

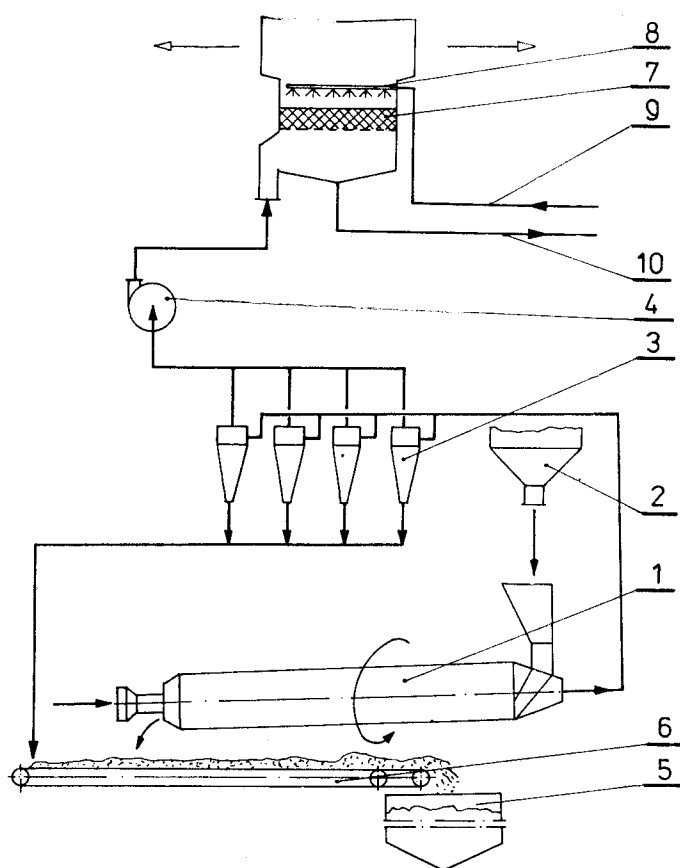
Michał Głomba

ODPYLANIE SPALIN EMITOWANYCH Z SUSZARNI KONCENTRATU FLOTACYJNEGO WĘGLA KAMIENNEGO

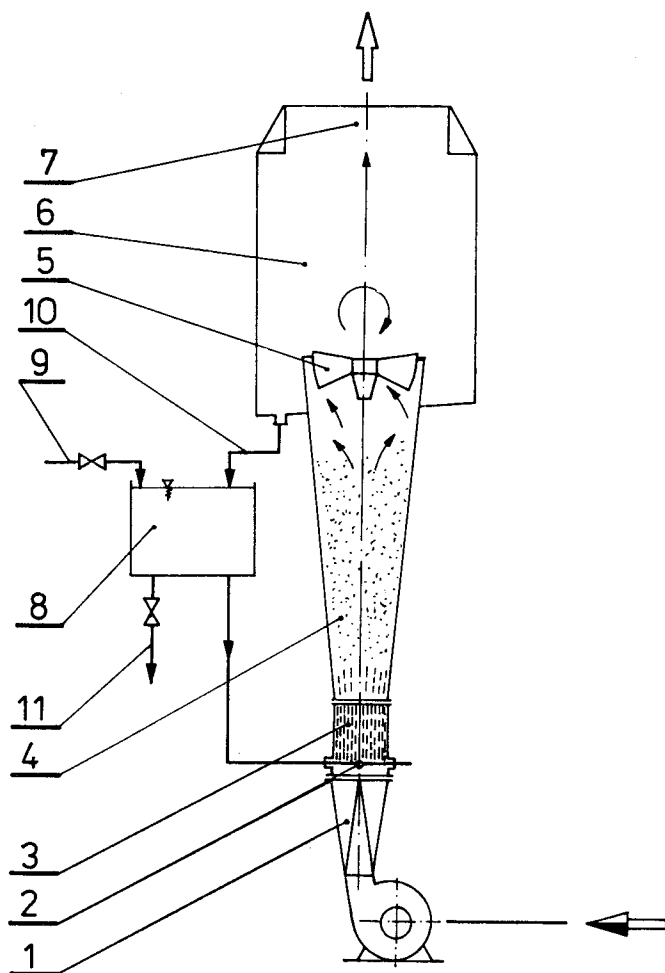
Koncentrat flotacyjny powstający w procesie wzbogacania węgla kamiennego w krajowych kopalniach często suszy się w suszarniach bębnowych. Schemat suszarni koncentratu flotacyjnego węgla przedstawiono na rysunku 1.

Dozowany do suszarki bębnowej (1) ze zbiornika pośredniego (2) mokry koncentrat flotacyjny węgla koksującego o zawartości wilgoci w zakresie $24 \div 32\%$, w wyniku kontaktowania się ze spalinami, ulega suszeniu do osiągnięcia zawartości wilgoci $13 \div 15\%$. Gorące spaliny wytwarza się przez spalanie metanu w palenisku gazowym lub węgla z przerotami w rusztowym palenisku węglowym. Spaliny opuszczające suszarkę bębnową, wraz z unoszonymi

cząstkami koncentratu flotacyjnego węgla o średniej wilgotności 13% i stężeniu ponad 100 g/m^3 , poddaje się następnie dwustopniowemu odpylaniu. Pierwszy stopień odpylania w postaci baterii cyklonów (3) działa ze skutecznością w zakresie $93 \div 96\%$. Wysuszony koncentrat z suszarki bębnowej i z baterii cyklonów odprowadza się przenośnikiem taśmowym (6) do zbiornika magazynowego (5). Drugi stopień odpylania spalin może być rozwiązany na dwa sposoby. Rozwiązanie pokazane na rysunku 2 polega na odpylaniu spalin w niskociśnieniowej zwężce Venturi'ego typu Airmix. Zostało ono rozpowszechnione w kraju w oparciu o licencję zakupioną we Francji.



Rys. 1. Schemat suszarni koncentratu flotacyjnego węgla (1 — suszarka bębnowa, 2 — zbiornik koncentratu mokrego, 3 — bateria cyklonów stanowiąca I stopień odpylania spalin, 4 — wentylator promieniowy, 5 — zbiornik magazynowy koncentratu wysuszonego, 6 — przenośnik taśmowy, 7 — stacjonarna warstwa wypełnienia pierścieniowego, 8 — kolektor z rozpylaczami wirowymi, 9 — doprowadzenie wody, 10 — odprowadzenie wody z zawieszoną)



Rys. 2. II stopień odpylania spalin z suszarki koncentratu flotacyjnego węgla — odpylacz typu Airmix (1 — wentylator, 2 — dysze doprowadzające wodę, 3 — gardziel, 4 — konfuzorowa komora mieszania, 5 — odkraplacz odśrodkowy, 6 — komora odkraplania, 7 — wyrzutnia spalin, 8 — zbiornik pośredni wody, 9 — doprowadzenie wody czystej, 10 — spływ wody zanieczyszczonej z odkraplacza, 11 — odprowadzenie szlamu)

Zapylone spaliny (wstępnie oczyszczone w baterii cyklonów) o stężeniu pyłu od 4 do 9 g/m³ wentylator (1) tłoczy do zwężki Venturi'ego składającej się z dysz doprowadzających wodę (2), gardzieli (3) i konfuzorowej komory mieszania (4) zabudowanej na końcu odkraplaczem odśrodkowym (5). Odpylone spaliny wyrzutnią (7) wyprowadza się do atmosfery. Wodę do dysz, rozmieszczonych na obwodzie gardzieli, doprowadza się grawitacyjnie ze zbiornika (8), do którego doprowadza się wodę czystą (9), a jednocześnie wprowadza się wodę zanieczyszczoną z odkraplacza (10) i odprowadza zbierający się na dnie szlam (11). Skuteczność usuwania cząstek koncentratu flotacyjnego węgla w skruberze Venturi'ego, przy prawidłowej jego eksploatacji, wynosi ponad 95%. Sumaryczna skuteczność odpylania spalin dla obu stopni wynosi 99,8%.

Drugie rozwiązanie pokazano na rysunku 1. Wentylator (4) tłoczy spaliny wstępnie odpylone w baterii cyklonów (3) do wieży z poziomą warstwą wypełnienia stacjonarnego (7), usypaną z elementów pierścieniowych. Wypełnienie jest zraszane wodą, którą rozpyla się rozpylaczami (8), niestety, najczęściej o nieznanej charakterystyce hydraulicznej. Zanieczyszczoną wodę (10) z wieży odprowadza się do ogólnozakładowej sieci wody zanieczyszczonej. Po tym stopniu oczyszczenia stężenie koncentratu w spalinach zawiera się w zakresie od 1,0 do 3,5 g/m³ (średnie stężenie wynosi 2,48 g/m³), co odpowiada skuteczności odpylania od 48,6 do 83,0% (średnia skuteczność wynosi 60,4%). Z uwagi na tak niską skuteczność odpylania spalin na warstwie wypełnienia usypanej z pierścieni Raschiga suszarnię poddano badaniom, których wyniki zamieszczono w niniejszej pracy.

Charakterystyka urządzeń zespołu suszarniczego

W skład badanego zespołu suszarniczego wchodzi następujące urządzenia: suszarka, wentylator z silnikiem, bateria cyklonów, wieża z wypełnieniem pierścieniowym, kolektory z rozpylaczami wody.

Charakterystyka techniczna suszarki:

- producent: Rybnickie Zakłady Naprawcze Przemysłu Węglowego,
- typ: ROW-1 (współprądowa),
- wydajność nominalna: 40 t/h,
- długość całkowita: 25 m,
- długość bębna: 13 m,
- średnica bębna: 2,62 m,
- nachylenie bębna: 0,0262 rad.,
- prędkość obrotowa: 7,5 obr/min.

Charakterystyka techniczna wentylatora:

- producent: Chełmska Fabryka Wentylatorów,
- typ: WPWs-90/1,4 AfK,
- wydajność: 61100 m³/h w warunkach normalnych,
- spręż: 5200 Pa w warunkach normalnych,
- prędkość obrotowa wirnika: 1470 obr/min,
- moc silnika: 125 kW,

Charakterystyka techniczna baterii cyklonów:

- producent: PENPW Chorzów,
- typ: OBW8-1100/530,
- liczba cyklonów w baterii: 8 szt.,
- średnica części cylindrycznej: 1,1 m,
- nomin. natężenie przepływu spalin: 66 000 m³/h,
- straty ciśnienia spalin: 647 Pa.

Charakterystyka techniczna wieży z wypełnieniem pierścieniowym:

- powierzchnia przekroju przepływowego: 22,6 m²,
- prędkość spalin w przekroju przepływowym: 0,87÷1,04 m/s,
- grubość warstwy wypełnienia: 0,3 m,
- rodzaj wypełnienia: ceramiczne pierścienie Raschiga, o wymiarach 50×50×5 mm,
- gęstość zraszania wodą: 1,26 m³/m²h.

Charakterystyka techniczna rozpylaczy:

- producent: Zakład Przeróbki Mechanicznej Węgla — Katowice,
- typ: wirowe, kątowe odlewane z brązu,
- średnica otworu wylotowego: 4 mm,
- ciśnienie robocze cieczy: 0,25 MPa,
- wydajność rozpylacza przy $\Delta p = 0,25$ MPa: 345 dm³/h,
- kąt rozpylania cieczy: 120° (2,09 rad.),
- profil strugi rozpylonej cieczy: pusty stożek,
- liczba rozpylaczy w wieży: 70 szt.

Badania parametrów zespołu suszarniczego

Badania przeprowadzono podczas ciągłej eksploatacji wszystkich urządzeń wchodzących w skład zespołu. Wydajność suszarki odczytywano z przyrządów pomiarowych zainstalowanych w suszarni. Zawartość wilgoci w nadawie i w produkcie suszenia określano metodą wagową. Pomiary natężenia przepływu spalin w rurociągach wykonano przy pomocy rurki spiętrzającej Prandtla i mikromanometru różnicowego. Pomiary temperatury spalin wykonano termometrami rtęciowymi w obudowie metalowej. Stężenie pyłu określono metodą wagową po izokinetycznym pobraniu próbki pyłu na filtr membranowy. Gęstość zraszania warstwy wypełnienia określono poprzez odniesienie zmierzonego wodomierzem przepływu wody w rurociągu przed kolektorem z rozpylaczami, do przekroju przepływowego spalin w wieży. Analizę frakcyjną pyłu wykonano metodą mikroskopową.

Wyniki badań parametrów pracy suszarni i skuteczności odpylania spalin w baterii cyklonów przedstawiono w tabelach 1 i 2. Stwierdzono dwukrotnie

Tabela 1

Parametry pracy suszarki koncentratu węgla kamiennego

Wydajność suszarki [kg/s]	Zawartość wilgoci w koncentracie [%]		Objętościowy strumień spalin [m ³ /h w.n.]	
	w nadawie	w produkcie	przed cyklonem	za cyklonem (przed wieżą zrasz.)
22,22	26,2	12,7	57069	60341
23,61	25,6	12,8	58234	61658
22,22	28,3	15,8	56543	59476
22,22	28,4	14,7	57326	60638
23,61	25,8	13,9	56043	59205
23,61	26,2	14,2	56722	59924
23,61	26,7	19,5	56820	59719
23,61	27,1	14,2	61144	64174
23,61	27,6	16,8	55532	59070
20,83	26,3	15,0	56430	59981
20,83	26,8	12,7	57687	60450
20,83	26,2	13,2	58496	61255
20,83	28,7	12,3	56603	59223
20,83	28,0	12,4	55522	58141

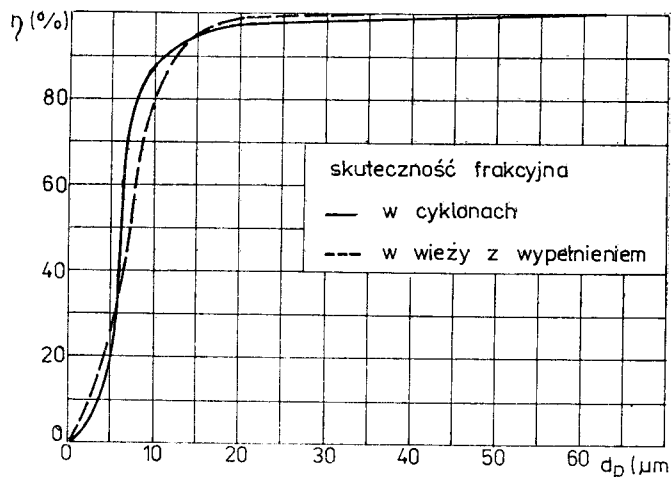
Tabela 2

Skuteczność odpylania spalin w baterii cyklonów
(przy parametrach pracy suszarki podanych w tab. 1)

Temperatura spalin [K]		Stężenie pyłu w spalinach [g/m ³ w.n.]		Skuteczność odpylania [%]
przed cyklonem	za cyklonem	przed cyklonem	za cyklonem (przed wieżą)	
373	366	119,54	5,178	95,4
376	368	139,33	5,495	95,8
368	362	121,47	6,844	94,1
366	361	128,65	6,970	94,3
377	370	144,36	8,851	93,5
373	367	131,62	8,411	93,2
353	349	87,60	5,863	93,0
368	360	128,20	8,368	93,1
377	368	124,75	6,887	94,1
373	365	109,24	6,720	93,5
373	365	115,53	4,881	95,8
376	368	118,72	5,136	95,5
373	366	109,26	3,975	96,5
373	366	98,12	4,182	95,5

większą wydajność suszarki w stosunku do wydajności nominalnej, co zostało osiągnięte dzięki zmianom konstrukcyjnym palnika gazowego i wnętrza suszarki bębnowej. Jednakże wzrost wydajności suszarki wpłynął na zwiększenie unosu suszonego w niej koncentratu i stężenia pyłu w spalinach przed cyklonami. Cyklony charakteryzują się stosunkowo wysoką skutecznością odpylania. Średnia skuteczność odpylania dla 14 pomiarów wynosiła 94,48%. Podczas pomiarów zaobserwowano zależność skuteczności działania cyklonów od zawartości wilgoci w koncentracie flotacyjnym węgla opuszczającym suszarkę. Z reguły niższe skuteczności odpylania uzyskiwano w pomiarach wykazujących mniejszą zawartość wilgoci w koncentracie wysuszonym. Zaobserwowano również zasysanie do baterii cyklonów tzw. fałszywego powietrza, które stanowiło średnio 5,11% ilości spalin zmierzzonej przed baterią cyklonów. Należy przypuszczać, że ma ono ujemny wpływ na skuteczność odpylania z tego względu, że obniża temperaturę spalin przepływających przez baterię cyklonów (średnio o 7 K).

Masowy rozkład średnich cząstek koncentratu w spalinach przed baterią cyklonów obrazuje rysunek 3, natomiast zależność frakcyjnej skuteczności od-

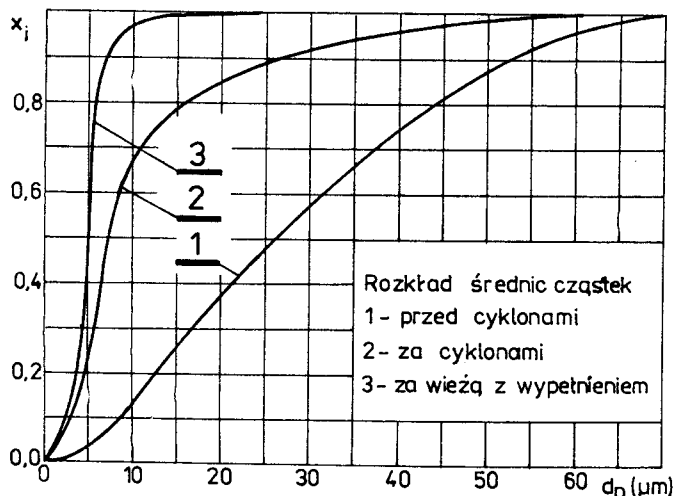


Rys. 4. Zależność frakcyjnej skuteczności odpylania od średnicy cząstek

pylania spalin w baterii cyklonów od średnicy cząstek przedstawiono na rysunku 4. Wynika z niej, że skuteczność odpylania maleje gwałtownie dla cząstek, których średnica jest mniejsza od 7,5 μm. Wynika to ze zbyt małej siły odśrodkowej, pochodnej od średnicy części cylindrycznej cyklonów.

Wyniki badań skuteczności odpylania spalin na zraszanej warstwie wypełnienia, usypanego z ceramicznych pierścieni Raschiga o wymiarach 50×50×5 mm w wieży na ruszcie poziomym, zestawiono w tabeli 3. Wynika z nich, że II stopień odpylania, z uwagi przede wszystkim na małą gęstość zraszania warstwy wypełnienia, charakteryzuje się niską skutecznością.

Przy średniej gęstości zraszania wynoszącej 1,26 m³/m²h uzyskano średnią skuteczność odpylania równą 60,4%. Rozkład średnic cząstek koncentratu flotacyjnego zawartych w spalinach ulatujących do atmosfery obrazuje krzywa 3 na rysunku 3, natomiast frakcyjną skuteczność odpylania spalin w wieży z wypełnieniem — krzywa przerywana na rysunku 4. Obie te zależności sugerują, iż zadowalająca skuteczność odpylania spalin występuje w przypadku cząstek o średnicy większej od 15 μm. Wyższe skuteczności można byłoby osiągnąć przy znacznie większych gęstościach zraszania. Potwierdziły

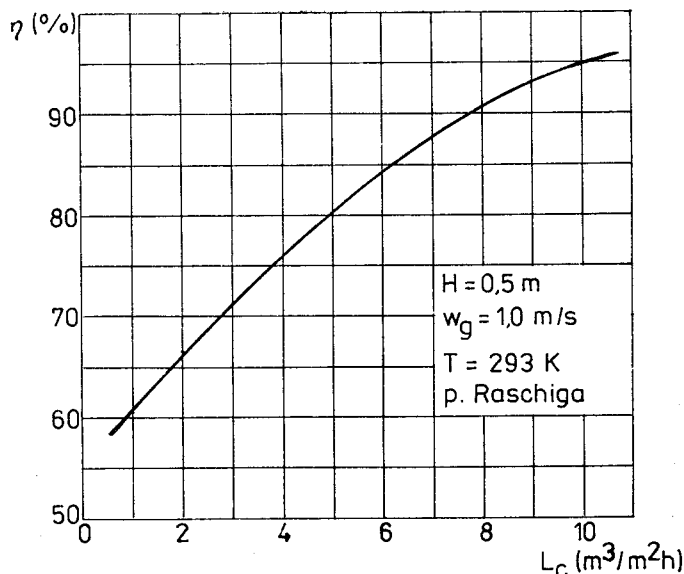


Rys. 3. Rozkład frakcyjny pyłu koncentratu flotacyjnego węgla kamiennego

Tabela 3

Skuteczność odpylania spalin z wypełnieniem pierścieniowym Raschiga

Temp. spalin za wieżą [K]	Stężenie pyłu w spalinach [g/m ³] za wieżą	Gęstość zraszania wypełn. [m ³ /m ² h]	Skuteczność odpylania [%]	Emisja pyłu [kg/h]
331	2,475	1,22	52,2	149,34
331	2,660	1,24	51,6	164,01
330	3,511	1,06	48,6	208,82
330	3,471	1,09	50,2	210,47
329	3,540	1,34	60,0	209,59
330	3,423	1,32	59,3	205,12
327	0,997	1,44	83,0	59,54
330	2,560	1,47	69,4	164,29
331	2,596	1,24	62,3	153,35
331	2,412	1,26	64,1	144,67
331	2,079	1,15	57,4	125,68
331	2,157	1,18	58,0	132,13
334	1,503	1,33	62,2	89,03
334	1,351	1,34	67,7	78,55



Rys. 5. Zależność skuteczności odpylania od gęstości zraszania warstwy wypełnienia (warunki laboratoryjne)

to badania przeprowadzone w skali wielokolaboratoryjnej na warstwie wypełnienia o wysokości 0,5 m przy prędkości spalin 1,0 m/s. Przebieg zmienności skuteczności odpylania dla rzeczywistych pyłów pobranych za baterią cyklonów od gęstości zraszania przedstawiono na rysunku 5.

Zadowalające skuteczności odpylania (ok. 95%) uzyskano przy gęstości zraszania powyżej $10 m^3/m^2h$. Jednakże nawet wtedy można było zaobserwować odkładanie się cząstek pyłu na powierzchni wypełnienia. A zatem, nawet przy gęstości zraszania $10 m^3/m^2h$ nie zachodzi całkowite pokrycie wypełnienia cieczą.

Stopień zwilżania powierzchni wypełnienia wyznaczono w oparciu o zastępczą grubość warstwy cieczy spływającej po wypełnieniu [1] oraz wykorzystując zależność między powierzchnią zwilżoną a gęstością zraszania [2]:

$$\varphi = \frac{\sqrt[3]{a}}{f(L_c)} \quad (1)$$

gdzie:

a — powierzchnia właściwa wypełnienia, m^2/m^3 ,

$$f(L_c) = \frac{c}{s^*} \sqrt[3]{L_c} \quad (2)$$

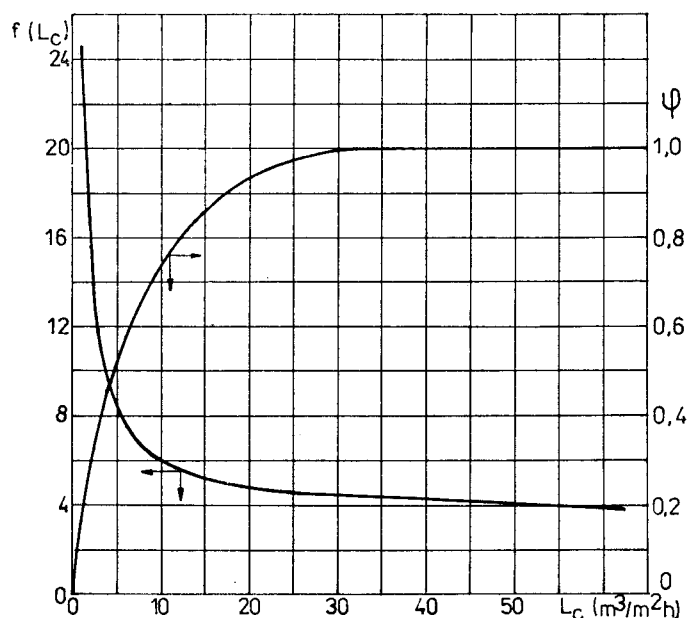
c — stała doświadczalna,

L_c — gęstość zraszania, m^3/m^2h ,

s^* — zastępcza grubość warstwy cieczy na wypełnieniu, m.

Wartości funkcji $f(L_c)$ dla różnych gęstości zraszania oraz zależność stopnia zwilżania powierzchni wypełnienia Raschiga od gęstości zraszania wodą przedstawiono na rysunku 6.

Całkowite pokrycie powierzchni wypełnienia wodą osiąga się przy gęstości zraszania $30 m^3/m^2h$. Tak wysoka gęstość zraszania w warunkach eksploatacji II stopnia odpylania spalin suszarniczych z różnych względów technicznych jest nieosiągalna. Realnie osiąga się gęstości zraszania zestawione w tabeli 3, co przy powierzchni właściwej ceramicznych pierścieni



Rys. 6. Wartości funkcji $f(L_c)$ dla ceramicznych pierścieni Raschiga oraz zależność stopnia zwilżania powierzchni wypełnienia Raschiga od gęstości zraszania wodą

cieni Raschiga o wymiarach $50 \times 50 \times 5$ mm wynoszącej $110 m^2/m^3$ i jej szorstkości, zapewnia zwilżenie ich powierzchni w $18 \div 23\%$.

Wnioski

1. Skuteczność odpylania spalin w I stopniu instalacji można znacznie zwiększyć przez zmianę istniejących cyklonów na cyklony o średnicy części cylindrycznej $400 \div 600$ mm.
2. Wpływ na skuteczność odpylania spalin w baterii cyklonów ma hermetyzacja rurociągów spalinowych i samej baterii cyklonów.
3. Niska skuteczność odpylania spalin w II stopniu instalacji jest skutkiem bardzo małych gęstości zraszania warstwy wypełnienia wodą.
4. Bezwzględnie należy wymienić pierścienie Raschiga na elementy wypełnienia charakteryzujące się dużą powierzchnią właściwą, dużą porowatością i małą masą jednostkową.
5. Celowa jest zmiana przepływu przeciwprądowego fazy ciekłej i gazowej na przepływ krzyżowy, co pozwoli znacznie zwiększyć gęstość zraszania warstwy wypełnienia, a dzięki temu zwiększyć również skuteczność odpylania spalin w II stopniu instalacji.

LITERATURA

1. N. M. ŻAWORONKOW: Gidrawliczeskije osnovy skrubbiernogo procieśsa i tiepłopieriedacza w skrubierach. Sowietskaja Nauka, Moskwa 1944.
2. W. M. RAMM: Tiepłobmiennye apparaty. Goschimizdat, Moskwa 1948.

TREATMENT OF FLUE GASES FROM THE DRYING ROOM FOR HARD-COAL FLOATATION CONCENTRATE

Dust separation from the flue gas stream proceeds via a two-stage process. In this paper consideration was given to the collecting efficiencies obtained in the cyclone battery and in a sprayed tower with ring packing. A method of increasing the removal efficiency at the second stage of the separation process has been proposed.