

Mieczysław ROCZNIK

Instytut Fizyki Politechniki Śląskiej

MOŻLIWOŚCI ZAPEWNIENIA W WARUNKACH PRZEMYSŁOWYCH
STAŁYCH EFEKTÓW AKUSTYCZNEJ KOAGULACJI AEROSZU
PRZY ZMIANACH JEGO STĘŻENIA

Streszczenie. Doświadczalne badanie zjawiska akustycznej koagulacji aeroszoli wykazało, że bardzo duże natężenie fali akustycznej powoduje rozdrabnianie największych cząstek aeroszoli, chociaż dla nieco mniejszych natężeń można było zaobserwować zjawisko koagulacji. Graniczne natężenia fali akustycznej, dla których występuje dyspersja silnie zależą od jej częstotliwości.

W pracy tej postawiono i uzasadniono hipotezę, że przyczyną rozdrobnienia cząstek jest za duża energia ich zderzeń. Rozważania są prowadzone w oparciu o wyniki pomiarów przedstawionych na wykresach.

1. Wstęp

W przypadku przemysłowego zastosowania akustycznej metody koagulacji aeroszoli można spotkać się z problemem zmian sprawności koagulacji pod wpływem zmian stężenia aeroszoli. Jak wiadomo [1], stałą sprawność koagulacji w takim przypadku można byłoby osiągnąć odpowiednimi zmianami czasu koagulacji lub natężenia fali akustycznej. O ile jednak zmiana czasu koagulacji jest trudna do osiągnięcia w warunkach przemysłowych, gdyż wymaga w trakcie koagulacji zmiany długości lub średnicy rury koagulacyjnej lub zmiany prędkości aeroszoli, czyli zmiany ilości odpylanego aeroszoli, o tyle technicznie możliwe jest skorelowanie zmian natężenia fali akustycznej ze zmianami stężenia aeroszoli. Obecnie w oparciu o przedstawione w pracy [2] wyniki pomiarów efektów akustycznej koagulacji aeroszoli powstałego z rozpylenia w powietrzu pyłu mączki bitumicznej rozpatrzona zostanie możliwość zapewnienia stałych efektów akustycznej koagulacji aeroszoli przy zmianach jego stężenia drogą odpowiedniego dobierania natężenia fali akustycznej.

2. Rozważania teoretyczne

Teoretyczny związek stężenia aeroszoli i natężenia fali akustycznej wymaganej do zapewnienia stałych efektów koagulacji podany został w statystyczno-bezwiadnościowej teorii koagulacji [3].

W teorii tej autor wysuwa hipotezę, że koagulacja akustyczna może odbywać się jedynie w aerozolu polidypersyjnym. Wówczas na cząstkach stosunkowo dużych (zarodkach koagulacji) o: adają cząstki małe, jeżeli znajdą się w odległości pozwalającej na os: nięcie cząstki dużej w trakcie przebiegu amplitudy drgań.

W teorii tej autor zakłada, że prawdopodobieństwo zajścia elementarnego aktu koagulacji zależy od stosunku amplitudy A drgań cząstki porywanej przez ośrodek w ruch drgający, do średniej odległości l_0 między cząstkami aerozolu, a więc od

$$\psi = \frac{A}{l_0} \quad (1)$$

Ponieważ amplitudę drgań cząstki w przypadku propagacji fali płaskiej określa wzór:

$$A = \frac{\mu}{\omega} \sqrt{\frac{2I}{\rho c}}, \quad (2)$$

a średnią odległość między cząstkami aerozolu wzór:

$$l_0 = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{3s}{4\pi\rho_p}} \quad (3)$$

więc:

$$\psi = \frac{\mu_p}{r\omega} \sqrt{\frac{2I}{\rho c}} \cdot \sqrt[3]{\frac{3s}{4\pi\rho_p}} \quad (4)$$

gdzie:

μ_p - współczynnik porywu cząstki przez ośrodek gazowy,

r - promień cząstki,

ω - $2\pi f$,

f - częstotliwość fali akustycznej,

I - natężenie fali akustycznej,

ρc - impedancja akustyczna ośrodka, w którym zachodzi propagacja fali akustycznej,

s - stężenie aerozolu,

ρ_p - gęstość pyłu.

Za autorem tej teorii zakładamy, że z warunku:

$$\psi = \text{const} \implies \eta_a = \text{const}, \quad (5)$$

gdzie η_a - sprawność koagulacji.

W przypadku danego aerozolu i po ustaleniu częstotliwości fali akustycznej warunek $\psi = \text{const}$ będzie spełniony, gdy

$$\sqrt{\frac{I}{\rho c}} \cdot \sqrt[3]{S} = \text{const} \quad (6)$$

Należałoby oczekiwać, że oporność falowa ρc fali płaskiej zmienia się wraz ze zmianą stężenia aerozolu s . Chcąc oszacować wielkość tych zmian zakładamy, że wszystkie cząstki aerozolu wykonują ruch drgający wraz z ośrodkiem gazowym. Wówczas wg [4] i [1] można napisać:

$$C = C_g - \frac{1}{2} C_g \frac{S}{\rho_g} \left(1 + \frac{C_{vp} R_g}{C_{vg} C_{pg}} \right) \quad (7)$$

gdzie:

- c - prędkość propagacji fali akustycznej w aerozolu,
- C_g - prędkość propagacji fali akustycznej w czystym ośrodku gazowym,
- S - stężenie aerozolu,
- ρ_g - gęstość ośrodka gazowego,
- C_{vp} - ciepło molowe pyłu,
- C_{vg} - ciepło molowe gazu przy stałej objętości,
- C_{pg} - ciepło molowe gazu przy stałym ciśnieniu,
- R_g - stała gazowa.

Gęstość aerozolu ρ określić w tym przypadku można wzorem:

$$\rho = \rho_g + S \quad (8)$$

gdzie:

- ρ_g - gęstość ośrodka gazowego,
- S - stężenie aerozolu.

Wówczas ze wzorów (7) i (8) mamy:

$$\frac{\rho c}{\rho_g C_g} = 1 + \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \frac{C_{vp} R_g}{C_{vg} C_{pg}} \right) \frac{S}{\rho_g} - \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \frac{C_{vp} R_g}{C_{vg} C_{pg}} \right) \frac{S^2}{\rho_g^2} \quad (9)$$

Ponieważ w praktyce zawsze $R_g < C_{pg}$, $s \ll \rho_g$, czyli można przyjąć:

$$\frac{\rho c}{\rho_g C_g} = 1 \quad (10)$$

Przykładowo, w przypadku aerozolu utworzonego przez rozpylenie w powietrzu pyłu mączki bitumicznej badanego w pracy [2], przy jego stężeniu $s < 50 \text{ g/m}^3$, przyjęcie zależności (10) w miejsce wzoru (9) nie powoduje błędów większego od 2%.

Rezygnując więc z uwzględnienia zmiany impedancji akustycznej ρc ośrodka ze wzrostem stężenia zamiast (6) można napisać:

$$\sqrt{I} \sqrt[3]{S} = \text{const} \quad (11)$$

Jest to warunek, jaki musi być spełniony, aby stała była funkcja ψ określona wzorem (4), czyli zgodnie z warunkiem (5) stałe efekty koagulacji. Związek natężenia fali akustycznej I ze stężeniem aerozolu S przy stałych efektach koagulacji można przedstawić wzorem:

$$I = \frac{a}{S^{2/3}}, \quad (12)$$

gdzie a jest wartością stałą.

Widać więc, że zależność stężenia aerozolu od natężenia fali akustycznej wymaganego przy stałych efektach koagulacji, przedstawiona graficznie na papierze o skali logarytmicznej, daje linię prostą.

3. Przedstawienie wyników pomiarów

Do weryfikacji doświadczalnej wzoru (12) wykorzystane zostaną wyniki pomiarów efektów akustycznej koagulacji rozpylonej w powietrzu mączki bitumicznej, przedstawionych i omówionych w pracy [2]. W oparciu o te wyniki pomiarów sporządzone są wykresy przedstawione na rysunkach 1-4. Podają one dla poszczególnych częstotliwości fali akustycznej i stężeń aerozolu zależności efektów koagulacji od średniego natężenia fali akustycznej w kolumnie koagulacyjnej. Z wykresów tych widzimy, że praktycznie niezależnie od stężenia aerozolu, a natomiast wyraźnie w zależności od częstotliwości fali akustycznej istnieje określona wartość natężenia fali akustycznej, dla której osiągnięta jest najwyższa sprawność koagulacji. Orientacyjne wartości tych natężeń oznaczone przez I_1 podane są w tabeli 1.

Tabela 1

$f = 1630 \text{ Hz}$	$I_1 = 180 \text{ W/m}^2$	$I_2 = 70 \text{ W/m}^2$
$f = 2460 \text{ Hz}$	$I_1 = 400 \text{ W/m}^2$	$I_2 = 120 \text{ W/m}^2$
$f = 3700 \text{ Hz}$	$I_1 = 800 \text{ W/m}^2$	$I_2 = 250 \text{ W/m}^2$
$f = 4900 \text{ Hz}$	$I_1 = 1200 \text{ W/m}^2$	$I_2 = 350 \text{ W/m}^2$

gdzie:

I_1 - natężenie fali akustycznej, dla której stwierdzono najsilniejsze efekty akustycznej koagulacji aerozolu powstałego z pyłu mączki bitumicznej,

I_2 - progowe natężenie fali akustycznej, przy którym obok zjawiska koagulacji występuje dyspergowanie cząstek przy ich zderzeniach.

Na podstawie rysunków 1-4 sporządzone zostały rysunki 5-8, na których wykresy przedstawiają zależność natężenia fali akustycznej wymaganego do

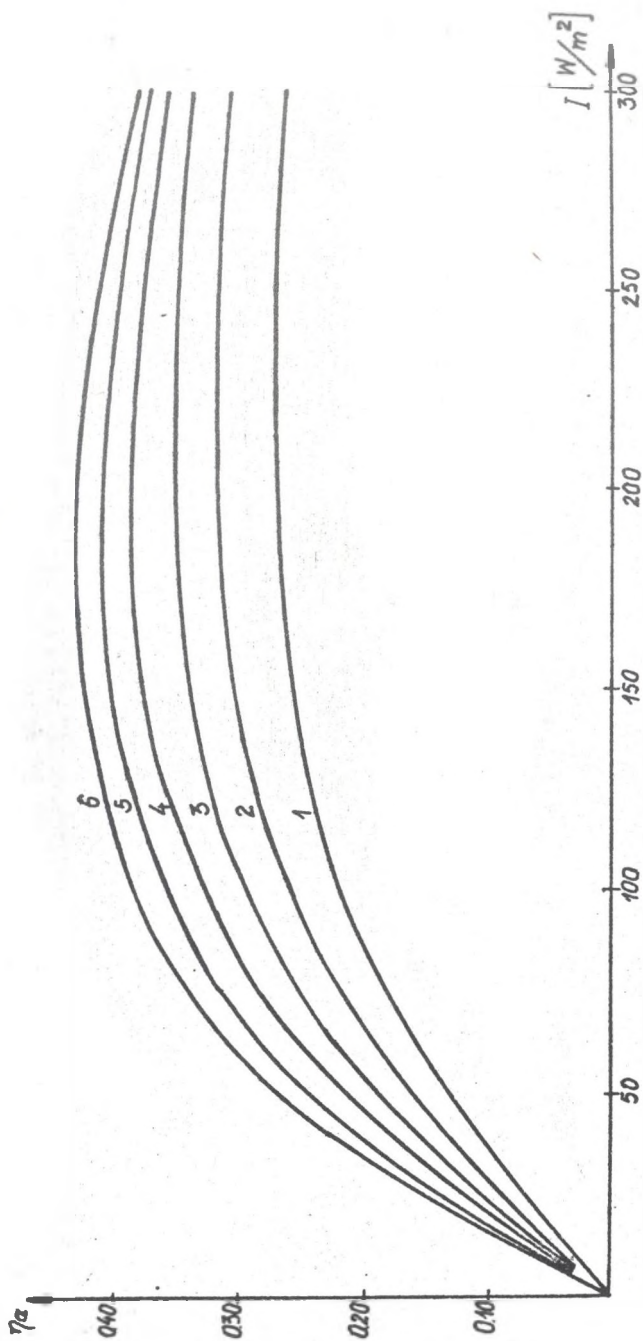
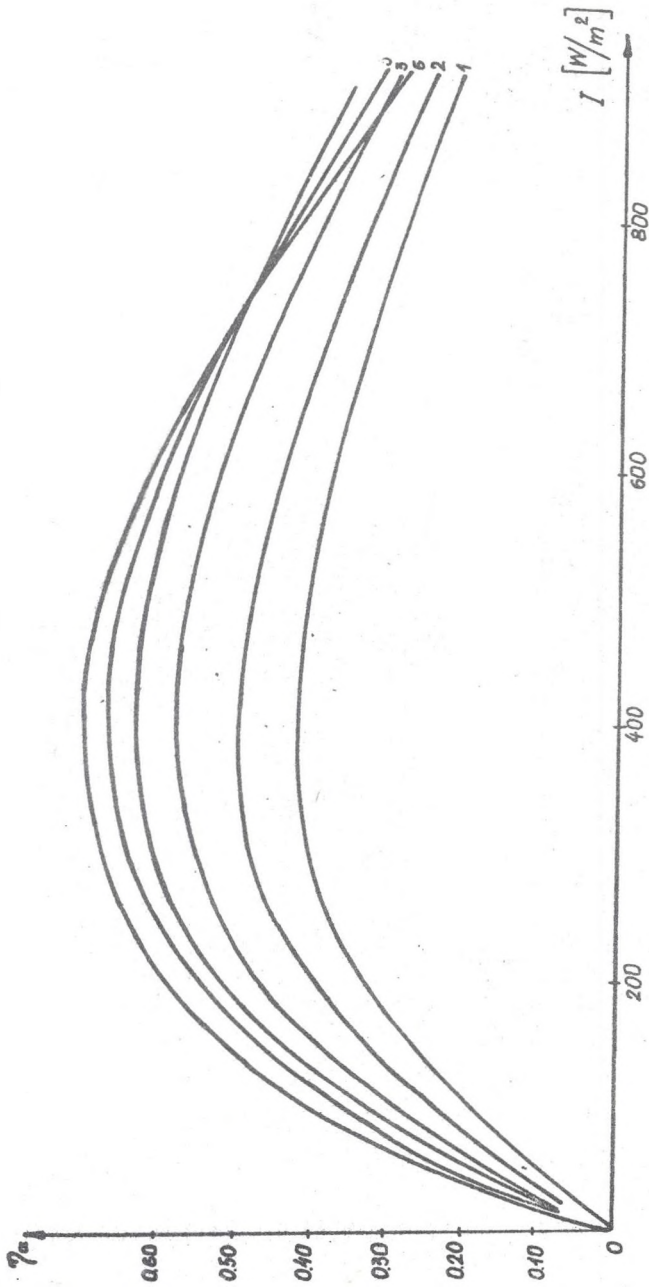
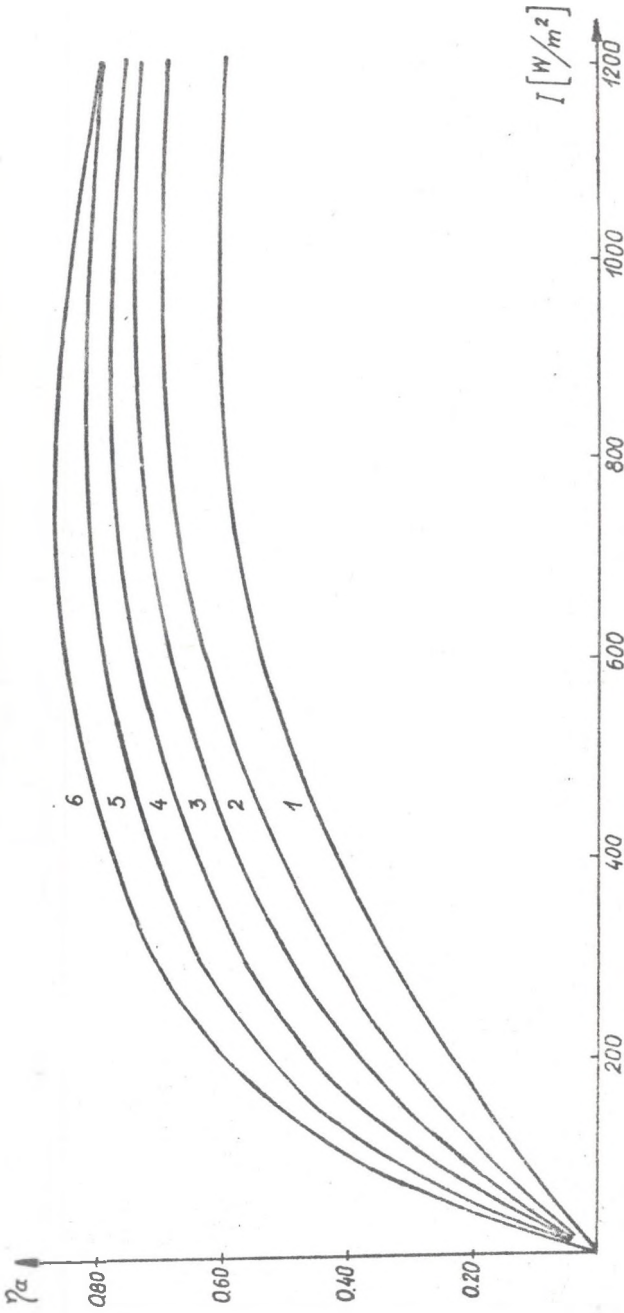


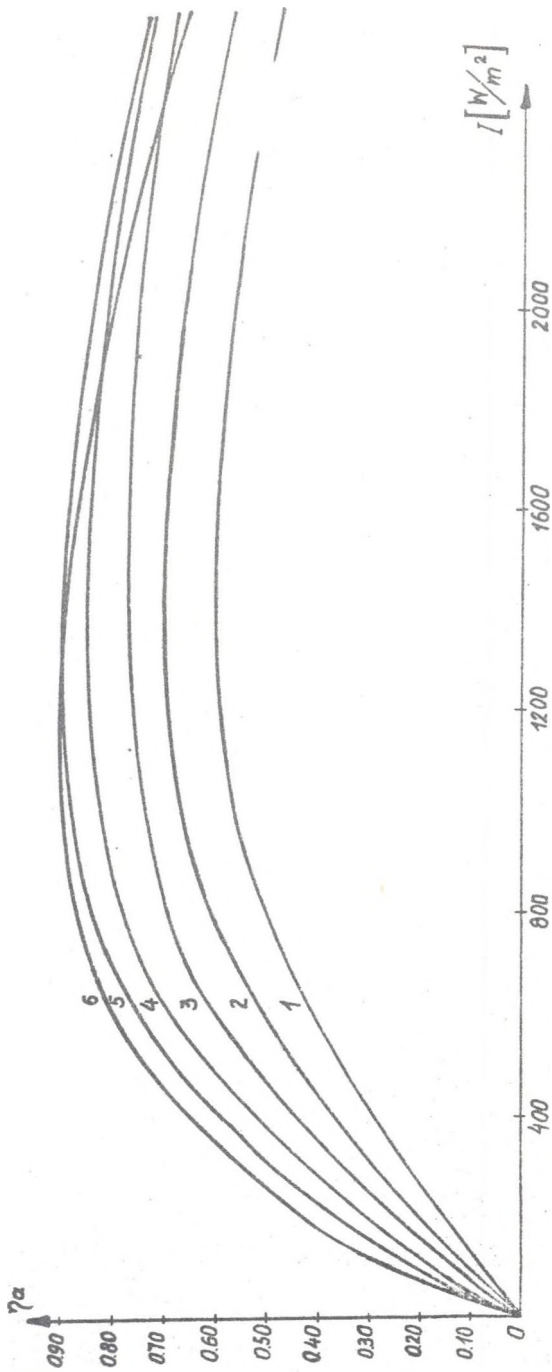
Рис. 1. Залежність спрямованості коагуляції від напруження фали акустичної при її частотливості $f = 1630$ Hz
 1 - постійна концентрація аерозолю
 Dependence of a coagulation effect upon the acoustic wave intensity at its frequency $f = 1630$ Hz
 and unchanging aerosol concentration
 1 - $a = 5$ g/m^3 , 2 - $a = 7$ g/m^3 , 3 - $a = 10$ g/m^3 , 4 - $a = 15$ g/m^3 , 5 - $a = 20$ g/m^3 , 6 - $a = 30$ g/m^3



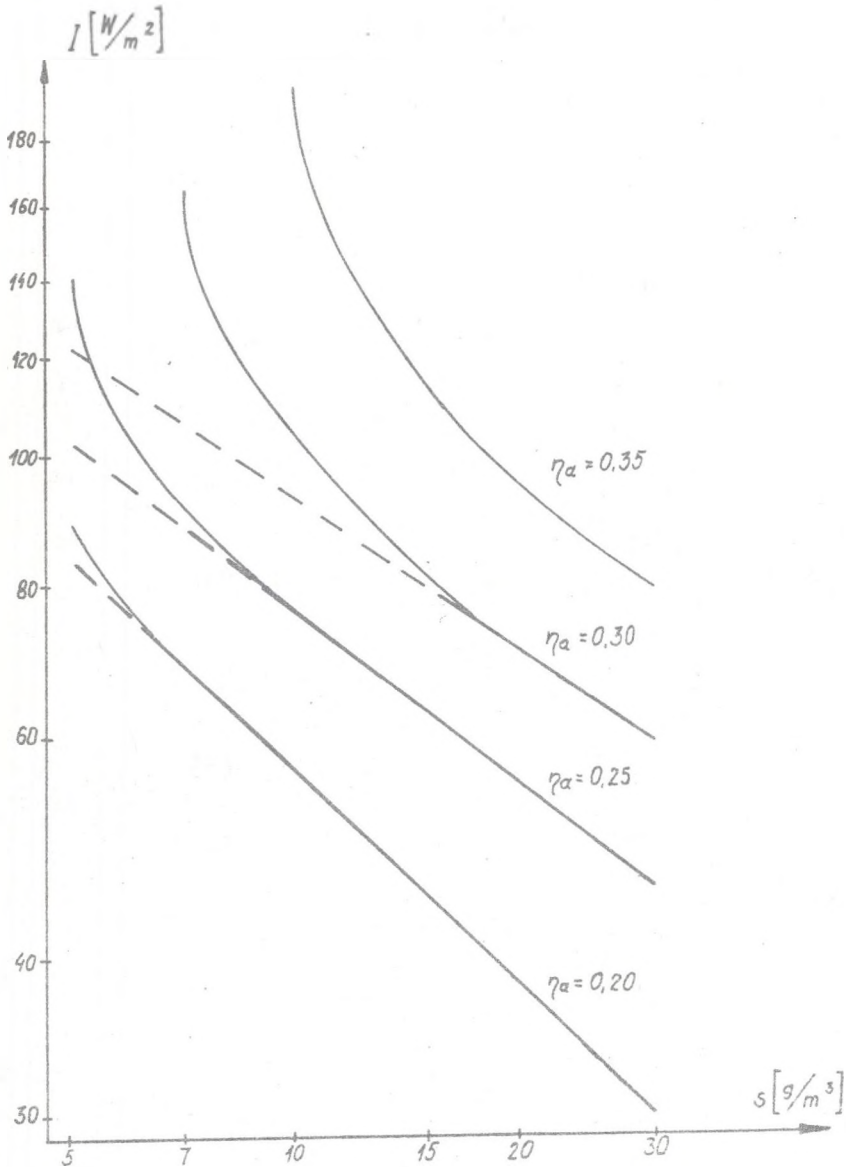
Rys. 2. Zależność sprawności koagulacji od natężenia fali akustycznej przy jej częstotliwości $f = 2460$ Hz
 i stałym natężeniu aerozolu
 Dependence of a coagulation effect upon the acoustic wave intensity at its frequency $f = 2460$ Hz
 and unchanging aerosol concentration
 1 - $a = 5$ g/m³, 2 - $a = 7$ g/m³, 3 - $a = 10$ g/m³, 4 - $a = 15$ g/m³, 5 - $a = 20$ g/m³, 6 - $a = 30$ g/m³



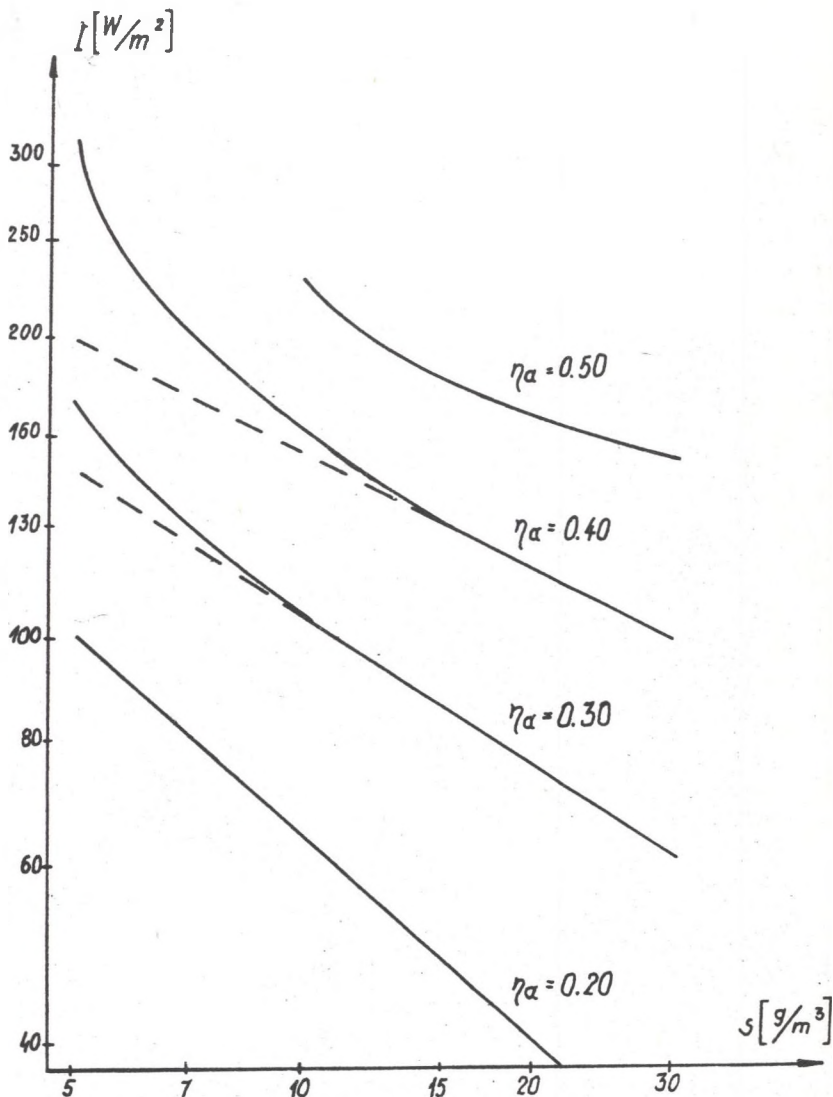
Rys. 3. Zależność sprawności koagulacji od natężenia fali akustycznej przy jej częstotliwości $f = 3700$ Hz
 1 stałym natężeniu aerozolu
 Dependence of a coagulation effect upon the acoustic wave intensity at its frequency $f = 3700$ Hz
 and unchanging aerosol concentration
 1 - $s = 5$ g/m³, 2 - $s = 7$ g/m³, 3 - $s = 10$ g/m³, 4 - $s = 15$ g/m³, 5 - $s = 20$ g/m³, 6 - $s = 30$ g/m³



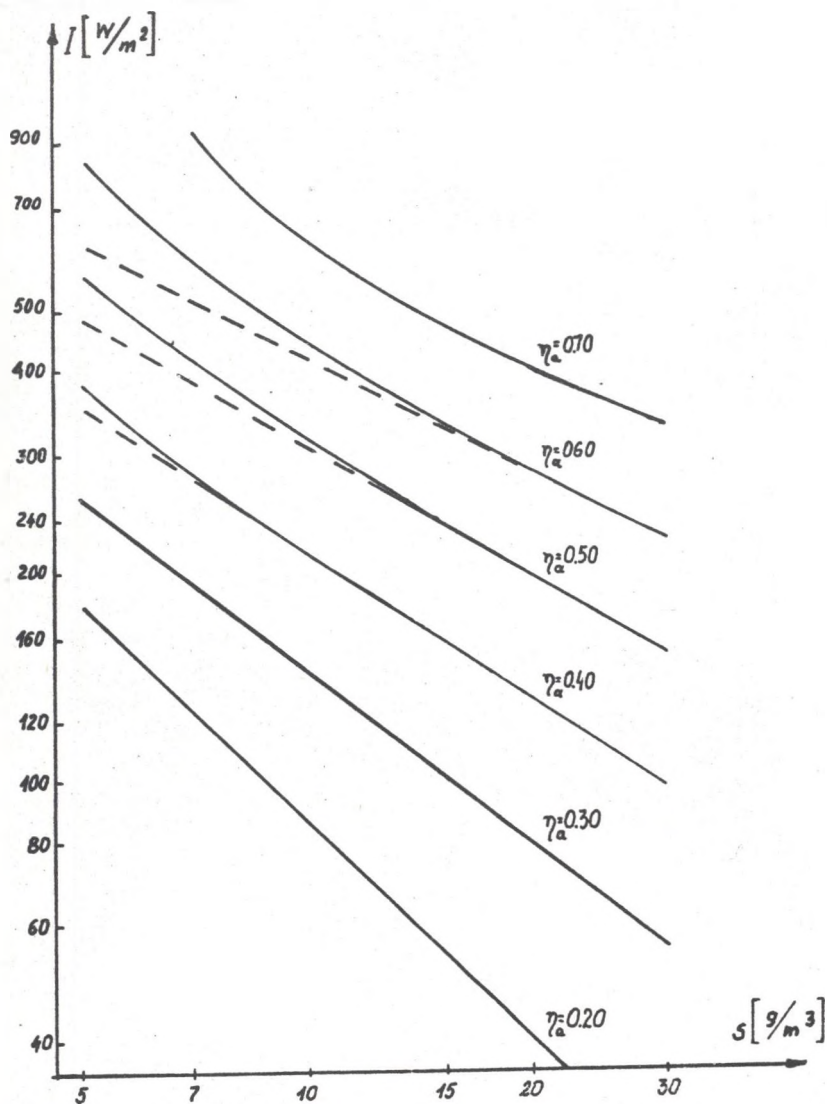
Rys. 4. Zależność sprawności koagulacji od natężenia fali akustycznej przy jej częstotliwości $f = 4900$ Hz.
 i stałym natężeniu aerozolu
 Dependence of a coagulation effect upon the acoustic wave intensity at its frequency $f = 4900$ Hz
 unchanging aerosol concentration
 1 - $s = 5$ g/m³, 2 - $s = 7$ g/m³, 3 - $s = 10$ g/m³, 4 - $s = 15$ g/m³, 5 - $s = 20$ g/m³, 6 - $s = 30$ g/m³



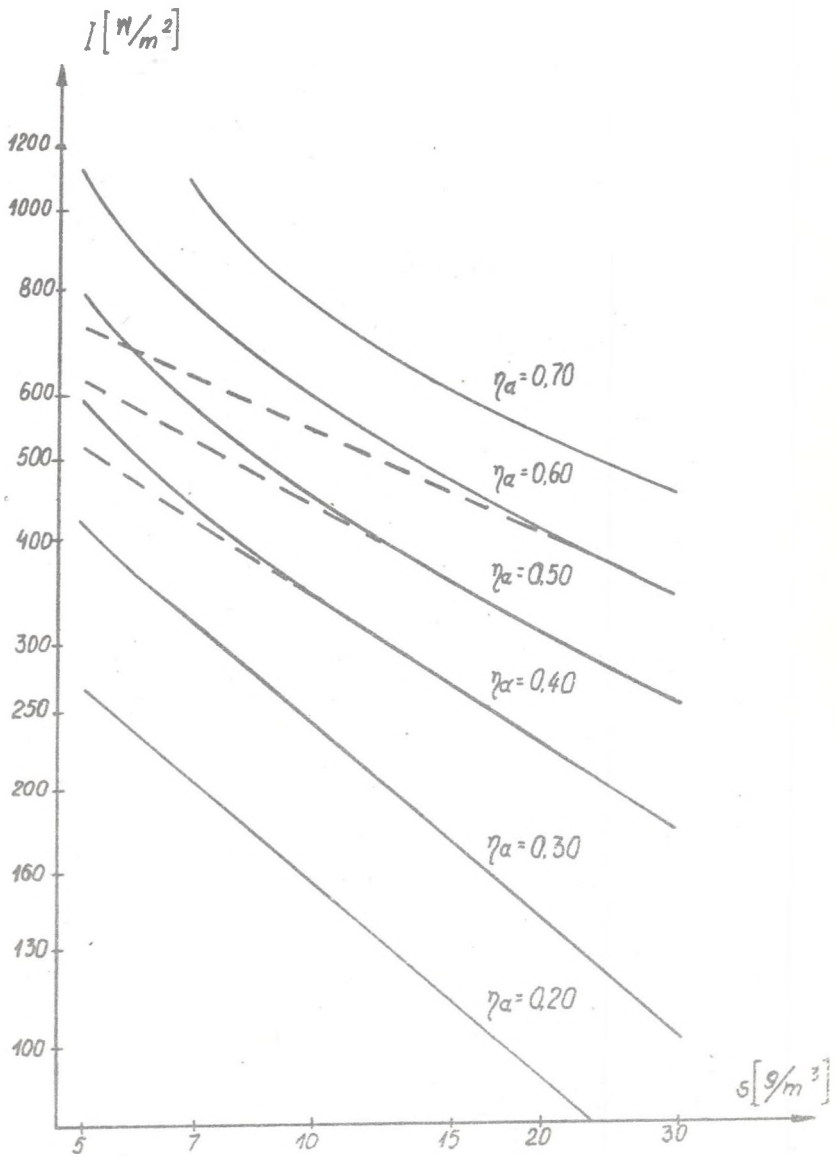
Rys. 5. Związek stężenia aerozolu i natężenia fali akustycznej przy stałej sprawności koagulacji η i częstotliwości fali $f = 1630$ Hz
 Coherence aerosol concentration and acoustic wave intensity at its frequency $f = 1630$ Hz and unchanging coagulation effect



Rys. 6. Związek stężenia aerozolu i natężenia fali akustycznej przy stałej sprawności koagulacji η i częstotliwości fali $f = 2460$ Hz
 Coherence aerosol concentration and acoustic wave intensity at its frequency $f = 2460$ Hz and unchanging coagulation effect η



Rys. 7. Związek stężenia aerozolu i natężenia fali akustycznej przy stałej sprawności koagulacji η i częstotliwości fali $f = 3700$ Hz
 Coherence aerosol concentration and acoustic wave intensity at its frequency $f = 3700$ Hz and unchanging coagulation effect



Rys. 8. Związek stężenia aerozolu i natężenia fali akustycznej przy stałej sprawności koagulacji η i częstotliwości fali $f = 4900$ Hz
 Coherence aerosol concentration and acoustic wave intensity at its frequency $f = 4900$ Hz and unchanging coagulation effect

osiągnięcia stałych efektów koagulacji od stężenia aerozolu. Na rysunkach tych linia ciągła przedstawia wyniki eksperymentalne, a linia przerywana - zależność teoretyczną określoną wzorem (12), przy czym stała "a" została tak dobrana, aby uzyskać zgodność obu tych linii dla prostoliniowego odcinka wyników pomiarów. Wyraźnie widać z tych wykresów, że w szerokim przedziale natężeń fali akustycznej występuje zgodność przewidywań teoretycznych z wynikami doświadczeń. Jednak po przekroczeniu pewnych granicznych wartości natężeń I_2 występuje rozbieżność krzywych, co można wytłumaczyć pojawieniem się obok zjawiska koagulacji innego efektu, a mianowicie dyspergowania cząstek aerozolu przy ich zderzeniach. Zagadnienie to będzie szerzej omówione w oddzielnej pracy. Podjęta tam zostanie próba teoretycznego określenia minimalnego natężenia fali akustycznej, dla której rozpoczyna się proces dyspergowania cząstek aerozolu przy danej częstotliwości fali. Obecnie zauważymy jedynie, że natężenie to praktycznie nie zależy od osiągniętej sprawności koagulacji, natomiast bardzo wyraźnie zmienia się ze zmianą częstotliwości fali akustycznej (rys. 5-8).

Tabela 1 podaje progowe wartości natężeń fali akustycznej w zależności od jej częstotliwości, odczytane z rysunków 5-8.

Z przedstawionych rysunków wynika więc, że wzór (12) dobrze określa korelację między stężeniem aerozolu i natężeniem fali akustycznej wymaganym do osiągnięcia stałych efektów koagulacji do pewnego granicznego natężenia fali akustycznej I_2 . Co prawda, przekroczenie wartości I_2 nadal poprawia efekty koagulacji, ale dla natężeń fali akustycznej z przedziału $I_2 - I_1$ (tabela 1) korelacja między stężeniem aerozolu a natężeniem fali akustycznej wymaganym do osiągnięcia stałych efektów koagulacji nie może być określana w myśl wzoru (12). Jeżeli wzrost natężenia do wartości I_1 nie zapewnił stałych efektów koagulacji, to nie można ich osiągnąć na drodze zmian natężenia fali akustycznej. Dalszy wzrost natężenia fali akustycznej jest niepożądany, gdyż mamy już do czynienia z dominacją efektu rozdrabniania zderzających się cząstek.

Przy obecnym stanie zaawansowania teorii akustycznej koagulacji aerozoli konieczne jest doświadczalne ustalanie wartości I_1 , I_2 i optymalnej częstotliwości koagulacji, które to wartości dla poszczególnych aerozoli są różne.

Brak takiego rozpoznania bardzo często w przeszłości był przyczyną negatywnych opinii o przemysłowych zastosowaniach akustycznej metody koagulacji aerozoli.

LITERATURA

- [1] Miednikow E.P.: Akusticzeskaja koagulacja i osazdienieje aerololiej. Izd. Ak. Nauk SSSR, Moskwa 1963, ss. 215 i 97.
- [2] Rocznik M.: Akustyczna koagulacja aerozolu powstałego z pyłu mączki bitumicznej. ZN Politechniki Śląskiej, Mat.-Fiz. z. 51, Gliwice 1986.

- [3] Wyrzykowski R.: Teorie koagulacji akustycznej. ZN WSP, Rzeszów 1971.
 [4] Zink J.V., Delsasso L.P.: Attenuation and dispersion of sound by solid particles suspended in a s, J.A.S.A., 1958, 30, N 8, pp. 765-771.

Recenzent: Prof, dr hab, Roman Wyrzykowski

Wpłynęło do Redakcji w grudniu 1985 r.

ВОЗМОЖНОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ ЭФФЕКТОВ АКУСТИЧЕСКОЙ КООГУЛЯЦИИ
 АЭРОЗОЛЯ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ ЕГО КОНЦЕНТРАЦИИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Р е з ю м е

Экспериментальное обследование явления акустической коагуляции аэрозоля проявили, что очень большое напряжение акустической волны вызывает диспергирование самых больших частиц аэрозоля хотя для несколько меньших напряжений можно было заметить явление коагуляции. Пограничное напряжение акустической волны, для которых вступает дисперсия сильно зависит от её частоты. В работе этой поставлено и умотировано гипотезу, что причиной диспергирования частиц есть слишком большая энергия их столкновений. Рассуждение ведено используя результаты промеров представленных в диаграммах.

ENSURE CONSTANT EFFECTS POSIBILITIES OF AEROSOL COAGULATION
 FOR ITS VARIABLE STRENGTH IN INDUSTRIAL CONDITIONS

S u m m a r y

It was shown by experimental study of phenomenon of acoustic aerosol coagulation, that very high acoustic wave intensities caused splitting the biggest aerosol particles in spite slighter intensity caused the phenomenon coagulation. The boundary intensities, already for which dispersion occurs, depend largely on the acoustic wave frequency.

In this paper is put and mativated hypothesis that to high energy of particles crashes is the cause splitting of them. Considerations are realized basing on results of measurements shown on the graphes.