

JANUSZ KRAWCZYK¹, OLEG CZAGIN², IRINA POSTNIKOVA

ZMIANA SKUTECZNOŚCI ODPYLANIA PRZY UDERZENIU AEROZOLU O POWIERZCHNIĘ CIECZY

CHANGES IN THE DUST CAPTURE DURING THE IMPACT AEROSOL OF THE LIQUID SURFACE

Streszczenie

W pracy przedstawiono zmiany w skuteczności chwilowej oraz skuteczności skumulowanej odpylania w warunkach całkowitej recyrkulacji cieczy odpylającej. W badaniach zastosowano dwa pyły testowe tj. pył talku i blendy tytanowej o różnej dynamicznej zwilżalności i składzie frakcyjnym. Wyniki badań porównano z wynikami obliczeń z korelacji będącej modelem matematycznym procesu.

Słowa kluczowe: ogólna skuteczność odpylania, mokre odpylanie gazu, uderzenie w lustro cieczy

Abstract

The paper presents the changes in the instantaneous efficiency and effectiveness of dust separation in complete dust extraction liquid recirculation. The study used two dust tests as dust, talc and titanium dioxide blend of various dynamic wettability and fractional composition. The test results were compared with the calculations results of correlation which is a mathematical modal of the process.

Keywords: overall dust capture efficiency, gas scrubbing, shock chamber, impact of the liquid surface

¹ Dr hab. inż. Janusz Krawczyk, prof. PK, Politechnika Krakowska.

² К.т.н., доцент Олег Вячеславович Чагин, к.т.н., доцент Ирина Викторовна Постникова, Ивановский государственный химико-технологический университет.

1. Wstęp

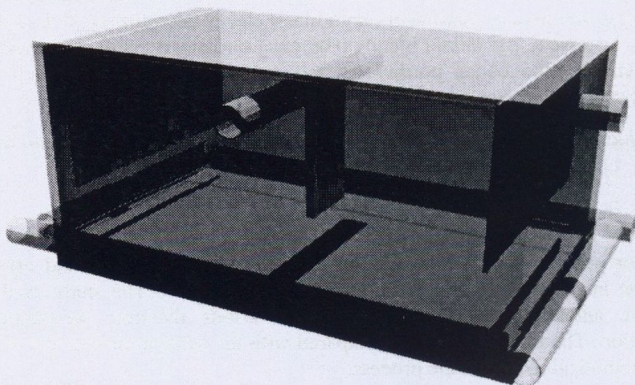
W warunkach pełnej recyrkulacji cieczy w mokrych urządzeniach odpylających rośnie stężenie ciała stałego w cieczy. W tych warunkach możliwe jest stopniowe zmniejszenie ich skuteczności odpylania. Efekt ten zależy od własności fizykochemicznych pyłu, energii kinetycznej cząstek pyłu, ale również od rodzaju aparatu a szczególnie sposobu kontaktu fazy ciekłej i gazowej.

Wobec potwierdzonego wcześniej [1, 2, 3, 4, 5] efektu obniżenia skuteczności odpylania w strefie kropłowo-bryzgowej, barbożowej i podczas uderzenia o warstwę cieczy podjęto dalsze badania mające za zadanie opis i ujęcie ilościowe zjawiska. W tym celu zaprojektowano wybudowano stanowisko badawcze umożliwiające analizę zmian skuteczności odpylania w czasie eksploatacji aparatu.

Istotną część stanowiska stanowiła komora odpylająca z krzyżowym przepływem zawiesziny w stosunku do uderzającego o powierzchnię cieczy strumienia zapyłonego gazu. Na stanowisku przeprowadzono serię badań w warunkach zmiennej prędkości wypływu zapyłonego powietrza uderzającego w powierzchnię cieczy oraz ustalonego dozowania pyłu do układu. Wyniki badań przedstawiono poniżej w formie wykresów.

2. Laboratoryjne stanowisko badawcze komory uderzeniowej

Na rysunku 1 przedstawiono widok komory uderzeniowej. Komorę wykonano z materiału przezroczystego w celu wizualizacji przebiegu procesu.



Rys. 1. Widok komory uderzeniowej

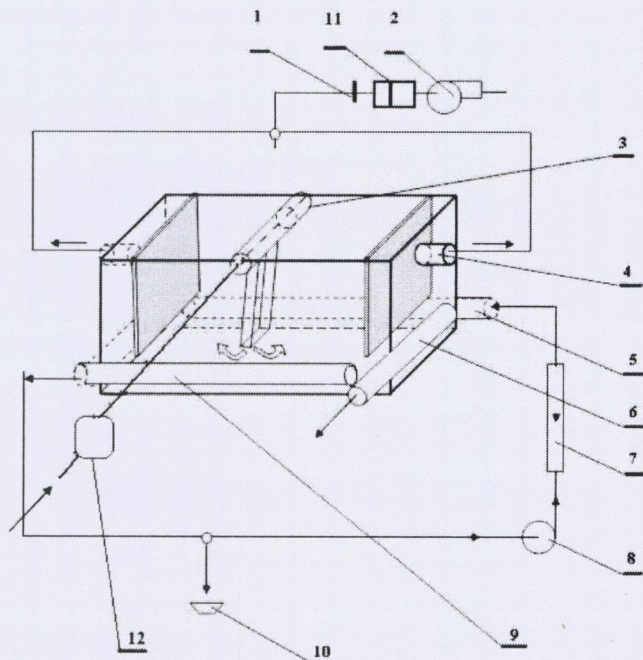
Fig. 1. View of the shock chamber

Schemat ideowy stanowiska przedstawiono na rysunku 2.

Aerazol doprowadzany do komory dyszą (3), uderzał w lustro cieczy z prędkością regulowaną w granicach $10 \div 30$ m/s. W komorze zapewniono możliwość ciągłego przepływu cieczy w komorze, krzyżowo w stosunku do kierunku aerolu dzięki zamontowaniu kolektorów doprowadzających i odprowadzających zawiesinę (5), (6), (9).

3. Metodyka badań

Do rurociągu wlotowego, za pomocą laboratoryjnego dozownika (12) doprowadzono pył, doprowadzając w przypadku przepływu gazu do powstania testowego układu aerolowego. W celu zapewnienia równomierności i wymaganej dokładności dozowania pyłu zastosowano ślimakowe urządzenie dozujące. Dzięki zastosowaniu bezstopniowej regulacji prędkości obrotowej wału dozownika otrzymano odpowiednie dozowanie pyłu, pokrywając tym samym wymagany zakres zmian masy pyłu potrzebnej do uzyskaniażądanego stężenia zapylenia.



Rys. 2. Schemat aparatu do badania procesu odpylenia przy uderzeniu strumienia napyłonego gazu o powierzchnię cieczy

- 1 – kryza kwadrantowa, 2 – wentylator, 3 – dysza wprowadzająca aerol, 4 – wylot, 5 – rezerwowy kolektor odprowadzający zawiesinę, 6 – kolektor doprowadzający zawiesinę, 7 – rotametr, 8 – pompa, 9 – rezerwowy kolektor odprowadzający zawiesinę, 10 – miejsce poboru próbek zawiesiny, 11 – filtr powietrza, 12 – dozownik pyłu

Fig. 2. Schematic diagram of the gas-to-liquid impact scrubbing test stand

W celu zwiększenia dokładności i powtarzalności pomiarów pył wychodzący z komory w całości wylapywano na papierowe, standaryzowane filtry (11). Wszystkie stosowane w badaniach worki filtracyjne miały niemal identyczną masę, co gwarantowało zbliżoną możliwość wychwytywania pyłu. Worki ważono z dokładnością do 0,01 grama. Przy znajomości ilości pyłu dozowanego można wyliczyć skuteczność chwilową urządzenia.

4. Model fizyczny i matematyczny badanego zjawiska

Jak wynika z literatury, do powierzchni cieczy zmierza więcej cząstek niż jest ich potrzebnych do całkowitego pokrycia jej powierzchni. W przypadku cząstek niezwiłzalnych nie są one wchłaniane w głąb cieczy. Można przypuszczać, że w takich warunkach cząstki pyłu o małej energii kinetycznej mogą odbijać się od cząstek już osadzonych.

W warunkach dużego stężenia zawiesiny w cieczy tworzą się łańcuchy cząstek, które z łatwością odbijają cząstki o małej energii.

Jeżeli cząstka ma wystarczającą energię, aby wniknąć do środka, rozbija tworzące się struktury wewnętrzne pokonując również siły oporu ośrodka. Powyższe może uzasadniać zjawisko zmiany skuteczności odpylania w miarę wzrostu stężenia zawiesiny oraz zmianę skuteczności wraz ze wzrostem energii kinetycznej cząstek pyłu, związanej ze wzrostem prędkości przepływu aerolu.

Model matematyczny procesu zmniejszenia w czasie eksploatacji masy zatrzymywanej pyłu w zawieszynie można zapisać w postaci:

$$\dot{m}_z = \dot{m}_d - \dot{m}_w \quad (1)$$

\dot{m}_z – zmiana masy pyłu zatrzymanego w czasie, zmiana masy osadu w czasie,

\dot{m}_d – zmiana masy pyłu doprowadzonego w czasie, zmiana masy cząstek osadzonych,

\dot{m}_w – zmiana masy pyłu emitowanego w czasie, usuwanego z osadu,

który po przekształceniach przyjmuje końcową postać:

$$m_z = A \cdot u^D [1 - \exp(-B \cdot u^{2-C} \cdot m_d)] \quad (2)$$

m_d – skumulowana masa doprowadzonego pyłu, wprost proporcjonalna do czasu eksploatacji.

Chwilową skuteczność odpylania obliczono jako:

$$\eta_{\text{chwilowa}} = \frac{m_z}{m_d} = 1 - \frac{m_w}{m_d} \quad (3)$$

a skuteczność skumulowaną jako:

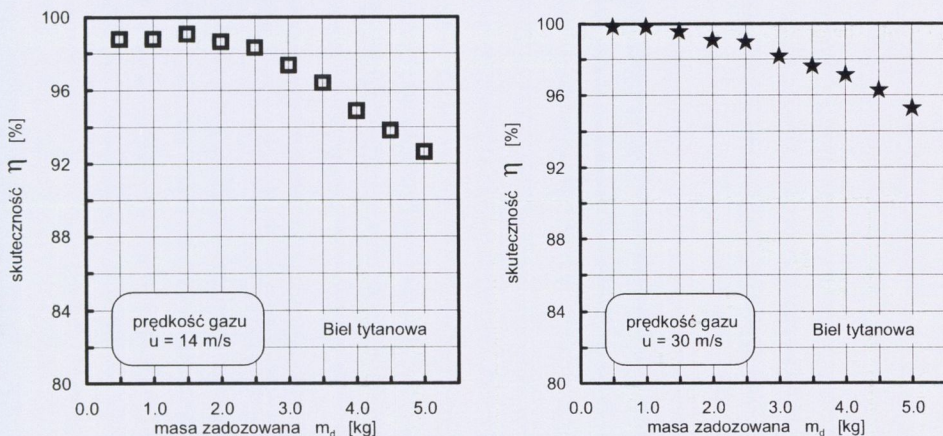
$$\eta_{skumulowana} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n m_{wi}}{\sum_{i=1}^n m_{di}} \quad (4)$$

5. Wyniki badań i obliczeń

Poniżej na rys. 3 oraz rys. 5 przedstawiono wyniki badań zależności skuteczności skumulowanej od masy dostarczonej pyłu bieli tytanowej oraz talku.

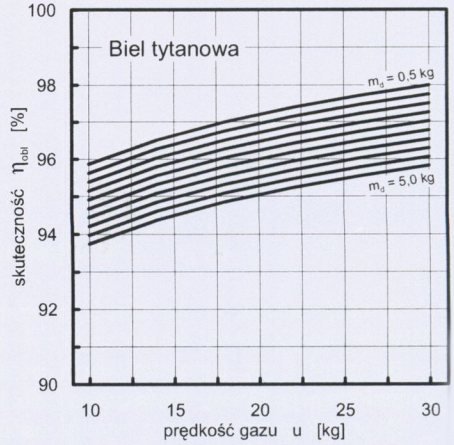
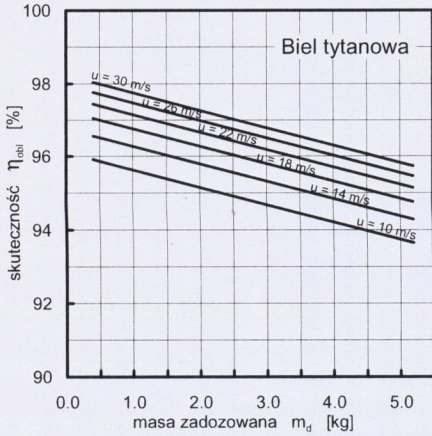
Na rys. 4 i rys. 6 przedstawiono wyznaczone z korelacji (2) zależności skuteczności skumulowanej od masy dostarczonej pyłu bieli tytanowej oraz talku.

Na rys. 7 przedstawiono wyniki badań zależności skuteczności chwilowej od masy dostarczonej pyłu bieli tytanowej.



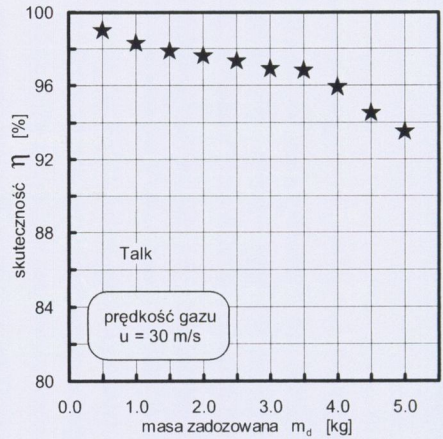
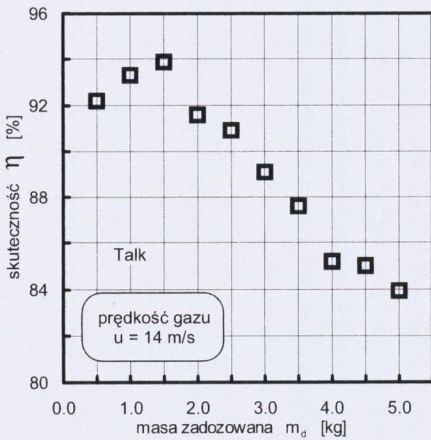
Rys. 3. Zależność skuteczności skumulowanej od masy dostarczonej dla bieli tytanowej

Fig. 3. The results of effectiveness depending on the weight of accumulated dust provided titanium dioxide



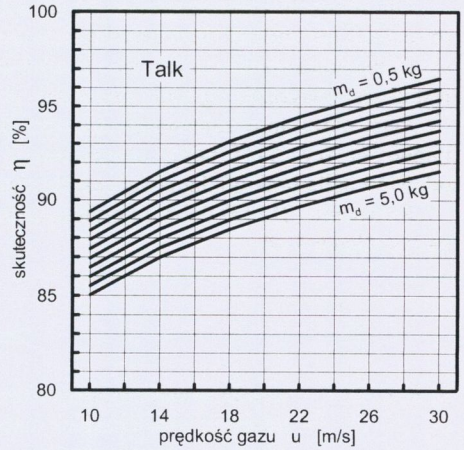
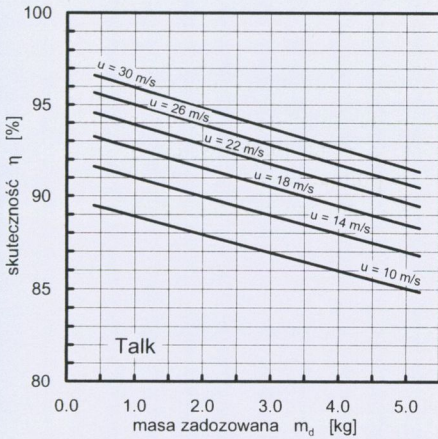
Rys. 4. Zależność skuteczności skumulowanej od masy dostarczonej dla bieli tytanowej wyznaczone na podstawie korelacji

Fig. 4. The correlation (2) dependence of the effectiveness of the accumulated dust provided from the mass titanium dioxide



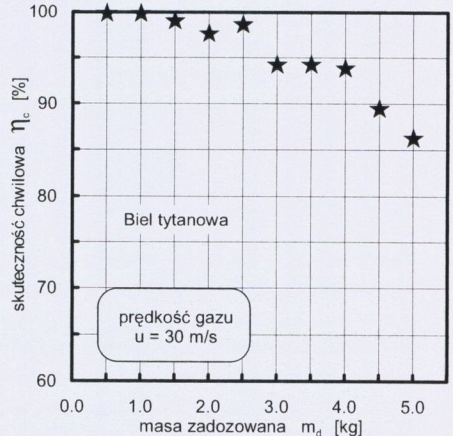
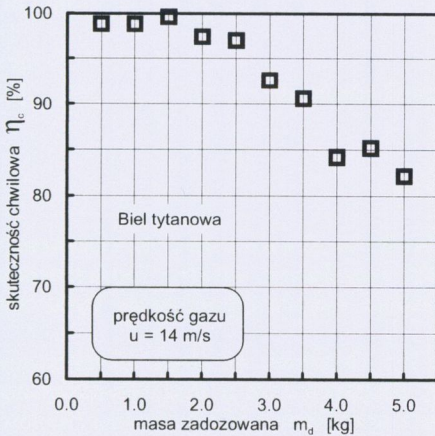
Rys. 5. Zależność skuteczności skumulowanej od dostarczonej masy pyłu talku

Fig. 5. The results of effectiveness depending on the weight provided of accumulated dust talc



Rys. 6. Zależność skuteczności skumulowanej od masy dostarczonej pyłu talku wyznaczone z korelacji

Fig. 6. Correlations dependence of the effectiveness of the accumulated dust provided from the talc



Rys. 7. Zależność skuteczności chwilowej od masy dostarczonej dla bieli tytanowej

Fig. 7. The results of the instantaneous efficiency from supplied dust titanium dioxide

6. Omówienie wyników badań

Na rysunkach 3 i 5 przedstawiono przykładowe zależności skuteczności skumulowanej od masy dostarczonej pyłu bieli tytanowej i talku dla prędkości wypływu aerozolu z dyszy równej odpowiednio 10 i 30 m/s.

Dla różnych, stosowanych w badaniach prędkości, w początkowym zakresie pracy nie obserwuje się zmiany skuteczności skumulowanej w czasie. Po przekroczeniu tego zakresu, skuteczność zaczyna spadać, lecz spadek ten nie jest gwałtowny. W związku z tym trudno jest określić wyraźne stężenie graniczne, po przekroczeniu którego skuteczność maleje.

Przy określaniu zależności skuteczności chwilowej od masy dostarczonej pyłu bieli tytanowej (rys. 7) i talku obserwowano wyraźny rozrzut punktów pomiarowych, co odzwierciedla brak dokładności zastosowanej metody pomiarowej.

Równania (2) i (3) dobrze korelują dane doświadczalne, co obrazują przebiegi pokazane na rysunkach 4 i 6.

Oznaczenia

A, B, C, D	– współczynniki regresji równania (2)	[–]
c	– udział masowy cząstek ciała stałego w zawieszinie	[kg/kg]
m_z	– masa pyłu zatrzymanego	[kg]
m_d	– masa pyłu zadozowanego do układu	[kg]
\dot{m}_z	– zmiana masy pyłu zatrzymanego w czasie	[kg/s]
\dot{m}_d	– zmiana masy pyłu doprowadzonego w czasie	[kg/s]
\dot{m}_w	– zmiana masy pyłu emitowanego w czasie	[kg/s]
S_w	– stężenia zapylenia	[kg/ m ³]
t	– czas	[s]
u	– prędkość liniowa	[m/s]
η	– skumulowana i chwilowa skuteczność odpylania	[%]

Literatura

- [1] Krawczyk J., Maszek L., Mieszkowski A., Блиничев В.: *Odpylanie w strefie kropłowej w warunkach całkowitej recyrkulacji cieczy*, Теоретические и экспериментальные основы создания новых высокоэффективных процессов и оборудования, Iwanowo 2005, 40-45.
- [2] Krawczyk J., Maszek L., Wisła H.: *Odpylanie w strefie barbotażowej w warunkach całkowitej recyrkulacji cieczy*, Теоретические и экспериментальные основы создания новых высокоэффективных процессов и оборудования Iwanowo 2005, 46-52.
- [3] Krawczyk J., Roszak Z., Wisła H.: *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 45, (2006), 99-101.
- [4] Krawczyk J., Roszak Z., Wisła H.: *Odpylanie mokre w warunkach całkowitej recyrkulacji cieczy*, Международная научная конференция Теоретические основы создания, оптимизации и управления энерго- и ресурсосберегающими процессами и оборудованием, Iwanowo 2007, 130-139.
- [5] Krawczyk J., Maszek L., Mieszkowski A., Roszak Z.: *Czasopismo Techniczne*, z.2-M, (2008), 143-145.