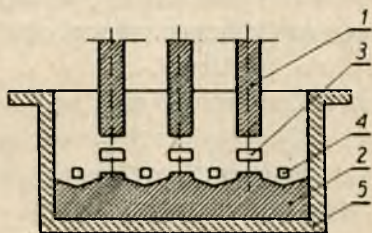


Ponieważ do wyrobu karbidu używa się surowców (wapna palonego i koksu) posiadających zanieczyszczenia, więc w piecu powstają produkty uboczne, między innymi z tlenków żelaza i krzemu znajdujących się w koksie i wapnie powstaje żelazokrzem.

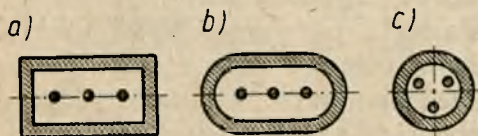
Piec przedstawiony schematycznie na rys. 132 jest skrzynią wyłożoną cegłą szamotową. Dno pieca wykonane jest z bloku węgla retortowego, naprzeciw

elektrod znajdują się występy, które wpływają dodatnio na rozkład temperatur w czasie pracy pieca, co sprzyja oddzielaniu żelazokrzemu. Czasami ściany pieca również wykłada się węglem.

Piece karbidowe, podobnie jak większość pieców oporowo-łukowych buduje się bez sklepień — tak że górna ich część jest otwarta. Przez nią sypie się do pieca surowce (wapno i koks) i ucho-



Rys. 132. Piec do karbidu: 1 — elektrody, 2 — blok z węgla retortowego, z przeciwelektrodami, 3 — otwory spustowe do karbidu, 4 — otwory spustowe do żelazokrzemu, 5 — cegła szamotowa



Rys. 133. Schematy pieców karbidowych trójfazowych: a) i b) z płaskim układem elektrod, c) z trójkątnym układem elektrod

dzą z niego gazy, przy czym tlenek węgla będący przeważnie głównym ich składnikiem spala się bezpośrednio nad ładunkiem.

Piece karbidowe buduje się jako piece trójfazowe o mocy do 30000kVA (małe piece jednofazowe wychodzą z użycia). Średnica elektrod w piecach trójfazowych dochodzi do 1100 mm. Napięcie prądu zasilającego wynosi od 100 do 200 V, a obciążenie elektrod — od 7 do 10 A/cm².

Rozmieszczenie elektrod w piecu zależy od jego kształtu (rys. 133). W piecach prostokątnych i owalnych są one ustawione w jednakowych odstępach na osi pieca, a w piecach okrągłych tworzą trójkąt równoboczny.

49. Piece indukcyjne, elektrodowe urządzenia grzejne, ogrzewanie pojemnościowe i ogrzewanie promiennikowe

Urządzenia do ogrzewania indukcyjnego można podzielić na dwie grupy. Jedną grupę, a mianowicie piece indukcyjne stanowią urządzenia do topienia metali, drugą zaś grupę czyli nagrzewnice indukcyjne — urządzenia do ogrzewania metali bez zmiany ich stanu skupienia (np. piece do kucia, hartowania, lutowania itd.).

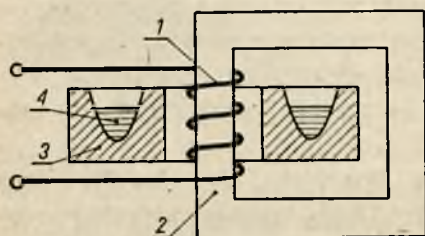
Piece indukcyjne zawierające rdzeń stalowy, czyli tzw. piece rdzeniowe zasilane prądem zmiennym o częstotliwości sieciowej (50 Hz). Do zasilania pieców indukcyjnych bezrdzeniowych potrzebny jest prąd zmienny o wielkiej częstotliwości.

Piec indukcyjny rdzeniowy, przedstawiony schematycznie na rys. 134, przypomina transformator, którego uzwojenie wtórne składa się tylko z jednego zwoju. Wzbudnik 1 odgrywający rolę uzwojenia pierwotnego, zasilany prądem zmiennym, wytwarza zmienny strumień magnetyczny przebiegający przez rdzeń 2 wykonany z miękkiej stali. Jako uzwojenie wtórne występuje topiony metal (wsad) znajdujący się w pierścieniowym korycie 3 wykonanym z ogniotrwałego materiału i stanowiącym komorę pieca. Pod wpływem zmiennego strumienia magnetycznego w topionym metalu powstają prądy indukowane, które zmieniając się w ciepło powodują jego ogrzewanie i topienie.

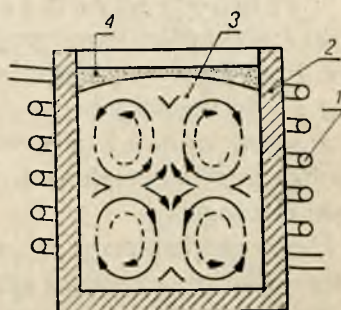
Zasada działania pieca indukcyjnego bezrdzeniowego przedstawiona jest na rys. 135. Uzwojenie pierwotne tego pieca, czyli wzbudnik 1 otacza tygiel 2 z materiału ogniotrwałego.

W tyglu znajduje się ładunek topionego metalu. Strumień magnetyczny wywołany przez wzbudnik wobec braku rdzenia jest stosunkowo mały. Aby to wyrównać, bezrdzeniowe piece indukcyjne należy zasilać prądem zmiennym o dużej częstotliwości (od 500 do 3000 Hz). Pod wpływem zmiennego strumienia magnetycznego w ładunku tygla powstają prądy indukowane, które ogrzewają i topią wsad.

Pojemność pieców indukcyjnych bezrdzeniowych na ogół wynosi od 50 do 4000 kg, a moc — od 60 do 1200 kW. Częstotliwość prądu w mniejszych piecach tego typu waha się od 2000 do 3000 Hz, a w piecach większych — od 500 do 1000 Hz. Wytop stali trwa od 0,5 godziny w małych piecach do 2 godzin w piecach dużych. Sprawność tych pieców wynosi około 0,55.



Rys. 134. Schemat rdzeniowego pieca indukcyjnego: 1 — wzbudnik, 2 — rdzeń, 3 — koryto, 4 — wsad



Rys. 135. Schemat bezrdzeniowego pieca indukcyjnego: 1 — wzbudnik, 2 — tygiel, 3 — wsad, 4 — żużel (strzałki oznaczają rozkład prądów wirowych)

Elektrodowe urządzenia grzejne można podzielić na dwie grupy. Do pierwszej z nich należą kotły i wanny elektrodowe, w których zjawiska elektrolizy nie są pożądane. Zasila się je prądem zmiennym o częstotliwości sieciowej. Do drugiej grupy należą termoelektrolizery i nagrzewnice termoelektrolityczne, w których zjawiska elektrolizy są konieczne, odgrywają bowiem istotną rolę w połączeniu z procesem grzejnym.

Kotły elektrodowe parowe i wodne mają kształt zbiorników zaopatrzonych w elektrody. Woda ogrzewa się dzięki przepływowi przez nią prądu elektrycznego między elektrodami. Za-

sila się je wyłącznie prądem zmiennym (trójfazowym), gdyż prąd stały wywołuje w wodzie elektrolizę.

Wanny elektrodowe, zwane też wannami solnymi, są to grzejniki mające kształt zbiornika zaopatrzonego w elektrody zanurzone w kąpeli z roztworu soli, która ogrzewa się pod wpływem prądu płynącego przez nią pomiędzy elektrodami. Ogrzewanie wsadu uzyskuje się przez zanurzenie go w ogrzanej kąpeli. W zależności od wymaganej temperatury dobiera się sole o odpowiedniej temperaturze topnienia.

Wanny elektrodowe nadają się do hartowania, nawęglania (cementacji) i odpuszczania przedmiotów stalowych. Stosuje się je głównie do hartowania narzędzi, jak frezy, rozwiertaki, gwintowniki itp.

Termoelektrolizery są to urządzenia, w których zjawiska elektrolizy występują jednocześnie ze zjawiskami cieplnymi. Prąd płynący przez stopiony elektrolit ogrzewa go przyczyniając się do utrzymywania elektrolitu w stanie ciekłym, co jest koniecznym warunkiem występowania elektrolizy. Elektroliza wywołuje rozkład stopionych związków metali i wydzielanie się metalu czystego.

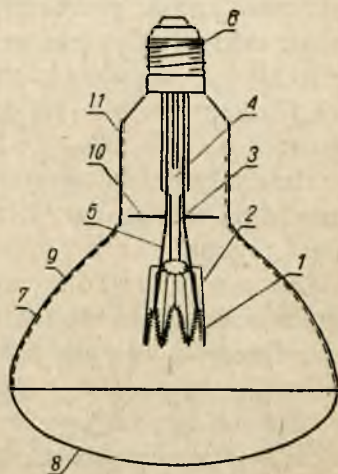
Termoelektrolizery są szeroko stosowane do otrzymywania glinu. Elektroliza tlenku glinowego (Al_2O_3) rozpuszczonego w roztopionym kriolicie zachodzi w specjalnie do tego celu dostosowanych elektrolizerach.

Ogrzewanie pojemnościowe (dielektryczne) zaczęto stosować niedawno. Jego zaletą jest to, że ciepło w ogrzewanym materiale wytwarza się jednocześnie w całej jego masie, przy czym ze względu na straty ciepłe temperatura w środku ciała jest zawsze nieco wyższa niż na jego powierzchniach zewnętrznych.

Ogrzewanie pojemnościowe stosowane jest w przemyśle spożywczym do pasteryzacji mleka, piwa, w przemyśle drzewnym — do suszenia drewna i przy wyrobie dykty, a w przemyśle chemicznym — do wyrobu niektórych mas plastycznych, np. bakelitu i polopasu.

Ogrzewanie promiennikowe w przeciwieństwie do ogrzewania pojemnościowego powoduje ogrzewanie tylko warstwy zewnętrznej, gdyż przenikliwość promieni w głąb większości ciał nie przekracza kilku mm.

Do ogrzewania promiennikowego stosowane są źródła promieniowania, nazywane promiennikami. Na rys. 136 przedstawiono promiennik elektryczny. Zasadniczą częścią tego promiennika jest żarnik 1 mający kształt spirali wykonanej z drucika wolframo-
wego. Wysyła on promieniowanie odpowiednie do temperatury, do jakiej sam ogrzewa się pod wpływem prądu elektrycznego. Jest on elementem, w którym następuje przemiana energii elektrycznej w energię cieplną. Żarnik wspiera się na podpórkach molibdenowych 2 wtopionych w szklany słupek 3, który jest przedłużeniem nóżki 4. Do doprowadzania prądu służą dwie elektrody 5, z których jedna łączy się z łuską gwintowanego trzonka 6, druga zaś — z płytką kontaktową. Całość jest umieszczona wewnątrz szklanej bańki 7 wypełnionej azotem. Czoło bańki 8 jest przezroczyste lub lekko matowe. Wewnętrzna powierzchnia górnej parabolicznej części bańki pokryta jest zwierciadlaną warstewką 9 wykonaną ze srebra lub glinu. Stanowi ona reflektor, którego zadaniem jest kierowanie promieni na ciało ogrzewane. Krążek 10 zabezpiecza od promieniowania szyjkę 11 promiennika. Z wyjątkiem charakterystycznego kształtu bańki i obecności reflektora omawiany promiennik pod względem budowy nie różni się od zwykłej żarówki.



Rys. 136. Promiennik elektryczny: 1 — włókno żarowe, 2 — podpórka, 3 — słupek, 4 — nóżka, 5 — elektrody, 6 — cokół, 7 — bańka, 8 — czoło bańki, 9 — odbiśnik, 10 — krążek mikiowy izolujący, 11 — szyjka bańki

Normalnie wyrabiane są promienniki o mocy 250 i 500 W na prąd o napięciu 220 V. Trwałość ich wynosi zwykle 3000 do 5000 godzin.

Z wyjątkiem niewielu wypadków, w których chodzi o ogrzewanie do niezbyt wysokiej temperatury, ogrzewanie promiennikowe jest stosowane tylko w suszarkach. Suszarki te będą omawiane w dalszych tomach podręcznika.

MAGAZYNOWANIE MATERIAŁÓW

50. Magazynowanie otwarte i w budynkach

Na teren zakładu przemysłowego są dostarczane różnego rodzaju materiały i przedmioty, jak paliwo, surowce, półfabrykaty, środki opakunkowe, części zamienne itp. Materiały te nie od razu po przywiezieniu są zużywane. W większości przypadków przez dłuższy lub krótszy okres czasu trzeba je przechowywać w składach i magazynach, gdzie przechowuje się również produkty wytwarzane przez zakład, gdyż nie są one natychmiast wysyłane do odbiorców. Z tych powodów każdy zakład przemysłowy zależnie od swoich potrzeb powinien mieć odpowiednio urządzone składy i magazyny.

Materiały przechowywane w magazynach i składach można podzielić na trzy grupy: 1) materiały sypkie, 2) drobnica, 3) materiały płynne.

Do materiałów sypkich ze względu na sposób magazynowania zalicza się takie, które można przewozić i przechowywać luzem w zwałach lub stosach, jak np. węgiel, ruda, kamień wapienny, glina, piasek itp.

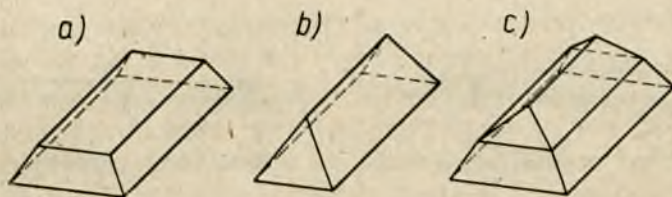
Cechami charakterystycznymi materiałów sypkich są średnie wymiary poszczególnych ich kawałków lub ziarn oraz ich ciężar objętościowy lub usypowy, to jest ciężar 1 m^3 materiału swobodnie nasypanego. Jest on mniejszy od ciężaru właściwego, który jest ciężarem przypadającym na jednostkę objętości zwartej substancji. Ciężar objętościowy natomiast odnosi się do materiału usypanego luźno, tzn. że pomiędzy poszczególnymi ziarnkami tego materiału istnieje wolna przestrzeń. Na przykład ciężar właściwy kawałka węgla kamiennego wynosi około $1,5 \text{ t/m}^3$, a ciężar objętościowy węgla — tylko $0,85 \text{ t/m}^3$.

Przy usypywaniu zwałów i przyzm materiały sypkie tworzą zbocza o kątach nachylenia do poziomu, zależnych od rodzaju materiału. Kąt ten, zwany naturalnym kątem zsypania, jest różny dla rozmaitych materiałów.

Materiały sypkie w składach są układane w zwały prawidłowego kształtu, których przekroje poprzeczne i podłużne najczęściej

są równobocznymi trapezami o bokach pochyłonych średnio pod kątem 45° do poziomu (rys. 137a). Rzadziej mają one przekroje poprzeczne w kształcie trójkąta (rys. 137b) lub trójkąta na trapezie (rys. 137c).

Drobnicą nazywamy materiał, który przechowuje się i przewozi w postaci poszczególnych sztuk bez opakowania (płyty, arkusze, pręty, belki, cegły itp.) lub w opakowaniu (paczki, skrzynie, beczki, worki itp.). Do materiałów drobnicowych należą materiały wymagające opakowania, ładunki ciężkie, w których skład wchodzi pojedyncze sztuki o ciężarze ponad 250 kG i materiały tzw. długie (rury, deski, belki, walcówka).



Rys. 137. Typy zwalów

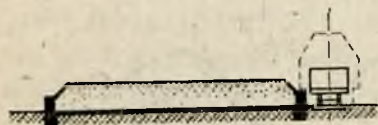
Materiały płynne są to różnego rodzaju ciecze, jak paliwa ciekłe, kwas siarkowy i inne chemikalia, oraz gazy sprężone w butlach, np. tlen, dwutlenek węgla itp.

Ze względu na charakter magazynów dzielimy je na składy otwarte, magazyny półotwarte i magazyny zamknięte.

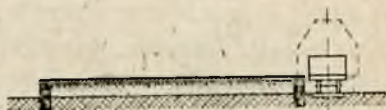
Place otwarte służą do przechowywania dużych ilości materiałów nie podlegających działaniu wpływów atmosferycznych, np. materiałów sypkich (koks, ruda) i pojedynczych sztuk o dużym ciężarze lub wymiarach (belki, stal profilowa, bloki stalowe itp.). Place te powinny być wyrównane, ubite, wybrukowane, pokryte asfaltem lub betonem w taki sposób, aby miały spadek od środka do brzegów dla ułatwienia ściekania wody deszczowej.

Place mogą być wyposażone, to jest mogą mieć rozmaite urządzenia i przyrządy umożliwiające wykonywanie oraz sprawniejsze zorganizowanie prac związanych z magazynowaniem, lub niewyposażone. Do najprymitywniejszego wyposażenia składów należą urządzenia do układania materiałów i zorganizowanego zwartego ich przechowywania, jak progi, podstawki, ściany oporowe, zasieki, zagrody itp.

Place składowe o nawierzchni z desek lub okrągłaków służą do układania rur, drobnicy w opakowaniu lub bardzo ciężkich pojedynczych przedmiotów. Brukowane lub po prostu ubite place ze wszystkich stron ogrodzone ścianami o wysokości około 0,5 m (rys. 138) są przeznaczone do przechowywania węgla, koksu i innych sypkich materiałów. Ściany podpierające o wysokości około 1,2 m wykonane z drewnianych lub — wyjątkowo — metalowych słupów wkopanych w ziemię, obitych od wewnętrznej strony deskami, ułatwiają przyjmowanie materiałów sypkich w czasie wyładowywania i zmniejszają straty. Zasieki, czyli przestrzenie



Rys. 138. Plac ogrodzony



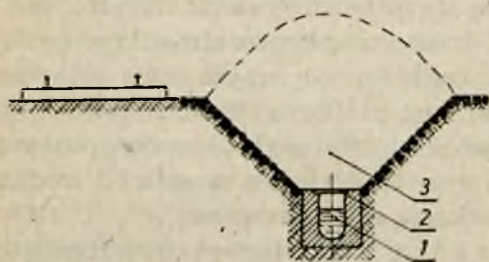
Rys. 139. Rampa kolejowa

ogrodzone z trzech stron, a czasami z czterech stron do wysokości około 2 m służą do przechowywania materiałów sypkich, których poszczególne gatunki należy od siebie oddzielić. Zasieki buduje się z desek, belek lub cegły jako stałe lub rozbieralne.

Rampy kolejowe (rys. 139) o nawierzchni drewnianej, asfaltowej lub betonowej ułatwiają ładowanie i wyładowywanie wagonów kolejowych i wozów ciężarowych. Szerokość ich wynosi zwykle od 4 do 8 m.

Przechowywanie materiałów w rowach stosowane jest w tych przypadkach, gdy przesyłanie ich ze składu do budynku fabrycznego odbywa się za pomocą spławiaków, jak np. buraki w cukrowniach

lub ziemniaki w krochmalniach i gorzelniach. Na rys. 140 przedstawiono przekrój poprzeczny rowu składowego ze spławiakiem spotykanego w cukrowniach.



Rys. 140. Rów ze spławiakiem: 1 — rynna, 2 — pokrycie, 3 — rów do składania buraków

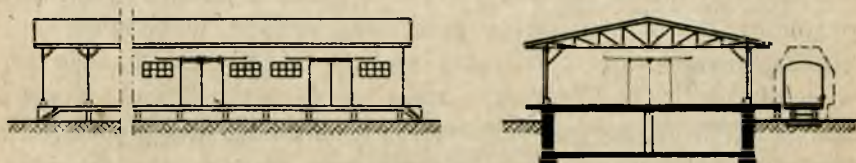
lub ziemniaki w krochmalniach i gorzelniach. Na rys. 140 przedstawiono przekrój poprzeczny rowu składowego ze spławiakiem spotykanego w cukrowniach.

Magazyny półotwarte i zamknięte. Magazyny półotwarte są to szopy bez ścian, których dach opiera się na słupach drewnianych, stalowych lub żelbetowych (rys. 141). Niekiedy szopy te mają z dwóch lub z trzech stron ściany dla lepszego zabezpieczenia od deszczu i wiatru.



Rys. 141. Szopy

Magazyny zamknięte stanowią najpoważniejszy typ pomieszczeń składowych. Są to budynki parterowe (rys. 142) lub piętrowe budowane z drewna, cegły lub żelbetu. Zwykle wzdłuż dłuższego boku magazynu biegnie tor kolejowy lub droga kołowa. Magazyny te w rzucie pionowym mają kształt prostokąta o długości do 100 m i szerokości od 6 do 30 m. Podłoga magazynów powinna wytrzymywać dość duże obciążenie; w zależności od rodzaju przechowywanych materiałów obciążenie może wynosić od 1000 do



Rys. 142. Magazyn

3000 kG/m². Podłogę układa się zwykle na wysokości 1,1 m od poziomu terenu. Dla ułatwienia przyjmowania i wydawania materiałów magazyny wyposażone są w rampy szerokości od 2 do 3 m. Bramy magazynów są najczęściej rozsuwane, minimalna ich szerokość wynosi 2 m, a wysokość — 2,2 m. Rozstawienie bram zawiera się w granicach od 15 do 20 m. Umieszcza się je w ścianach podłużnych, zwykle naprzeciw siebie.

Szczytowe ściany ogniowe i wewnętrzne równoległe do szczytowych ze względu na bezpieczeństwo pożarowe powinny być wykonane z materiałów ogniotrwałych o grubości przynajmniej jednej cegły i muszą wystawać ponad dach. Ściany poprzeczne dzielą

magazyn na sekcje, a maksymalne powierzchnie sekcji określają normy dotyczące przepisów przeciwpożarowych (dla budynków drewnianych maksimum 900 m², a dla murowanych 1400 m²).

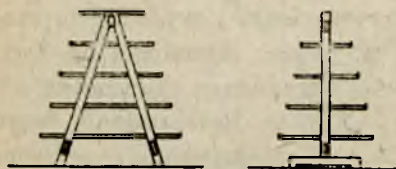
Przy układaniu drobnicy w stopy należy zwracać uwagę na zabezpieczenie warunków równowagi trwałej stosu oraz dbać o to, aby wysokość jego nie przekraczała dopuszczalnych wielkości ze względu na bezpieczne obciążenie podłogi (lub stropu w magazynach piętrowych).

Materiały drobniejsze, z którymi należy obchodzić się delikatnie, przechowuje się na półkach poprzedzielanych przegrodami tak, że mają one kształt klatek i skrzyń (rys. 143). Przedmioty długie

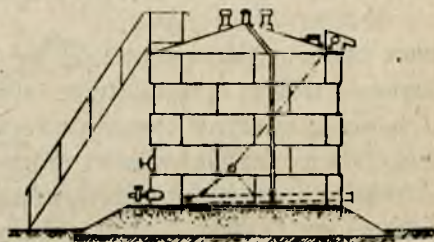


Rys. 143. Półki

(rury, pręty itp.) układane są na stojakach (rys. 144) o konstrukcji dostosowanej do ich rodzaju, wielkości i kształtu. Stojaki i półki umożliwiają lepsze wykorzystanie objętości magazynu, ułatwiają przyjmowanie i wydawanie przechowywanych materiałów oraz zabezpieczają je przed uszkodzeniem. Są one wykonywane z drewna lub stali jako urządzenia stałe lub ruchome. Przy rozmieszczaniu ich w magazynie należy brać pod uwagę dogodność układania i zdejmowania przechowywanych przedmiotów oraz zapewnienie swobodnych przejść.



Rys. 144. Stojaki



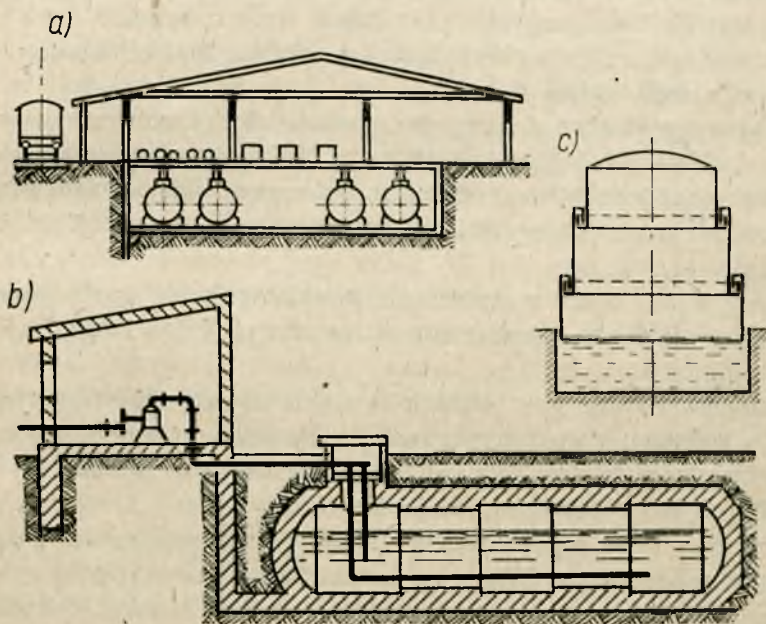
Rys. 145. Zbiornik naziemny

Różnego rodzaju ciecze, jak paliwa ciekłe, smary, rozpuszczalniki, kwasy i ługi, są przechowywane w zbiornikach naziemnych i podziemnych, a gdy znajdują się w beczkach, blaszankach lub

w balonach, wówczas są przechowywane w magazynach zamkniętych.

Ze szczególną uwagą i zachowaniem odpowiednich środków ostrożności należy przechowywać ciecze łatwopalne jak benzynę, eter, naftę, ropę naftową itp. Magazyny tych cieczy powinny być odpowiednio oddalone od budynków przemysłowych i mieszkalnych.

Na rys. 145 i 146 przedstawiono trzy rodzaje zbiorników do przechowywania produktów naftowych. Pierwszy z nich (rys. 145) jest zbiornikiem naziemnym ustawionym na wysokim nasypie. Jest on



Rys. 146. Zbiorniki podziemne

wykonany z blachy stalowej spawanej lub nitowanej. Dla zabezpieczenia przed wybuchem w pokrywie zbiornika umieszcza się zawór bezpieczeństwa, który w przypadku nadmiernego ciśnienia umożliwi odpływ wytworzonych gazów na zewnątrz. Pojemność zbiorników tego typu waha się w szerokich granicach — od kilkudziesięciu do kilku tysięcy metrów sześciennych.

Zbiorniki podziemne (rys. 146) ustawia się w specjalnym pomieszczeniu zbudowanym pod ziemią (rys. 146a) albo zakopuje się je całkowicie, jak pokazano na rys. 146b. W tym przypadku kontrola zbiornika i rurociągów oraz ich konserwacja są bardzo utrudnione, natomiast warunki bezpieczeństwa przeciwpożarowego są lepsze.

Do przepompowywania cieczy magazynowanych w zbiornikach używane są pompy o napędzie elektrycznym, a przy przepompowywaniu małych ilości cieczy (do 4 m³/godz) i na nieduże wysokości (do 12 m) — pompy ręczne.

Ciecze o dużej lepkości (smary, melas) w celu łatwiejszego ich pompowania należy ogrzać (parą lub w inny sposób). W tym celu w najniższym miejscu zbiorników (w pobliżu dna) umieszczone są specjalne węzownice.

Magazyny służące do przechowywania cieczy palnych w beczkach, balonach lub blaszankach są to budynki wykonane z materiałów ogniotrwałych, o podłodze betonowej. Ciecz każdego gatunku należy przechowywać oddzielnie, w pomieszczeniach dobrze wentylowanych.

Gazy w miejscach wytwarzania przechowuje się w zbiornikach o stałym ciśnieniu (do 400 mm słupa wody), które mogą być suche lub mokre.

Zbiorniki mokre, tzw. teleskopowe, składają się z kilku pierścieni i dna górnego, połączonych ze sobą ruchomo i zabezpieczonych zamknięciami hydraulicznymi. Pojemność tych zbiorników dochodzi do 250 000 m³. Są one bardzo kosztowne.

Na rys. 146c przedstawiono schematycznie zbiornik gazowy typu teleskopowego. Składa się on z kilku pierścieni połączonych z dzwonem i ze sobą hermetycznie za pomocą zamknięć hydraulicznych. W tym celu górny brzeg każdego ogniwa wygięty jest korytkowo do wewnątrz, a dolny — na zewnątrz. Gdy ciśnienie gazu wzrasta, wysokość zbiornika zwiększa się, natomiast gdy ilość gazu zmniejsza się, ciśnienie spada i wysokość zbiornika się zmniejsza. Położenie poszczególnych dzwonów względem siebie i osi zbiornika utrzymywane jest za pomocą specjalnych pionowych prowadnic, których nie przedstawiono na rys. 146c.

Zbiorniki suche mają kształt dużych, pionowych walców, od góry zamykane są uszczelnionym tłokiem, który obciąża się sta-

łym ciężarem tak, aby gaz w zbiorniku znajdował się pod żądanym ciśnieniem.

Gazy sprężone przechowuje się w butlach stalowych o ciężarze od 10 do 100 kG. Butle przeznaczone do przechowywania i przewożenia gazów sprężonych co trzy lata powinny być poddawane próbie na wytrzymałość.

51. Magazynowanie węgla

Węgiel nie jest minerałem „martwym“ i magazynowany w otwartych składach ulega tzw. wietrzeniu, to znaczy powolnemu utlenianiu się w temperaturze otoczenia. Szybkość utleniania się zależy od gatunku węgla i od stopnia rozdrobnienia. Węgle w kawałkach większych mało zmieniają się na powietrzu, natomiast sortymenty drobniejsze wietrzeją znacznie szybciej.

Utlenianie się węgla na powierzchni zachodzi tym silniej, im więcej węgiel zawiera nienasyconych węglowodorów oraz im wyższa jest temperatura otoczenia. Wywiązuje się wtedy CO_2 , CO i H_2O oraz zmienia się jego skład. W warunkach sprzyjających procesowi utleniania (wysoka temperatura w lecie i złe odprowadzanie ciepła z grubszych warstw) temperatura węgla może tak wzrosnąć, że powstaje obawa jego samozapalenia się. Do najłatwiej zapalających się należą węgle brunatne; górnośląskie węgle kamienne należą do węgla odporniejszych na samozapalenie się.

Wietrzenie węgla zawsze połączone jest ze zmniejszeniem się jego wartości opałowej, obniżeniem zawartości części lotnych i zdolności spiekania.

Aby zapobiec skutkom wietrzenia, trzeba ograniczyć je do minimum. W tym celu należy utrudnić dopływ powietrza do wnętrza zwałów węgla i uniemożliwić jego ruch wewnątrz zwałów, co można osiągnąć przez zmniejszenie przestrzeni wolnych pomiędzy kawałkami lub ziarnami węgla. Nie należy dopuszczać do podniesienia się temperatury wewnątrz zwałów węgla powyżej 60°C ze względu na znaczny rozwój procesu wietrzenia i nie mieszać węgli różnych gatunków oraz różnych sortymentów.

W celu przeprowadzenia kontroli temperatury w różnych miejscach warstw węgla należy umieścić termometry i w razie wzrostu temperatury powyżej 60°C warstwę trzeba przerzucić.

Według inż. St. Kruszewskiego („Sprawozdanie Polskiego Komitetu Energetycznego“ rok 1937) przy magazynowaniu węgla przez dłuższy okres czasu należy przestrzegać następujących wskazań:

1. Trzeba dobierać węgiel możliwie twardy, o małej zawartości nienasyconych węglowodorów i piryków, jednego sortymentu, przy czym do długotrwałego przechowywania najlepiej nadaje się dobrze odsortowany węgiel gruby używany do palenisk zasilanych ręcznie, a na ruszty zasilane mechanicznie — miał 0—8 mm, grysik 6—10 mm i orzech dobrze odsiany od miału. Nie należy mieszać węgla świeżego z węglem już dłużej przechowywanym.

2. Składanie węgla bezpośrednio na ziemi nie jest wskazane. Teren przeznaczony na skład węgla powinien być suchy, betonowany lub brukowany, z dobrym odprowadzeniem wody. Trzeba unikać stykania się zwałów węgla z drewnem.

3. Należy dążyć do odcięcia dopływu powietrza i wilgoci do wnętrza zwałów węgla przez zalepianie bocznych ścian papką z pyłu węglowego i wody lub gliną, lub chudym tynkiem, a od góry zabezpieczyć zwały przed działaniem promieni słonecznych przez pobielenie wapnem zwartej powierzchni górnej.

4. Dookoła zwałów węgla umieścić instalację wodociągową z hydrantami, natomiast trzeba unikać przeprowadzania przez plac, na którym leży węgiel, rurociągów itp. parowych przewodów grzejnych mogących wpłynąć na podniesienie temperatury węgla.

5. W ruraż żeliwnych rozmieszczonych w odstępach 6 m sięgających do spodu zwałów węgla, należy umieścić termometry i odczytywać je okresowo, aby nie dopuścić do wzrostu temperatury ponad 50—60°C.

Proces wietrzenia można całkowicie zahamować magazynując węgiel pod wodą. Urządzenia do przechowywania węgla pod wodą są dość kosztowne, niemniej jednak zastosowano je w wielu gazowniach, gdyż straty spowodowane wietrzeniem węgla są tak duże, że wydatki amortyzują się w krótkim czasie.

Na ogół węgiel w zależności od jego gatunku, czasu składowania i urządzeń mechanicznych na terenie składów magazynuje się w zwałach lub w przyzmacach o wysokości dochodzącej do 4 m.

W składach nie posiadających urządzeń mechanicznych powierzchnia jednego zwałku ze względów pożarowych nie powinna prze-

kraczać 500 m². Przeloty pomiędzy zwałami (pryzmami) powinny wynosić przynajmniej 4 m. W dużych składach zmechanizowanych szerokość zwałów waha się w granicach od 10 do 15 m, a długość dochodzi do 100 m.

Zakres działania urządzeń mechanicznych obsługujących składy węgla powinien obejmować całą powierzchnię użytkową placu składowego. Do maszyn najbardziej pożądanych w składach węgla zalicza się: ruchome dźwigi obrotowe (osadzone na gąsienicach) lub kolejowe dźwigi bramowe, żurawie kolejowe, suwnice przeładunkowe i dźwigi linowe.

52. Mechanizacja i obsługa transportu w magazynach

Wyładowywanie i załadowywanie wszelkiego rodzaju materiałów przywożonych do magazynów i wywożonych jest czynnością uciążliwą i pracochłonną. Czynności te należy wykonywać szybko bez zbędnego przetrzymywania wagonów kolejowych i ciężarowych wozów samochodowych. Z tego powodu w dobrze zorganizowanych składach i magazynach prace przeładunkowe powinny być zmechanizowane.

Dzięki dużej wydajności pracy zmechanizowanej skraca się czas załadunku i wyładunku materiałów, zwiększa obrót wagonów kolejowych i wozów samochodowych, zmniejsza wielokrotnie ilość robotników zatrudnionych przy pracach przeładunkowych, przez co obniżają się koszty własne zakładu wytwórczego.

Mechanizacja prac przeładunkowych polega na stosowaniu maszyn i urządzeń mechanicznych do wyładowywania, przeładowywania i załadowywania wozów kolejowych i samochodowych oraz do przewożenia wyładowywanych z wozów materiałów na miejsce składania w magazynie lub na placu i w kierunku odwrotnym przy wysyłaniu przechowywanych w magazynie materiałów.

Najprostszym urządzeniem do szybkiego wyładowywania materiałów sypkich z wagonów kolejowych jest wywrotnica. Działanie wywrotnic różnych typów polega na tym, że wagon przeznaczony do wyładowania umieszcza się na platformie — wywrotnicy i po przymocowaniu go nadaje się platformie nachylenie wystarczające do całkowitego opróżnienia wagonu.

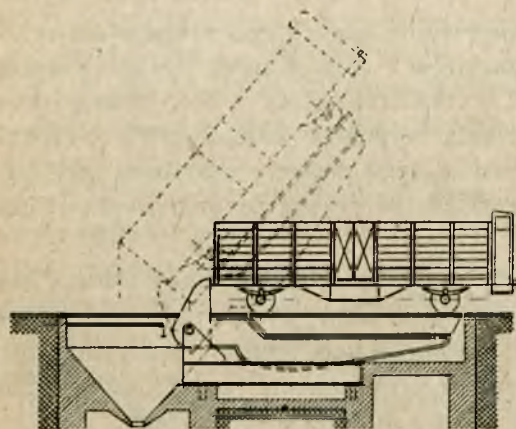
W zależności od konstrukcji rozróżniamy wywrotnice czołowe i boczne, te ostatnie mogą być obrotowe i wieżowe. Wywrotnice czołowe nadają się tylko do wagonów z uchylnymi ścianami czołowymi. Jedna z takich wywrotnic przedstawiona na rys. 147. Materiał sypki zsuwa się z nachylonego wagonu stosunkowo prędko tak, że wyładowywanie trwa około 3 minut a przy sprawnej obsłudze — nawet krócej.

Wadą wywrotnic jest ich duży koszt oraz trudność wyładunku wagonów krytych (z dachem).

W zakładach przemysłowych przetwarzających ziemniaki lub buraki cukrowe, surowce te wyładowuje się z wagonów kolejowych przez splukiwanie silnym strumieniem wody. Dzięki temu

wyładowanie jednego wagonu trwa od 6 do 10 minut przy zużyciu około 6 m³ wody o ciśnieniu od 2 do 3 atn na 1 tonnę buraków. W ten sposób można wyładowywać zarówno wagony otwarte, jak i kryte.

Do wyładowywania i załadowywania materiałów sypkich o niewielkim ciężarze, jak np. zboże, stosowane są przenośniki pneumatyczne.



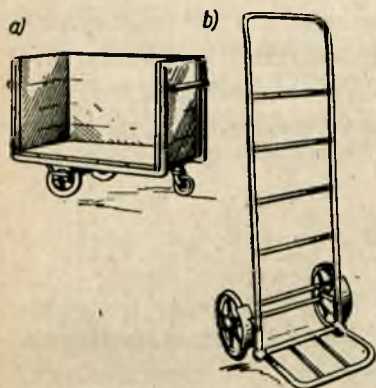
Rys. 147. Wywrotnica

Przy ładowaniu do wagonów i samochodów ciężarowych materiałów sypkich i drobnych, w opakowaniu lub bez opakowania powszechnie stosowane są przenośniki taśmowe różnych typów.

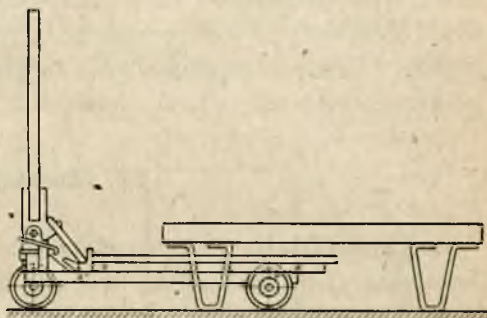
Do załadowywania, przeładowywania i wyładowywania przedmiotów ciężkich oraz do przestawiania ich z jednego miejsca na drugie używa się różnego rodzaju podnośników (dźwigów).

Na terenie składu lub magazynu zachodzi często konieczność transportowania materiałów w czasie ich przyjmowania i wydawania. Do transportu pionowego stosowane są przenośniki kubeł-

kowe i inne, windy towarowe oraz zsuwnie. Do transportu poziomego przy niedużych odległościach (do 50 m) i małych ciężarach (do 1000 kG) używa się wózków ręcznych (bezszynowych i na szynach), w razie zaś większych odległości i ciężarów — wózków poruszanych silnikami, kolejek wiszących, przenośników taśmowych i innych.

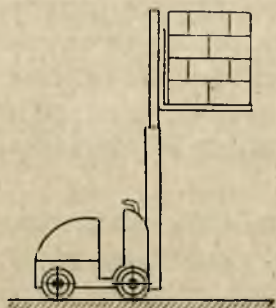


Rys. 148. Wózki ręczne

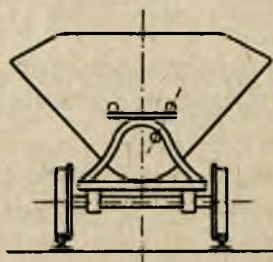


Rys. 149. Wózek podnośny

Na rys. 148 i 149 przedstawiono wózki różnych typów. Pierwszy wózek ręczny na trzech kółkach (rys. 148a) drugi na dwóch kółkach (rys. 148b) stosowane są często w magazynach i warsztatach,



Rys. 150. Wózek podnośny elektryczny



Rys. 151. Wózek wywrotka

trzeci (rys. 149), również ręczny, służy do przewożenia materiałów, które przechowywane są na podstawkach lub tacach. Za pomocą mechanizmu dźwigniowego tacę lub podstawkę z le-

żącym na niej materiałem można podnieść na niewielką wysokość (kilku centymetrów), przewieźć i ustawić w innym miejscu.

Jeżeli materiał trzeba zdjąć z pewnej wysokości (np. z półki) i umieścić również wysoko, to używane są wózki podnośne. Jeden z takich wózków, służący do wysokiego podnoszenia, o napędzie elektrycznym (z akumulatorem) przedstawiony jest na rys. 150.

Do przewożenia materiałów sypkich w składach i w magazynach otwartych stosowane są wózki o odpowiednim nadwoziu. Na rys. 151 przedstawiono wózek na szynach o konstrukcji dostosowanej do szybkiego rozładowywania przez wywracanie. Takie wózki powszechnie noszą nazwę wywrotek.

53. Zasobniki

Zasobniki (bunkry) są to duże zbiorniki przeznaczone do przejściowego magazynowania materiałów sypkich, które następnie bywają poddawane różnego rodzaju procesom jak rozdrabnianie, sortowanie, brykietowanie, wypalanie, zagrzewanie, spalanie itd. Zasobniki te buduje się w pobliżu odpowiednich maszyn i urządzeń technicznych, w których zachodzą powyższe procesy, w ten sposób zapewnia się ciągłość dopływu do nich materiałów i unika się przerw w pracy.

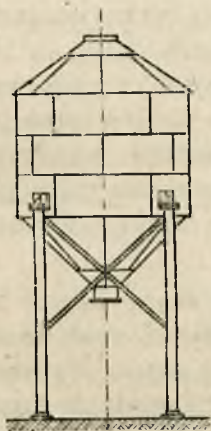
W zasobnikach przechowuje się zapas surowca, przeznaczony dla danego procesu technologicznego na pewien okres czasu. Na przykład w kotłowniach o mechanicznym zasilaniu palenisk w zasobnikach mieści się 1 lub 2-dniowy zapas paliwa; z bunkrów paliwo jest doprowadzane rurami opadowymi do koszów zasilających paleniska kotłowe.

Zasobniki powinny mieć kształt ułatwiający równomierne ich załadowywanie za pośrednictwem odpowiednich urządzeń transportowych (np. przenośnika kubełkowego), pełne wyzyskanie ich pojemności oraz równomierne i całkowite rozładowywanie. Tym warunkom najlepiej odpowiadają bunkry w kształcie cylindrycznego lub prostokątnego zbiornika zwężającego się ku dołowi w postaci stożka lub ostrosłupa.

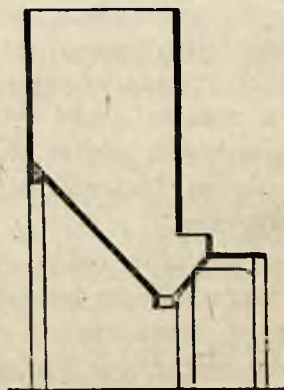
Zasobniki bywają otwarte lub zamknięte. W górnym dnie zasobników zamkniętych znajduje się otwór, przez który odbywa się

ładowanie, w dolnym dnie — zwykle na końcu stożka (lub ostrosłupa) — znajduje się otwór wyladunkowy zaopatrzony w odpowiednie urządzenie zamykające. Główne wymiary zasobnika, a mianowicie wysokość, średnica i kąt wierzchołkowy stożka są tak dostosowane, aby pojemność jego była wystarczająca oraz aby materiał mógł swobodnie zsypywać się i być odbierany przez otwór wylotowy.

Najczęściej budowane są zasobniki stalowe, rzadziej — żelbetowe i drewniane, a tylko wyjątkowo — murowane. Czasami wnętrza ich wykładane są wymienną okładziną w celu zabezpieczenia ścian przed ścieraniem się.



Rys. 152. Zasobnik cylindryczny



Rys. 153. Zasobnik betonowy

Zasobniki bywają umieszczane albo wewnątrz budynków fabrycznych albo na zewnątrz. W zasobnikach znajdujących się poza budynkiem i przeznaczonych do magazynowania materiałów wilgotnych w razie potrzeby umieszcza się urządzenie ogrzewające w celu zabezpieczenia materiałów od zamarzania.

Na rys. 152 i 153 przedstawiono zasobniki, z których pierwszy, stalowy jest cylindryczny, o dnie stożkowym, a drugi żelbetowy ma płaskie ściany i pochyle dno. Zasobnik stalowy opróżnia się przez otwór centralny znajdujący się w najniższym miejscu dna, a zasobnik żelbetowy — przez otwór boczny.

Ścianki bunkrów stalowych (rys. 152) wykonywane są z blachy stalowej przymocowanej za pomocą nitów lub przyspawanej do

wewnętrznego szkieletu ze stali profilowej. Szkielet przejmuje całkowite obciążenie zasobnika, co pozwala na zmniejszenie grubości ścian.

Zasobniki są zwykle umieszczone wyżej niż maszyny i urządzenia przemysłowe, dla których magazynują surowiec. Wspierają się one na słupach (rys. 152) lub na odpowiedniej konstrukcji kratowej.

54. Ochrona przed pożarami. Urządzenia i przyrządy bezpieczeństwa

Zagadnienie ochrony magazynów przed pożarami jest bardzo ważne. W wielu gałęziach przemysłu chemicznego, a zwłaszcza przemysłu organicznego w składach otwartych i magazynach zamkniętych przechowywane są różnego rodzaju substancje łatwopalne, a czasami nawet wybuchowe. Powstanie pożaru w takich magazynach jest bardzo niebezpieczne, gdyż nie tylko połączone jest z dużymi stratami materialnymi, ale często powoduje śmiertelne wypadki.

Z tych powodów należy zwracać szczególną uwagę na zabezpieczenie magazynów przed pożarami przez zmniejszenie do minimum możliwości powstawania i rozszerzania się ognia, stworzenie niezbędnych warunków i przygotowanie odpowiednich środków do szybkiego ich gaszenia oraz zapewnienie dróg dla ewakuacji personelu zatrudnionego w magazynach.

W przemyśle chemicznym magazyny powinny być zasadniczo budowane z materiałów ogniotrwałych i tylko w tym przypadku, gdy przechowuje się w nich wyłącznie materiały niepalne, można odstąpić od tej zasady.

Magazyny średniej wielkości i duże, w których przechowywane są materiały o różnym stopniu palności, należy dzielić ścianami ogniowymi i stropami ogniotrwałymi na części w celu zapewnienia takich warunków, aby ewentualne wypalanie się zawartości jednej części magazynu nie powodowało zagrożenia innych sąsiednich części.

Schody w magazynach należy wykonywać z materiałów ogniotrwałych i tylko wyjątkowo przy małym zagrożeniu pożarowym

dopuszczalne są również schody z materiałów nieogniotrwałych, ale zawsze powinny one znajdować się wewnątrz ogniotrwałych klatek schodowych.

Urządzenia ogrzewnicze w magazynach muszą być tak wykonane, aby wydzielone ciepło nie mogło spowodować pożarów. Silniki wszelkiego rodzaju, pracujące w magazynach, powinny być typu zamkniętego, szczególnie w tych miejscach, gdzie iskrzenie się silnika zagraża niebezpieczeństwem powstania pożaru.

W magazynach i składach nie należy wykonywać żadnej innej pracy oprócz tej, która związana jest czynnościami magazynowania i konserwacji przedmiotów zmagazynowanych.

Przy magazynowaniu materiałów opakowanych specjalną uwagę należy zwrócić na to, aby opakowania były całe i szczelne. Korki i inne zamknięcia naczyń, zawierających ciecze i gazy palne, powinny znajdować się w stanie zdatnym do użytku oraz muszą być odpowiednio szczelne.

Naczynia opróżnione (balony, beczki itp.) należy przechowywać oddzielnie. Szczególnie niebezpieczne są naczynia po cieczach i materiałach łatwopalnych. W obecności iskry lub otwartego ognia zagrażają one silnym wybuchem. Wskazane jest przechowywanie ich po uprzednim szczelnym zamknięciu korkami.

W każdym magazynie powinno znajdować się urządzenie do zwalczania powstałego w nim pożaru. Urządzenia powyższe można podzielić na dwie grupy: a) do zwalczania pożaru w stadium początkowym i b) do walki z pożarem dużym.

Do urządzeń przeznaczonych do zwalczania pożaru w stadium początkowym zalicza się urządzenia alarmowe oraz instalacje gaśnicze (gaśnice). Zadaniem instalacji alarmowych jest sygnalizowanie za pomocą sygnałów dźwiękowych lub świetlnych niebezpieczeństwa powstania pożaru lub jego zaistnienia. Samoczynne instalacje alarmowe są specjalnie potrzebne w magazynach, w których są przechowywane substancje o stosunkowo niskich temperaturach samozapłonu. Gaśnice i instalacje gaśnicze przeznaczone są do szybkiego gaszenia pożaru w stadium początkowym. Mogą one być samoczynne lub kierowane ręcznie.

Instalacje gaśnicze bywają wodne, parowe, pianowe, gazowe i śniegowe.

Instalacje wodne stanowią największą grupę urządzeń gaśniczych. Woda jest doskonałym środkiem do gaszenia ciał twardych nie tworzących z nią, jak karbid, sól lub potas, gazów palnych.

Jednak nie działa ona skutecznie w przypadku pożaru materiałów ciekłych. Para jako środek gaszący pożary ma tę zaletę, że można jej użyć wówczas, gdy wody nie można dostarczyć do ogniska pożaru.

Gaśnice pianowe służą do gaszenia łatwopalnych cieczy w zbiornikach zamkniętych i otwartych oraz do gaszenia mniejszych pożarów ciał stałych. Gaśnice gazowe (głównie z CO₂) nadają się do gaszenia pożarów w pomieszczeniach zamkniętych, gdy stosowanie wody nie jest wskazane. Gaśnice śniegowe gaszące dwutlenkiem węgla w postaci śniegu są stosowane w takich samych wypadkach jak gaśnice gazowe.

Do walki z pożarem należy przygotować niezbędne środki na wypadek, gdy urządzenia do gaszenia pożaru w stadium początkowym okażą się niewystarczające. Wśród tych środków największe znaczenie ma woda. Toteż zapewnienie odpowiedniej jej ilości na wypadek pożaru jest konieczne.

Źródłem wody do gaszenia pożarów mogą być wodociągi, studnie pożarowe, sztuczne zbiorniki, rzeki i jeziora, jeżeli można z nich korzystać o każdej porze i oddzielnie lub łącznie dostarczą ilość wody potrzebną do ugaszenia pożaru.

Oprócz wody należy przygotować odpowiednie pompy i motopompy, aby w przypadku pożaru można było doprowadzać dostateczną jej ilość do każdego miejsca oraz piasek i odpowiednie narzędzia, jak drabiny, kubły, oskardy, bosaki itd., które zawsze powinny znajdować się na widocznym i łatwo dostępnym miejscu.

Oczywiście cały sprzęt i wszystkie urządzenia przeciwpożarowe należy utrzymywać w stanie zdatnym do użytku, aby w każdej chwili można było się nimi posługiwać.

Bardzo ważnym warunkiem zabezpieczającym skutecznie magazyny i zakłady przemysłowe przed pożarami oraz umożliwiającym ich gaszenie w stadium początkowym jest odpowiednie przeszkolenie pracowników. Szczególnie jest to konieczne wówczas, gdy magazynowane są materiały łatwopalne lub wybuchowe. Ponadto konieczne jest opracowanie i wywieszenie w miejscu widocznym instrukcji dla pracowników magazynu, zawierającej

przepisy o postępowaniu w celu zabezpieczenia przed pożarem oraz pouczającej o sposobach postępowania w przypadku powstania pożaru.

W razie powstania pożaru w pomieszczeniu będącym pod prądem należy postępować zgodnie z punktem 14 „Przepisów bezpieczeństwa ogniowego dla urządzeń elektrycznych“. (Inż. M. Rogowski: Pożary w Zakładach przemysłowych. Warszawa 1947. Nakładem Powszechnego Zakładu Ubezpieczeń Wzajemnych), który ma brzmienie następujące:

„W razie pożaru wyłączyć prąd należy tylko w ostatecznej potrzebie. Szczególnie wyłączać nie należy lamp w pomieszczeniach objętych lub zagrożonych pożarem, odwrotnie trzeba je zapalić nawet podczas dnia. Przy włączaniu i innych czynnościach przy instalacji elektrycznej podczas pożaru należy unikać, o ile można, wszelkiej pomocy ze strony osób z ruchem nie obeznanych“

„Przy gaszeniu pożaru powinno się chronić, o ile można, będące pod prądem aparaty, maszyny elektryczne i przewodniki od bezpośredniego polewania wodą“

„Po ukończeniu pożaru należy przede wszystkim zupełnie wyłączyć części urządzeń uszkodzonych przez pożar. Części uszkodzonych nie wolno ponownie używać, dopóki nie będą doprowadzone do stanu odpowiadającego przepisom bezpieczeństwa“

WYKAZ PIŚMIENICTWA

1. *Anninski B. A.*: Mechanizacja transportu w hutach żelaza. Warszawa 1952. PWT.
2. *Berl E.*: Chemische Ingenieur-Technik. Berlin 1935. Julius Springer.
3. *Brajnes J. M.*: Processy i aparaty chemicznych proizvodstw. Moskwa 1947. Goschimizdat.
4. *Chromiński E. inż.*: Kotły parowe i ich obsługa. Kraków 1948. Nakład własny.
5. *Dawidowski R. prof. inż.*: Technologia ciepła i paliwa (skrypt). Kraków 1948. Bratnia Pomoc Stud. Akademii Górniczo-Hutniczej.
6. *Dietkow S. W.*: Uchod za kotelnyimi i siłowymi ustanowkami. Moskwa 1948. Gizmiestprom.
7. *Galer J. prof.*: Nowoczesne cegielnictwo. Lwów — Warszawa — Kraków 1927. Zakłady im. Ossolińskich
8. *Ginzburg D. B.*: Pieczi i suszila silikatnoj promyszlenosti. Moskwa 1945. Gizlitstrojmat.
9. *Kasatkin A. G.*: Podstawowe procesy i aparaty w technologii chemicznej. Warszawa 1954. PWT.
10. *Kirow A. A.*: Apparatura i osnovnyje processy chemiczeskoj tiechnologii. Moskwa 1947.
11. *Linczewskij W.*: Nagriewatielnyje pieczi. Moskwa 1948. Metałurgizdat.
12. *Mamykin P. S. i Strielow K. K.*: Topki i suszila ognieupornych zawodow. Swierdłowski 1950.
13. *Mazur M. dr inż.*: Elektryczne urządzenia grzejne. Warszawa 1953. PWT
14. *Mikulski C. prof. inż.*: Kotły parowe. Warszawa 1952. PWN.
15. *Moszyński W. prof. dr inż.*: Wykład elementów maszyn. Warszawa 1952. PWT.
16. *Niesiolowski M. inż. i Zawada E. inż.*: Przemysł chemiczny w Planie 6-letnim. Warszawa 1953. PWT.
17. *Niewiadomski St. prof. inż.*: Maszynoznawstwo chemiczne (skrypt). Warszawa 1952. PWT.
18. *Olczakowski W. inż., Ficki Z. inż.*: Woda w zakładach przemysłowych. Warszawa 1952. PWN.
19. *Stefanowski B. prof. dr inż.*: Podstawy techniki cieplnej. Warszawa 1947. Trzaska, Ewert i Michalski.
20. *Stefanowski B. prof. dr inż.*: Termodynamika techniczna. Warszawa 1949. M. Fuksiewicz.

21. *Swenczanskij A. D.*: Elektrieskije promyszlennyje pieczy. Moskwa 1948. Gosenergoizdat.
22. *Sziszakow A. W.*: Osnovy proizwodstwa goriuczich gazow. Moskwa 1948. Gosenergoizdat.
23. *Tolloczko B. prof. dr inż.*: Kotły parowe. Warszawa 1952—1953. PWT.
24. *Zawadzki J. prof. dr inż.*: Technologia chemiczna nieorganiczna. Warszawa 1952. PWT.
25. Kalendarz chemiczny. Łódź 1950. Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego w Polsce.
26. Podręcznik budowlany. Warszawa 1950. Trzaska, Ewert i Michalski.
27. Wykaz maszyn i urządzeń do transportu bliskiego. Warszawa 1949. PWT.
28. *Rogowski M. inż.*: Pożary w zakładach przemysłowych. Warszawa 1947. PZUW.

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWA TECHNICZNE

- CZERPIŃSKI T., DROŹDŹEWSKI A., JĘDRZEJEWSKA H.: **Zasady techniki laboratoryjnej.** 1952, s. 236, zł 24.50
- FUGLEWICZ R.: **Chemia analityczna jakościowa.** 1954, s. 291, zł 14.10 (opraw.). Zatwierdzono do użytku szkolnego przez CUSZ.
- FUGLEWICZ R.: **Chemia analityczna jakościowa.** Wyd. 2 popraw. i uzup. 1954, s. 383, zł 16.— (opraw.)
- JABŁOŃSKI S., SKUPIŃSKI S., WALEWSKA Z.: **Szybkie metody analizy jakościowej stali i stopów. Analiza kroplowa.** Wyd. 2 popraw. 1953, s. 128, zł 10.—
- KACPRZAK J.: **Lakiery i emalie nitrocelulozowe.** 1954, s. 164, zł 10.—
- KIELCEW W. W., TESNER P. A.: **Sadza. Własności, produkcja i zastosowanie.** Tłum. z ros. J. Bruss. 1953, s. 176, zł 13.80
- KOBERECKI P.: **Produkcja tlenu i obsługa aparatury.** 1954, s. 176, zł 10.— (opraw.)
- Kontrola analityczna w przemyśle chemicznym.** Tom. I. Przemysłowe laboratorium analizy chemicznej. Praca zbiorowa. 1954, s. 264, zł 28.— (opraw.)
- KOWALSKI J.: **Wytwarzanie gazu do syntezy.** 1954, s. 307, zł 22.— (opraw.)
- MEDICUS L.: **Ćwiczenia z analizy technicznej.** Tłum. z niem. G. Szabo. 1954, s. 234, zł 9.—
- NUSINOW G. I.: **Wytłewanie węgla w typowych urządzeniach.** Tłum. z ros. S. Rosiński. 1952, s. 140, zł 9.50
- OLASZEK A.: **Zarys metod badań gumy i wyrobów gumowych.** 1954, s. 188, zł 15.— (opraw.)
- Poradnik koksochemika.** Praca zbiorowa pod red. T. Kozłowskiego. Tom 1. Zeszyt 1. 1951, s. 640, zł 46.— Tom 2. Zeszyt 2. 1952, s. 440, zł 28.70
- ROGA B., WNEKOWSKA L.: **Analiza paliw stałych.** 1952, s. 496, zł 43.40
- STAPF H.: **Podstawy chemii i technologii dla zatrudnionych w przemyśle.** Tłum. z niem. Z. Bańkowski. 1953, s. 376, zł 28.50 (opraw.)
- SZULC J.: **Pracownia analizy ilościowej.** 1954, s. 220, zł 8.40. Zatwierdzono do użytku szkolnego przez CUSZ.
- WAWRZYCZEK W., BOŹEK E., MASŁOWSKI P.: **Ćwiczenia chemiczne z obliczeniami.** 1954, s. 358, zł 16.— (opraw.). Zatwierdzono do użytku szkolnego przez CUSZ.

**Do nabycia w księgarniach technicznych Domu Książki
i u kolporterów zakładowych**

