Nowoczesna instalacja odsiarczania spalin metodą amoniakalną półsuchą

Dr inż. Antoni Tarnogrodzki
Politechnika Warszawska, Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej

Wiadomo, że szybkość reakcji chemicznej jest tym większa, im wyższy jest stopień rozdrobnienia reagentów, naturalnie, reagenty są dobrze ze sobą wymieszane. W naszym przypadku wzrost tej szybkości pociąga za sobą skrócenie nieodzownego czasu kontaktu sorbent-spaliny i tym samym umożliwia zmniejszenie gabarytów instalacji.

W zastosowanej metodzie sorbentem jest woda amoniakalna. Jest ona rozpylana do postaci suchej mgły za pomocą specjalnie do tego celu zaprojektowanych atomizerów. Następnie ma miejsce turbulentne wymienianie sorbentu ze spalinami, przy czym zapewniony jest dostatecznie długi czas kontaktu sorbent--spaliny [1,2].

Przytaczamy równanie odpowiedniej reakcji chemicznej

$$2NH_3 + H_2O + SO_2 = (NH_4)_2\,SO_3$$

skąd wynika wagowy stosunek stechiometryczny amoniaku i siarki

$$2MN_{NH3} / M_S = 1{,}0625$$

i zużycie 25-procentowej wody amoniakalnej

$$\rho_w Q_w = 4{,}25\ Bs$$

gdzie:
- M – masa cząsteczkowa,
- ρ_w = 1000 kg/m^3,
- Q_w(l/h) – wydajność atomizera lub atomizerów,
- B – zużycie nośnika energii,
- s – zawartość palnej siarki.

Stopień usunięcia ze spalin SO_2 nazywa się sprawnością odsiarczania. Dla stosunku stechiometrycznego NH_3 i S uzyskuje się przynajmniej η_{SO2} = 0,8; przy 50-procentowym nadmiarze NH_3 – przynajmniej η_{SO2} = 0,9 [3].

W dalszym ciągu występuje wyłącznie stechiometryczny stosunek NH_3 i S.

Obowiązuje zależność $\rho_N Q_N = \rho Q$, gdzie ρ_N =1,29 kg/m^3, Q_N i Q – normalny i rzeczywisty strumień objętości spalin. Przyjmujemy przeciętne wartości współczynnika nadmiaru powietrza 1,6 i wartości opałowej węgla kamiennego 23 MJ/kg, wtedy możemy napisać

$$Q_N(m_n^3/h) = 10{,}44\ B\ (kg/h)$$

W dalszym ciągu będziemy korzystać z tej zależności.

Wywołany odparowaniem wody amoniakalnej spadek temperatury wyraża się następująco

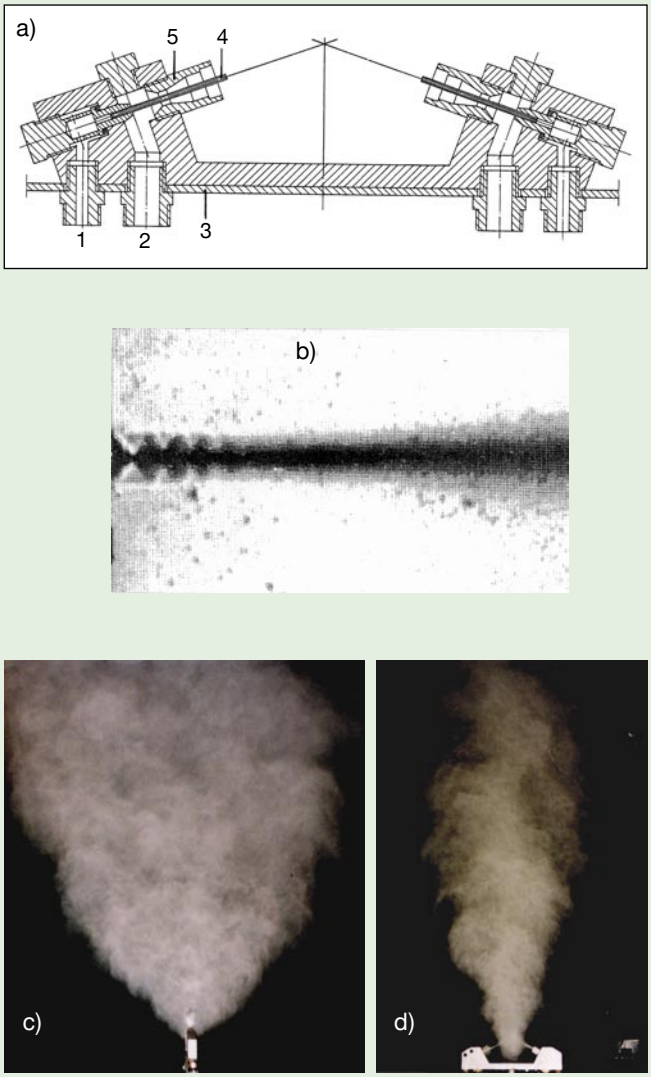
$$\Delta T = r\rho_w Q_w / c_p \rho_N Q_N$$

gdzie:
r = 2260 kJ/kg, c_p = 1 kJ/kgK;
przyjmujemy s = 0,01 i otrzymujemy ΔT = 7,1K.

Atomizery

Zasadnicze cechy atomizera to:
- stopień rozpylenia,
- wydajność,
- kąt rozpylenia,
- zasięg strumienia rozpylanej cieczy.

Atomizer o dużej wydajności może być: gazodynamiczny, hydrodynamiczny lub mechaniczny. Najwyższy stopień rozpylenia można uzyskać za pomocą atomizera gazodynamicznego. Atomizer wyposażony w dysze Lavala nazywa się naddźwiękowym.



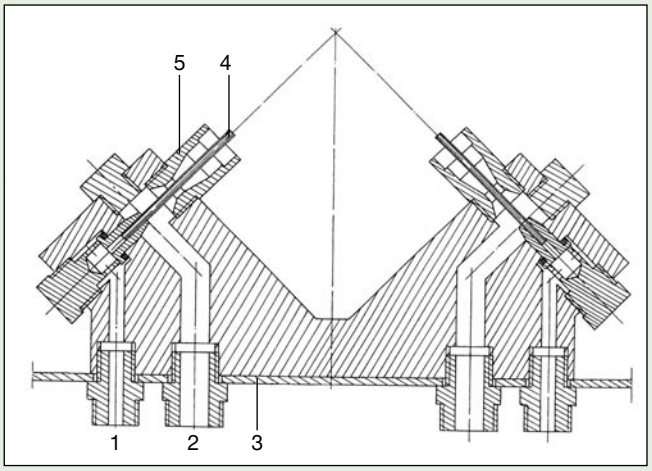
Rys. 1. Atomizer o zderzających się strumieniach o dużym kącie rozpylenia:
a) rysunek konstrukcyjny,
b) wizualizacja wypływu z dyszy atomizera,
c) i d) widoki mgły w płaszczyźnie symetrii i płaszczyźnie atomizera;
1 i 2 – końcówki wody amoniakalnej i sprężonego powietrza,
3 – pokrywa komory atomizera, 4 – rurka o średnicy zewnętrznej 2,5 mm,
5 – dwustopniowa dysza Lavala; komora atomizera może być usytuowana na ściance reaktora odsiarczającego, kanału spalin lub elektrofiltra

W omawianej instalacji stosuje się dwa typy atomizerów naddźwiękowych [4,5]:

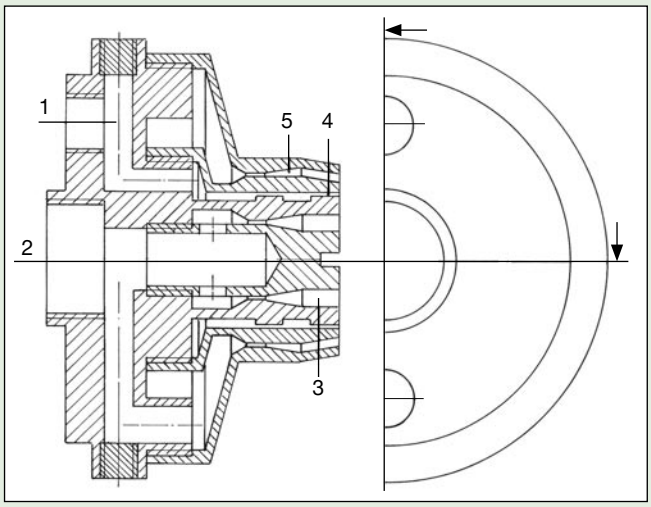
- o zderzających się strumieniach, z tym że występują dwie wersje, mianowicie, o dużym kącie rozpylenia (rys. 1) i o dużym zasięgu (rys. 2); wynalazek ten jest stosowany głównie w ogrodnictwie szklarniowym i ochronie powietrza, w roku 1981 został wyróżniony w Konkursie Mistrza Techniki;

- o strumieniach współosiowych (rys. 3), wynalazek stosowany jest od dawna w ochronie powietrza[1]; cechuje się dużym zasięgiem.

[1] Między innymi w *Hucie Katowice*, w elektrowni *Szczecin-Pomorzany*; ostatnio – jako wytwornica mgły został wykorzystany w systemie gaśniczym *Telesto*.



Rys. 2. Rysunek konstrukcyjny atomizera o zderzających się strumieniach o dużym zasięgu, oznaczenia



Rys. 3. Rysunek konstrukcyjny atomizera o strumieniach współosiowych;
1 – jeden z dwóch wlotów wody amoniakalnej,
2 – wlot sprężonego powietrza,
3 – wewnętrzna pierścieniowa dysza Lavala,
4 – pierścieniowa szczelina wodna o szerokości 0,5 mm,
5 – zewnętrzna pierścieniowa dysza Lavala o wypływie ze składową prędkości dośrodkową

Wprowadzamy stosunek strumieni masy wody amoniakalnej i sprężonego powietrza[2]

$$\beta = \rho_w Q_w / \rho_{spr} Q_{spr}$$

przy czym:

β = 0,9–1,1 i niższe wartości odpowiadają atomizerowi o dużym kącie rozpylenia, wyższe – atomizerom o dużym zasięgu;

$\rho_{spr} = 1{,}2$ kg/m^3,

Q_{spr}(m^2/h) – wydajność sprężarki.

Przyjmujemy β = 1 i atomizer o zderzających się strumieniach projektujemy na wydajność 100–150 l/h, o strumieniach współosiowych na 150–300 l/h; nadciśnienie przed atomizerem wynosi 0,25–0,35 MPa.

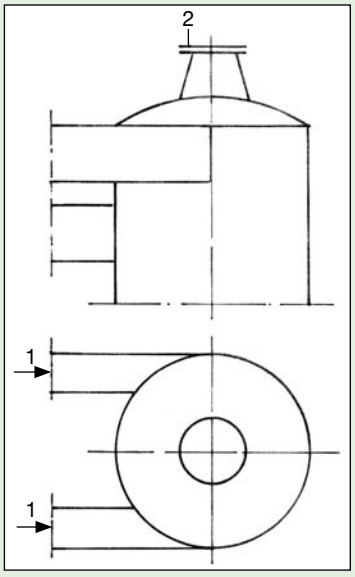
[2] W elektrowni *Połaniec* do tego celu zastosowano zamiast sprężonego powietrza przegrzaną parę wodną.

Reaktor o małej średnicy

Korzystamy z rysunków 4 i 5 oraz tabeli 1.

Na podstawie badań eksploatacyjnych wiadomo, że czas przebywania spalin w reaktorze wynosi 5 s. Przez D i h oznaczamy średnicę i wysokość reaktora, v – prędkość spalin, przyjmujemy s = 0,007 i dwie wartości temperatury, we wszystkich omawianych przypadkach stosujemy jeden atomizer o zderzających się strumieniach o dużym kącie rozpylenia zaprojektowany na Q_w=100 l/h, wydajność sprężarki 83 m³/h.

Rys. 4. Zaprojektowana przez autora instalacja w Zakładach Piwowarskich w Warce (1995)



Rys. 5.
Schemat części dolotowej reaktora o małej średnicy
1 – spaliny,
2 – pokrywa z atomizerem o zderzających się strumieniach o dużym kącie rozpylania

Tablela 1

Przykłady reaktora o małej średnicy

				130°C		200°C	
D m	v m/s	h m	Q m³/h	B kg/h	Q_w l/h	B kg/h	Q_w l/h
2,5	1,5	6	26 500	1690	47	1450	40
	2	8	35 300	2250	63	1930	54
3	1,5	6	37 800	2410	68	2070	58
	2	8	50 400	3220	90	2770	77

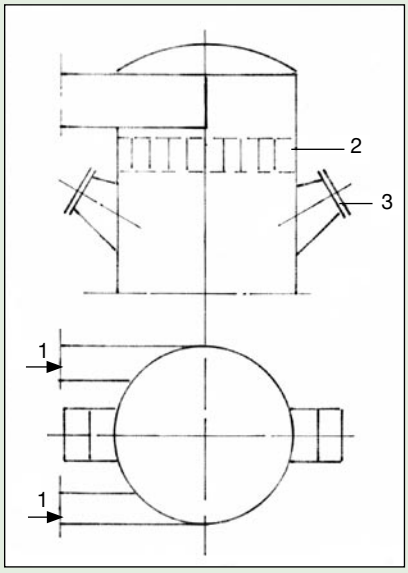
Reaktor o dużej średnicy[3)]

Korzystamy z rysunku 6 i tabeli 2.

Przyjmujemy:

v = 1,5 m/s, s = 0,01,

temperaturę 130°C i dobieramy atomizery.



Rys. 6. Schemat części dolotowej reaktora o dużej średnicy
1 – spaliny, 2 – ulownica,
3 – pokrywa z atomizerem o zderzających się strumieniach o dużym zasięgu lub z atomizerem o strumieniach współosiowych

Tabela 2

Przykłady reaktora o dużej średnicy

D m	Q m³/h	B kg/h	Q_w l/h	Dwa atomizery pokazane
4	68 000	4400	190	na rys. 2
6	153 000	9900	420	na rys. 3

Kanał spalin

Jest on prostoliniowy (poziomy, ukośny, pionowy) o dostatecznie dużej długości i ma stały przekrój poprzeczny. Korzystamy z rysunków 7 i 8 oraz tabeli 3.

Przyjmujemy:

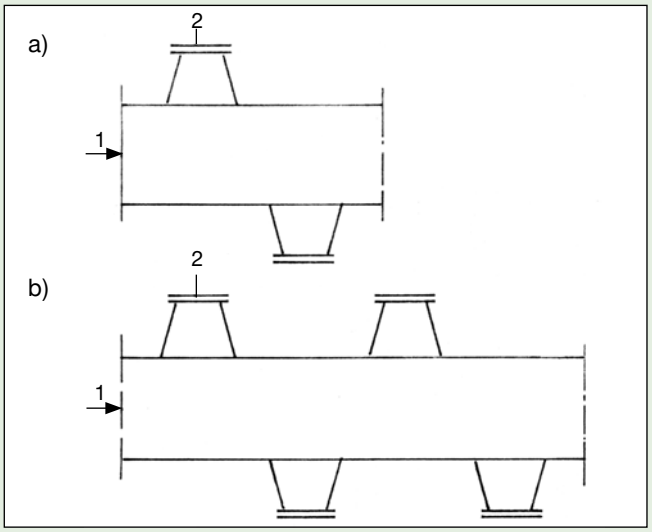
s = 0,007,

temp. = 130°C i ustalamy liczbę atomizerów o zderzających się strumieniach o dużym kącie rozpylenia.

Uwagi o atomizerach:

- płaszczyzna atomizera jest pozioma (patrz rys. 1c),
- para atomizerów znajdująca się na tym samym poziomie jest zwrócona przeciwko sobie i zasilana wodą amoniakalną przez oddzielną pompę dozującą.

[3)] Np. w elektrowni *Szczecin-Pomorzany* zastosowano reaktor odsiarczający o średnicy 7 m i wysokości 36 m.



Rys. 7. Usytuowane na kanale spalin atomizery o zderzających się strumieniach o dużym kącie rozpylania:
a) dwa atomizery, b) cztery atomizery

Rys. 8. Atomizer w tunelu aerodynamicznym, przekrój poprzeczny strumienia powietrza 1m x 1 m, prędkość 4 m/s

Tablela 3

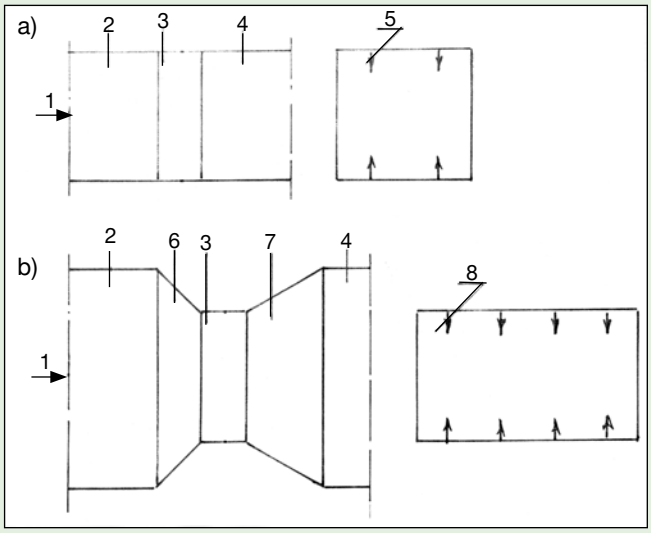
Przykłady kanału spalin z atomizerami

v m/s	Q m^3/h	B kg/h	Q_w l/h	Liczba atomizerów
4	90 000	5800	170	2
8	180 000	11 500	340	4

Elektrofiltr

Korzystamy z rysunku 9 i tabeli 4.

W pierwszej części elektrofiltra następuje staranne odpylenie, z drugiej wypada czysty siarczyn/siarczan amonu. Przyjmujemy prędkość spalin w elektrofiltrze 0,8 m/s, przez w oznaczamy prędkość w komorze nasycania spalin mgłą amoniakalną, przyjmujemy s = 0,007, temperaturę 150°C.



Rys. 9. Schemat elektrofiltra o przekroju poprzecznym:
a) 6m x 6m, b) 10m x 10m;
1 – spaliny, 2 – część pierwsza elektrofiltra,
3 – komora nasycania spalin mgłą amoniakalną,
4 – druga część elektrofiltra,
5 – atomizer pokazany na rys.1,
6 – konfuzor, 7 – dyfuzor,
8 – atomizer pokazany na rys. 3

Tablela 4

Przykłady odsiarczania w elektrofiltrze

Przekrój po-przeczny	w m/s	Q m^3/h	B kg/h	Q_w l/h	Atomizer pokazany
6m x 6m	0,8	103 700	6500	190	na rys.2 4 sztuki
10m x 10m	1,33	288 000	17 900	530	na rys.3 8 sztuk

LITERATURA

[1] Tarnogrodzki A., Pyzik J.: Nowoczesna instalacja odsiarczająca dla kotłowni węglowych. *Energetyka* 1993, nr 12, 399-401
[2] Tarnogrodzki A.: Odsiarczanie spalin mgłą amoniakalną. *Energetyka* 10/2001, 569-572
[3] Mazur M., Bardanin T., Pyzik J., Tarnogrodzki A.: Parametry techniczno-ekonomiczne instalacji odsiarczania spalin metodą amoniakalną półsuchą. Materiały Konferencja POL-EMIS, Szklarska Poręba 1998
[4] Tarnogrodzki A.: Nowe atomizery gazodynamiczne. *Nauka Innowacje-Technika* 2004, nr 1, 18-21
[5] Tarnogrodzki A.: Dynamika gazów (Przepływy jednowymiarowe i fale proste). Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2003