

*František RIEGER***, *Edward RZYSKI****

**Czeski Uniwersytet Techniczny w Pradze, Instytut Inżynierii Procesowej, Praha, Republika Czeska

***Politechnika Łódzka, Katedra Aparatury Procesowej, Łódź

Moc mieszadła cyrkulacyjnego W warniku cukrowniczym

Streszczenie:

W pracy zaproponowano sposób określania mocy mieszadeł pracujących w warnikach cukrowniczych. Obliczenie to następuje na podstawie dwóch liczbowych współczynników, których wartości określa się doświadczalnie.

Słowa kluczowe: moc, mieszadło, charakterystyka, warnik

Wykaz symboli

- a, c – współczynniki równania (4),
- d – średnica mieszadła,
- d_r – średnica rurek komory grzejnej,
- e – energia właściwa,
- e^* – bezwymiarowa energia właściwa, $e^* = ep/(\mu n)$,
- L – długość rurek komory grzejnej,
- N – częstość obrotów mieszadła,
- P – moc mieszania,
- P^* – bezwymiarowa moc mieszania, $P^* = P/(\mu n^2 d^3)$,
- P_o – liczba mocy mieszania, $P_o = P/(n^3 d^5 \rho)$,
- Re – liczba Reynoldsa dla procesu mieszania, $Re = nd^2 \rho / \mu$,
- u – prędkość przepływu cieczy w rurkach,
- μ – współczynnik lepkości dynamicznej,
- ρ – gęstość cieczy

Wprowadzenie

W pracy [Rieger F, 1989] przedstawiono pozytywny wpływ mieszania na przebieg krystalizacji cukru w warnikach. Zwłaszcza warniki z wymuszoną cyrkulacją charakteryzują się wieloma zaletami. Bez zmniejszenia intensywności cyrkulacji można użyć w nich pary grzejnej o niższej

temperaturze, kontrola procesu jest znacznie ułatwiona, a jakość otrzymanych kryształów cukru jest znacznie lepsza.

Wymuszona cyrkulacja jest w tych warnikach wywołana mieszadłem (najczęściej ślimakowym), umieszczonym w centralnej rurze cyrkulacyjnej. Celem niniejszej pracy jest określenie mocy takiego mieszadła.

Zaproponowano, by projektowanie mieszadła przebiegało podobnie jak pompy. Najpierw ustala się punkt pracy, znajdujący się na przecięciu charakterystyki mieszadła z charakterystyką hydrauliczną wiązki rurek. Dla tego właśnie punktu określa się następnie zapotrzebowanie mocy.

Część teoretyczna

W przeciwieństwie do pomp, które pracują w warunkach przepływu burzliwego (bezwymiarowe charakterystyki niezależne od wartości liczby Reynoldsa), mieszadła warników cukrowniczych (rys. 1) pracują w warunkach przepływu przejściowego lub nawet pełzającego. A tu charakterystyki mieszadeł już są zależne od liczby Reynoldsa.

Bezwymiarową moc mieszania P^* oraz bezwymiarową energię e^* zdefiniowano jako

$$P^* = Po \cdot Re = P / (\mu n^2 d^3) \quad (1)$$

oraz

$$e^* = e \rho / (\mu n) \quad (2)$$

przy czym w ostatniej zależności e jest energią właściwą obliczoną z równania Hagen-Poiseuille'a

$$e = 32 \mu L u / (\rho d_r^2) \quad (3)$$

Stwierdzono, że między tak zdefiniowaną bezwymiarową mocą mieszania P^* (równanie (1)) oraz energią właściwą e^* (równanie (2)) istnieje prosta zależność przedstawiona przez równanie (4)

$$P^* = c + a e^* \quad (4)$$



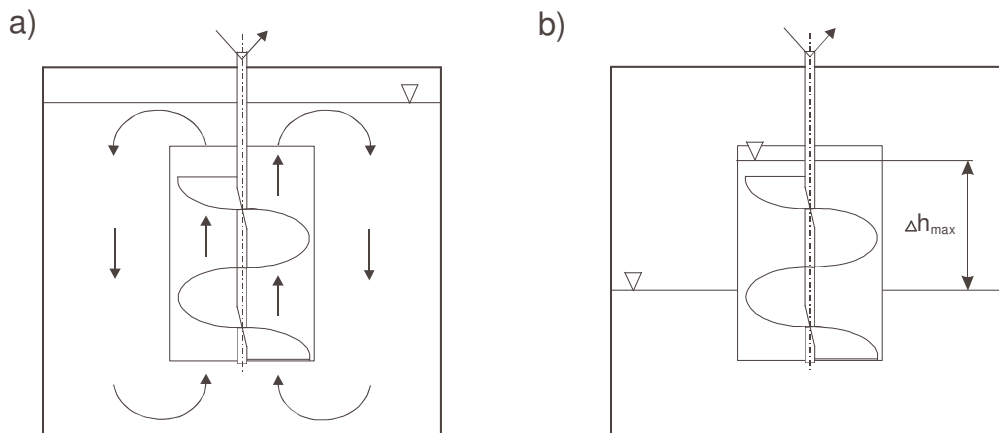
Rys. 1. Badane mieszadło ślimakowe
 Fig. 1. Helical agitator being tested

Doświadczenia i wyniki

W celu znalezienia wartości współczynników a i c przeprowadzono badania na zaadaptowanym do tego celu viskozymetrze rotacyjnym *Rheotest 2*. W zbiorniku o średnicy 0,22 m znajdował się dyfuzor o średnicy wewnętrznej 82,5 mm, w którym z kolei umieszczono mieszadło ślimakowe o średnicy $d = 75$ mm. Charakterystyka geometryczna mieszadła została przedstawiono w tabeli 1. Pomiarów mocy mieszania dokonywano używając modelowych cieczy o lepkości od 0,05 do 1,8 Pa·s.

Tab. 1. Charakterystyka mieszadła
 Tab. 1. Characteristics of an agitator

Wysokość / średnica mieszadła	1,4
Średnica mieszadła / średnica wału	5
Średnica mieszadła /skok mieszadła	0,5
Liczba łopatek mieszadła	3



Rys. 2. Zasada pomiaru: a) w dyfuzorze ma miejsce przepływ cieczy, b) przepływ zamknięty
 Fig. 2. Principle of measurement: a) fluid flows in a diffuser, b) closed flow

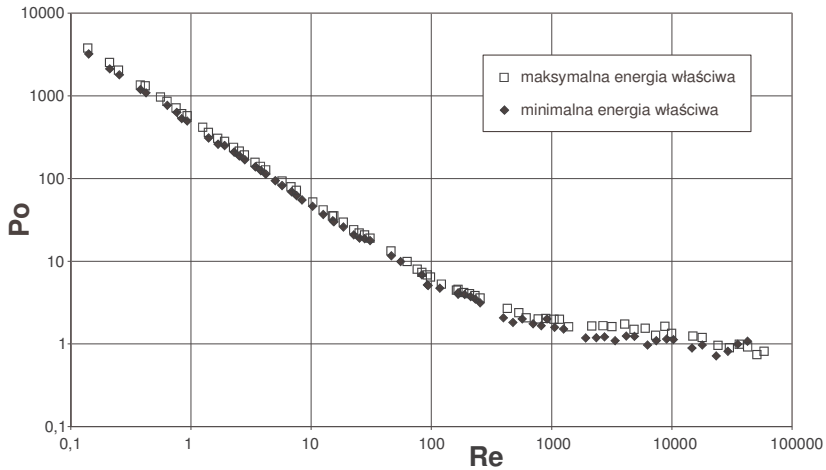
Na rysunku 2 pokazano schemat pomiaru. Dolna graniczna charakterystyka odpowiadająca minimalnej energii właściwej (straty energii podczas przepływu w zbiorniku) mierzona była przy największym napełnieniu zbiornika, jak pokazano na rys. 2a. Gdy mieszadło nie było w stanie tłoczyć cieczy tak, by zachodziła jej cyrkulacja mierzono górną wartość mocy, odpowiadającą największej energii właściwej (przy stałym napełnieniu dyfuzora). Rys. 2b przedstawia właśnie ten przepływ zamknięty.

Na rysunku 3 zaprezentowano w ten sposób charakterystyki mocy dla badanego mieszadła.

Zgodnie z procedurą zaproponowaną w pracy [Rieger F., 2001], na podstawie tych pomiarów określono wartości współczynników a i c w równaniu (4)

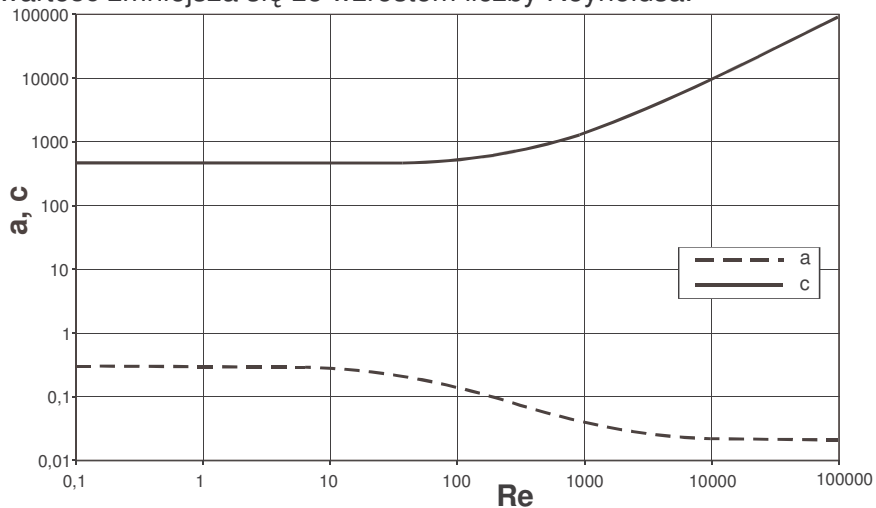
$$a = (P_{max}^* - P_{min}^*) / (e_{max}^* - e_{min}^*) \quad (5)$$

$$c = P_{max}^* - a e_{max}^* \quad (6)$$



Rys. 3. Charakterystyka mocy mieszadła
Fig. 3. Power characteristics of an agitator

Zależność współczynników a i c od liczby Reynoldsa została pokazana na rys. 4. Można stwierdzić, że współczynnik a przyjmuje stałe wartości w obszarze przepływu pełzającego i burzliwego. W obszarze przejściowym jego wartość zmniejsza się ze wzrostem liczby Reynoldsa.



Rys. 4. Wartości współczynników a i c równania (4)

Fig. 4. Values of a and c coefficients in Equation (4)

Wartość współczynnika c jest w obszarze przepływu pełzającego stała, zaś w przejściowym rośnie ze wzrostem liczby Re . Dla przepływu burzliwego współczynnik c jest wprost proporcjonalny do wartości Re i w ten sposób wyrażenie c/Re ma wartość stałą.

Przykład

Obliczyć moc trzyłopatkowego mieszadła ślimakowego o średnicy $d = 1$ m, pracującego w komorze grzejnej z rurkami o długości 1 m i średnicy 0,1 m. W pracy [Rieger F., Rzyski E., 2000] obliczono, że dla wywołania prędkości przepływu cyrkulacyjnego cukrzycy ($\rho = 1500$ kg/m³, $\mu = 10$ Pa·s) w rurkach 0,03 m/s konieczna częstość obrotów mieszadła wynosi $n = 0,64$ s⁻¹.

Rozwiązanie. Doświadczalnie znaleziono graniczne charakterystyki mocy mieszania w zbiornikach z dyfuzorami (przy zamkniętym wypływie). Pokazano je na rysunkach. Na podstawie tych charakterystyk sposobem przedstawionym w pracy [2] określono wartości współczynników a i c . Następnie określono energię właściwą

$$e = 32 \cdot 10 \cdot 0,03 / (1500 \cdot 0,1^2) = 0,64 \text{ J/kg}$$

a także energię bezwymiarową w postaci

$$e^* = 0,64 \cdot 1500 / (10 \cdot 0,64) = 150$$

Z kolei wartość liczby Reynoldsa:

$$Re = nd^2\rho/\mu = 0,64 \cdot 1^2 \cdot 1500 / 10 = 96$$

Z rys. 4 odczytuje się wartości współczynników: $a = 0,144$ oraz $c = 550$. W ten sposób bezwymiarowa moc

$$P^* = c + ae^* = 550 + 0,144 \cdot 150 = 572$$

Ostatnie obliczenie – to obliczenie mocy mieszania

$$P = P^* \mu n^2 d^3 = 572 \cdot 10 \cdot 0,64^2 \cdot 1^3 = 2343 \text{ W}$$

Bibliografia

[1] Rieger F. 1989, *et al.*: Zuckerind. 114, 45, ,

[2] Rieger F., 2001.: Acta Polytechnica (Praha) 41, 6, 84, ,

[3] Rieger F., Rzycki E., 2000, Gazeta Cukrownicza 108, 84,

** Praca została wykonana w ramach projektu Ministerstwa Edukacji Republiki Czeskiej (grant J04/98: 212200008) oraz w ramach projektu W-10/1/2004/Dz.St.*

Power consumption of a screw agitator used in an evaporating crystallizer

Summary

A method to determine mixing power of screw impellers in evaporating crystallizers is proposed. Relevant calculations were made on the basis of two numerical coefficients whose values are determined experimentally.

Key words: power, screw agitator, characteristic, evaporating crystallizer