

Jan UMIŃSKI

BADANIA PORÓWNAWCZE NIEKTÓRYCH TYPÓW MIESZADEŁ
STOSOWANYCH W CYRKULACYJNYCH KOMORACH FLOKULACJI
CZĘŚĆ II. PRZECIĘTNY GRADIENT PRĘDKOŚCI

A CECHY KONSTRUKCYJNE MIESZADEŁ I REAKTORÓW

Streszczenie. Artykuł stanowi drugą część opracowania referującego wyniki badań porównawczych niektórych odmian konstrukcyjnych mieszadeł, stosowanych w cyrkulacyjnych komorach flokulacji. Dotyczy on wpływu, jaki wywierają mogą mieszadła turbinowe (talerzowe, dyskowe) i śmigłowe oraz przegrody pionowe w reaktorze na zależność przeciętnego gradientu prędkości od prędkości obwodowej łopatek i ilości obrotów mieszadła.

Do oceny intensywności mieszania w procesie flokulacji Camp i Stein [3, 1] wprowadzili parametr zwany przeciętnym gradientem prędkości:

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{N}{V\tau}} \quad [s^{-1}] \quad (1a)$$

Wzór (1a) przedstawić można także w postaci:

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{N_1}{\tau}} \quad [s^{-1}] \quad (1b)$$

gdzie $N_1 = \frac{N}{V}$ oznacza przeciętne zużycie mocy mieszania na jednostkę objętości wody w komorze flokulacji (jednostkową moc mieszania).

Tak zdefiniowany gradient prędkości charakteryzuje przeciętną wartość naprężeń stycznych w warunkach ruchu turbulენტnego. Stwierdzono iż wywiera on określony wpływ na kinetykę flokulacji w ortokinetycznej fazie procesu [1, 6]. Gradient \bar{G} powinien być odpowiednio duży, aby zapewnić właściwą częstotliwość zderzeń koagulowanych cząstek i ich aglomerację; z drugiej jednak strony nie może przekraczać wartości, przy których występuje już niszczenie kłaczków.

Efekt flokulacji w dużym stopniu jest uzależniony od czasu wolnego mieszania. Ilozyn wyrażonego w sekundach czasu flokulacji (T) i przeciętne-

go gradientu prędkości (\bar{G}) stosowany bywa jako tzw. liczba kryterialna¹⁾ Campa [2]:

$$Ca = \bar{G}T \quad (2)$$

Pośrednio liczba Ca charakteryzuje nakład energii, jaki jest niezbędny dla uzyskania wymaganego efektu procesu flokulacji. Zarówno przy projektowaniu komór wolnego mieszania, jak też przy uogólnianiu wyników badań procesu liczba Campa stanowi wygodne kryterium porównawcze.

W praktyce możliwość jej określania zależy od tego, czy znamy przeciętne gradienty prędkości wytwarzane przez mieszadło w przewidywanym zakresie parametrów pracy. Fakty te uzasadniają celowość badań odpowiednich charakterystyk mieszadeł w komorach flokulacji.

Przy porównywaniu badanych typów mieszadeł [6] gradienty prędkości i liczby Campa wykorzystano dla określenia efektywności wolnego mieszania. Przedstawiony już pierwszy etap badań obejmował pomiary mocy mieszania [7]. W dalszej kolejności określono przeciętne gradienty prędkości. Poniżej przedstawione zostaną wyniki otrzymane dla opisanych w opracowaniu [7] konstrukcji mieszadeł.

Uwzględniając wzór (1), ogólną zależność między przeciętnym gradientem prędkości a stosowaną dla procesu mieszania kryterialną liczbą mocy (Eulera) przedstawić można następująco:

$$Eu = \frac{N}{d^5 n^3 \rho} = \frac{\bar{G}^2 v \eta}{d^5 n^3 \rho} \quad (3a)$$

Z wykorzystaniem współczynnika lepkości kinematycznej ($\bar{v} = \frac{\eta}{\rho}$) zależność (3a) przyjmuje postać:

$$Eu = \frac{\bar{G}^2 v \bar{v}}{d^5 n^3} \quad (3b)$$

Ponieważ pomiary wykonywano na wodzie o stałej praktycznie temperaturze (292-293 K), lepkość dynamiczna wody nie zmieniała się²⁾ i wynosiła ok. 0,001 [Pa.s]. W związku z tym dla danej konstrukcji mieszadła przeciętny gradient prędkości był funkcją jedynie mocy mieszania.

Ogólnie - gradient \bar{G} jest proporcjonalny do pierwiastka kwadratowego z mocy mieszania, zatem typ oraz właściwości konstrukcyjne mieszadeł wywie-

1) Niekiedy iloczyn $\bar{G} \cdot T$ określany jest jako współczynnik Campa.

2) Pomiary sprawdzające na wodzie koagulowanej wykonane wiskozymetrem Höpplera (typ BH) w granicach dokładności pomiarów ($\pm 2\%$) nie wykazały odchylenia od podanej wyżej wartości.

rały odpowiednio mniejszy wpływ na wartości gradientu niż na moc mieszania. W tabelach 1-4 zestawiono otrzymane - według formuły (1) - wartości przeciętnego gradientu prędkości dla poszczególnych mieszadeł przy różnych ilościach obrotów i prędkościach obwodowych łopatek.

Tabela 1

Wartości przeciętnego gradientu prędkości dla mieszadeł o średnicy $d = 160$ mm (zbiornik bez przegród, $D = 280$ mm)

Prędkość obwodowa łopatek u m/s	Ilość obrotów mieszadła n $\frac{1}{\text{min}}$	Gradient prędkości \bar{G} w s^{-1} dla mieszadeł									
		turbinowych talerzowych								śmigłowych	
		1a	2a	3a	3a ₁	3a ₂	4a	4a ₁	8a	7a	7a ₁
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,2	24	17,7	18,4	18,7	20,8	19,6	17,0	16,1	18,0	9,7	13,8
0,3	36	29,4	30,2	30,9	32,0	31,7	27,2	26,8	29,5	13,7	21,9
0,4	48	43,0	43,8	44,5	45,4	45,2	37,5		41,8	20,9	
0,5	60	57,2	57,9	58,6	60,8	59,3	48,1	51,0	55,1	27,7	42,4
0,6	72	72,7	72,9	73,3	77,8	74,9	60,4		68,4	36,7	
0,7	84	87,3	87,8	88,4	95,4	90,9	73,2	78,4	82,8	45,4	63,4
0,8	96	104	105	106	115	107	86,1		96,8	55,8	
0,9	108	120	122	124	136	124			113	65,9	
1,0	120	137	140	144	156	145	116	127	130	76,7	100
1,1	131	155	160	166	178	167			148	89,6	
1,2	143	174	181	187	199	192	150	164	168	102	127
1,3	155	194	202	210	221	217			187	115	
1,4	167	213	224	232	244	243			208	129	
1,5	179	230	244	256	267	267	206	222	230	143	176
1,7	203	276	286	306	316	315		270	273	174	210
2,0	239	332	353	388	400	397	301	346	345	225	270
2,5	299	438		531		559		483	496	320	

Porównanie wartości gradientów przy tych samych prędkościach obwodowych wskazuje, że mieszadła turbinowe charakteryzują się znacznie większymi (1,3-2,9 raza) wartościami \bar{G} niż mieszadła śmigłowe (7, 7a). Jednocześnie, jak wynika z rys. 1 i 2, występuje dość duża zbieżność wartości \bar{G} w grupie mieszadeł turbinowych, zwłaszcza zaś dla mniejszych prędkości obwodowych (poniżej 1 m/s) i mieszadeł o średnicy 160 mm ($\frac{D}{d} = 1,75$).

Wśród mieszadeł turbinowych największe wartości przeciętnego gradientu prędkości wykazały mieszadła talerzowe otwarte z łopatkami prostymi (3b, 3, 3a₁, 3a, 2a, 1a, 5), a następnie dyskowe (9, R). Porównując mieszadła

Tabela 2

Wartości przeciętnego gradientu prędkości dla mieszadeł
o średnicy $d = 120$ mm (zbiornik bez przegród, $D = 280$ mm)

Prędkość obwodowa łopatek u m/s	Ilość obrotów mieszadła n_1 1/min	Gradient prędkości \bar{G} w s^{-1} dla mieszadeł						
		turbinowych talerzowych					turbinowych dyskowych	śmigłowych
		3	4	5	6	8	9	7
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,2	32	21,6	18,0	19,6	18,4	20,6	18,4	11,3
0,3	48	37,0	25,3	30,4	26,5	33,4	27,7	16,0
0,5	80	66,1	46,1	53,1	46,1	55,6	50,5	32,6
0,7	112	98,4	68,0	80,1	73,3	76,7	77,2	48,8
1,0	159	150	102	131	124	115	126	80,0
1,2	191	189	131	169	159	150	161	98,5
1,5	239	254	182	233	215	216	222	131
1,7	271	302	217	279	254	267	266	156
2,0	319		270	352	318		345	201
2,2	350		307					236

Tabela 3

Wartości przeciętnego gradientu prędkości dla mieszadeł
o średnicy $d = 80$ mm (zbiornik bez przegród, $D = 280$ mm)

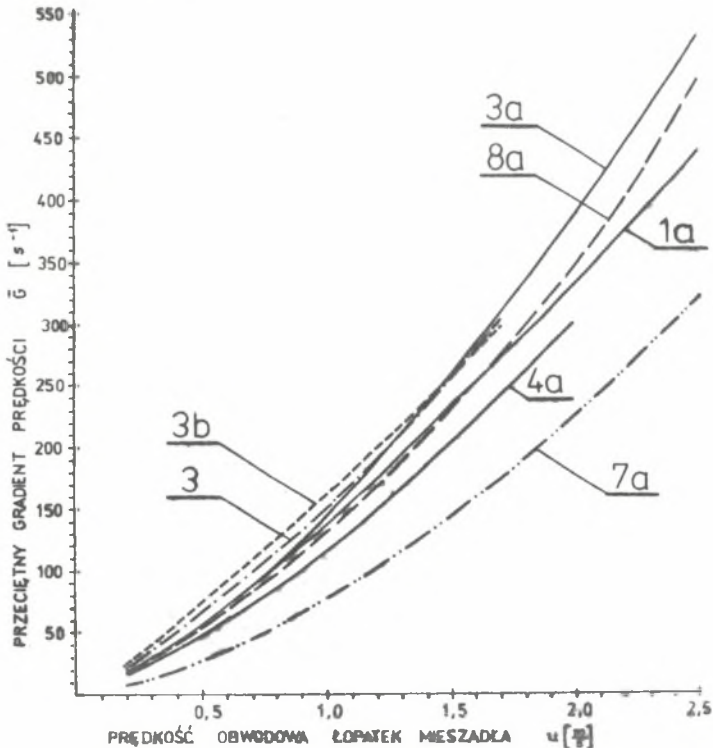
Prędkość obwodowa łopatek u m/s	Ilość obrotów mieszadła n_1 1/min	Gradient prędkości \bar{G} w s^{-1} dla mieszadeł turbinowych talerzowych		
		3b	4b	8b
1	2	3	4	5
0,2	48	24,2	19,0	19,6
0,3	72	40,0	27,0	26,8
0,5	119	74,9	48,0	48,5
0,7	167	109	70,0	70,1
1,0	239	161	106	101
1,2	287	199	130	122
1,5	358	248	180	190
1,7	406	297	221	

w grupach o tej samej średnicy można stwierdzić, że w porównaniu z dyskowymi nieco mniejsze gradienty prędkości wywołują mieszadła talerzowe z łopatkami zakrzywionymi (8a, 8, 8b), szczególnie zaś przy większych prędkościach obwodowych łopatek, powyżej 0,7 m/s. Najmniejsze wartości \bar{G} w grupie mieszadeł turbinowych wykazały mieszadła talerzowe zamknięte z łopatkami prostymi (4, 4b, 4a, 6, 4a₁).

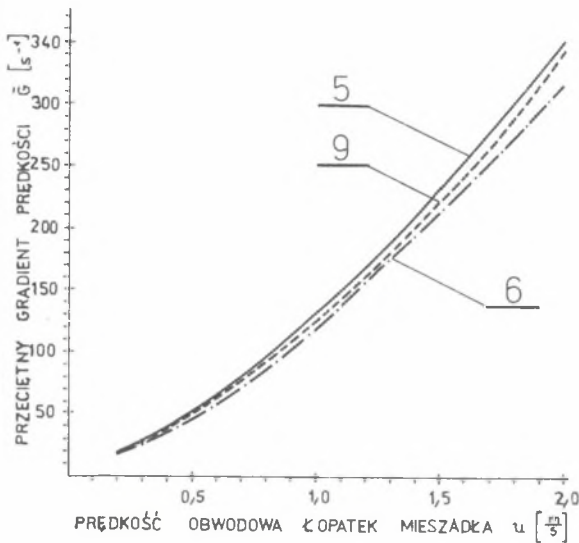
Tabela 4

Wartości przeciętnego gradientu prędkości dla mieszadła turbinowego dyskowego (R) z sześcioma łopatkami prostymi według charakterystyki mocy mieszania uzyskanej przez autorów [4, 5] (Średnica mieszadła $d = 80$ mm, średnica zbiornika $D = 280$ mm, temperatura wody 293 K)

Prędkość obwodowa łopatek u m/s	Ilość obrotów mieszadła n_1 1/min	Gradient prędkości \bar{G} w s^{-1} dla mieszadła	
		w zbiorniku bez przegród	w zbiorniku z czterema przegrodami pionowymi o szerokości $B=0,1 D$
1	2	3	4
0,1	24	5,7	6,9
0,2	48	13,9	21,9
0,3	72	23,0	41,7
0,5	119	44,6	94,7
0,7	167	71,7	157
1,0	239	122	266
1,2	287	155	349
1,5	358	208	488
1,7	406	253	590
2,0	478	329	



Rys. 1. Zależność przeciętnego gradientu prędkości od prędkości obwodowej łopatek dla mieszadeł turbinowych i mieszadła śmigłowego



Rys. 2. Zależność przeciętnego gradientu prędkości od prędkości obwodowej łopatek dla mieszadła turbinowego talerzowego otwartego, zamkniętego oraz turbinowego dyskowego

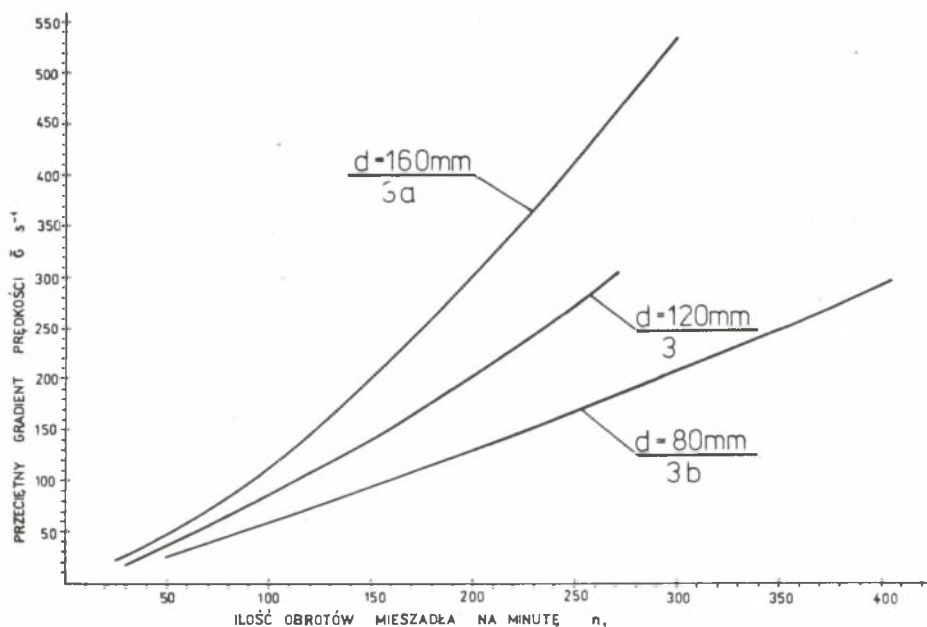
Porównanie mieszadeł talerzowych otwartych i zamkniętych wskazuje, że zastosowanie pierścienia osłaniającego częściowo łopatki od dołu (por. mieszadła 3-4, 5-6, 3a-4a, 3b-4b) zmniejsza przeciętny gradient prędkości i to w stopniu dość znacznym (o 10-36%) przy szerokościach łopatek $\frac{b}{d} = 0,075 - 0,15$ (np. mieszadła 3a-4a, rys. 1), zaś w mniejszym stopniu (o 5-10%) przy większych szerokościach łopatek ($\frac{b}{d} = 0,167$, por. mieszadła 5-6, rys. 2).

Wzrost ilości łopatek w mieszadłach talerzowych otwartych w zakresie $z = 4-12$ (mieszadła 1a, 2a i 3a) powodował powiększanie przeciętnego gradientu prędkości, ale w stopniu stosunkowo nieznaczny. Większy przyrost wartości \bar{G} wystąpił głównie przy wyższych prędkościach obwodowych (powyżej 1,2 m/s).

Zastosowanie dodatkowych łopatek dolnych powodowało istotny wzrost gradientu \bar{G} tylko w przypadku mieszadeł śmigłowych (7a, 7a₁ - tab. 1). Natomiast w przypadku mieszadeł talerzowych (3a, 3a₁, 3a₂, 4a, 4a₁) wzrost ten był bardzo mały.

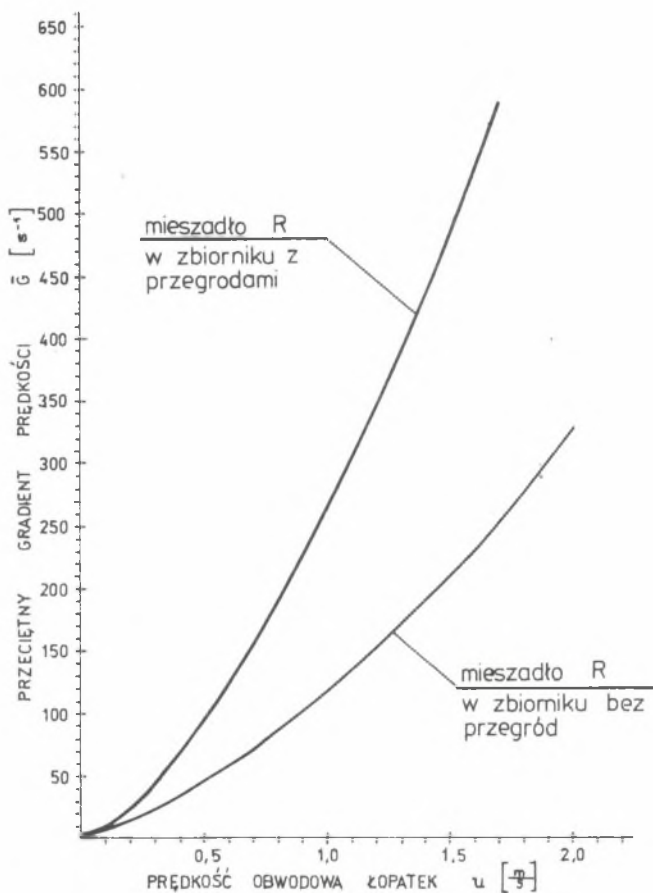
Otrzymane wyniki pozwalają na prześledzenie wpływu zmian średnicy mieszadeł (przy stałej średnicy zbiornika). W mieszadłach talerzowych otwartych (3a, 3, 3b) zmniejszanie się średnicy powodowało wzrost przeciętnych gradientów przy tych samych prędkościach obwodowych (rys. 1) dla zakresu $u < 1,4$ m/s. W przypadku mieszadeł talerzowych zamkniętych z łopatkami prostymi największe gradienty otrzymano przy średnicy największej (4a,

$d = 160$ mm). Przy średnicach 120 i 80 mm ($3a$, $3b$) wartości \bar{G} były zbliżone do siebie, nieco większe jednak dawała średnica 80 mm. Ogólnie - za prawidłowość obserwowaną, szczególnie przy mniejszych prędkościach obwodowych, uznać można fakt występowania większych gradientów prędkości przy mniejszych średnicach mieszadeł. Od tej zasady odbiega najbardziej przebieg zależności $\bar{G} = f(u)$ dla mieszadeł talerzowych zamkniętych z łopatkami zakrzywionymi (8, 8a, 8b). Ale i w tym przypadku dla $u \leq 0,5$ m/s przy zmianie średnicy ze 160 na 120 mm (8a-8) obserwowano nieznaczne powiększenie się gradientów przeciętnych.



Rys. 3. Zależność przeciętnego gradientu prędkości od ilości obrotów mieszadła talerzowego otwartego z 12 łopatkami prostymi przy różnych średnicach mieszadła, ale jednakowej średnicy zbiornika

Typowy przebieg zależności przeciętnego gradientu prędkości od ilości obrotów dla badanych mieszadeł ilustruje rys. 3. Przy porównywaniu różnych konstrukcji dla tej samej ilości obrotów czynnikiem najistotniej wpływającym na wartość \bar{G} okazała się średnica mieszadła. Przy jej powiększaniu gradient prędkości zdecydowanie wzrastał, np. dla mieszadła talerzowego otwartego (3b, 3, 3a) dla $n_1 = 200$ obr/min przy wzroście średnicy z 80 do 120 a następnie do 160 mm (rys. 3) gradient \bar{G} wzrastał odpowiednio 1,56 i 2,33 raza. Porównanie pod tym względem poszczególnych odmian konstrukcyjnych doprowadza do wniosku, że ilość obrotów jest dla różnych mieszadeł znacznie gorszym kryterium intensywności mieszania w procesie flokulacji niż prędkość obwodowa łopatek.



Rys. 4. Wpływ przegród pionowych w zbiorniku na przeciętny gradient prędkości mieszadła turbinowego dyskowego z 6 łopatkami prostymi (R)

Gradienty prędkości określano dla poszczególnych mieszadeł w zbiorniku bez przegród [7, 6].

W przypadku mieszadła turbinowego dyskowego z sześcioma łopatkami prostymi (R) przedstawione w tab. 4 i na rys. 4 charakterystyki $\bar{G} = f(u)$ dają możliwość porównania gradientów prędkości tego samego mieszadła w dwóch różnych reaktorach: bez przegród oraz z czterema typowymi pionowymi przegrodami, każda o szerokości $D = 0,1 D = 28$ mm. Jak widzimy, zastosowanie w zbiorniku przegród powoduje - przy tych samych prędkościach obwodowych mieszadła - gwałtowny wzrost przeciętnego gradientu prędkości. W zakresie $u = 0,4 - 1,7$ m/s wartości gradientu wzrastają 2-2,35 raza.

Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych analiz i porównań świadczą o tym, że przeciętny gradient prędkości w istotnym stopniu uwarunkowany jest własnościami konstrukcji oraz parametrami geometrycznymi mieszadeł i reaktorów. Jako kryterium intensywności mieszania w procesie flokulacji gradient prędkości jest ważnym parametrem projektowym i eksploatacyjnym komór reakcji, a a zatem określanie gradientów prędkości stanowić powinno niezbędny etap doboru i optymalizacji właściwości konstrukcyjnych oraz parametrów eksploatacyjnych mieszadeł i komór.

Z porównywanych cech konstrukcji największy wpływ na wartość przeciętnego gradientu prędkości ma:

- 1) typ mieszadeł (turbinowe, śmigłowe);
- 2) zastosowanie przegród pionowych w reaktorze;
- 3) średnica mieszadła i szerokość łopatek.

Znaczny wpływ, szczególnie przy małych szerokościach łopatek, wywierać może zastosowanie pierścienia osłaniającego łopatki od dołu (w mieszadłach talerzowych zamkniętych). Natomiast w małym stopniu w reaktorze bez przegród przeciętny gradient prędkości zależy od ilości łopatek oraz dodatkowych łopatek dolnych w mieszadłach turbinowych talerzowych.

LITERATURA

- [1] Hudson H.E.: Physical Aspects of Flocculation, JAWWA, v. 57, Nr 7, 1965, 885-892.
- [2] Popp P., Walther H.J., Böhler E.: Die physikalisch-chemischen Grundlagen der Wasserbehandlung durch Flockung. Wasserwirtschaft Wasser-technik 23 Jahrgang (1973) Heft 2, 42-50.
- [3] Rohlich G.A., Murphy K.L.: Flocculation. Water and Sewage Works, October 1961, Reference Number.
- [4] Rushton J.H., Costich E.W., Everett H.J.: Power characteristics of mixing impellers. Part I. Chemical Engineering Progress. Vol. 46, nr 8, August 1950, 395-404.
- [5] Rushton J.H., Costich E.W., Everett H.J.: Power characteristics of mixing impellers. Part II. Chemical Engineering Progress. Vol. 46, nr 9, 467-476.
- [6] Umiński J.: Wpływ niektórych typów mieszadeł i reaktorów na wyniki wolnego mieszania w procesie koagulacji zanieczyszczeń wody w świetle wybranych kryteriów. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1977 (maszynopis).
- [7] Umiński J.: Badania porównawcze niektórych typów mieszadeł stosowanych w cyrkulacyjnych komorach flokulacji. Część I. Moc mieszania. Ze-szyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Inżynieria Sanitarna z. 22 (w druku).

Zestawienie oznaczeń

- b - szerokość łopatki mieszadła (w kierunku równoległym do osi obrotu)
m,
- Ca - liczba Campa
- D - średnica reaktora (mieszalnika) m,
- d - średnica mieszadła m,
- Eu - liczba Eulera (mocy) dla procesu mieszania,
- \bar{G} - przeciętny gradient prędkości s^{-1} ,
- N - zużycie mocy mieszania w komorze flokulacji W,
- N_1 - wkład mocy mieszania na jednostkę objętości wody w reaktorze $\frac{W}{m^3}$,
- n - ilość obrotów mieszadła na sekundę,
- n_1 - ilość obrotów mieszadła na minutę,
- T - czas wolnego mieszania s,
- u - prędkość obwodowa łopatek mieszadła m/s,
- V - objętość wody w komorze flokulacji (reaktorze) m^3 ,
- z - ilość łopatek mieszadła,
- η - współczynnik lepkości dynamicznej wody Pa.s,
- ν - współczynnik lepkości kinematycznej $\frac{m^2}{s}$,
- ρ - gęstość cieczy $\frac{kg}{m^3}$.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ МЕШАЛОК,
ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ КАМЕРАХ ФЛОКУЛЯЦИИ.

ЧАСТЬ II. ПОСРЕДСТВЕННЫЙ ГРАДИЕНТ СКОРОСТИ,

А КОНСТРУКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МЕШАЛОК И РЕАКТОРОВ

Резюме

Статья является второй частью обработки, излагающей результаты сравнительных исследований некоторых конструкционных разновидностей мешалок, применяемых в циркуляционных камерах флокуляции. Она касается влияния, какое могут оказывать турбинные (тарельчатые, дисковые) и пропеллерные мешалки, а также вертикальные перегородки в реакторе на зависимость посредственного градиента скорости от окружной скорости лопастей и количества оборотов мешалки.

THE COMPARATIVE INVESTIGATION OF SOME TYPES OF MIXERS
USED IN THE CIRCULATION FLOCCULATION CHAMBERS
PART II. THE AVERAGE GRADIENT OF VELOCITY
AND THE CONSTRUCTION FEATURES OF MIXERS AND REACTORS

S u m m a r y

The paper consists the second part of the research summing up the results of investigation of some construction varieties of mixers utilized in circulation flocculation chambers. The paper deals with the possible influence of turbine (deshed disk, disk type) mixers and propeller mixers and vertical baffles in a reactor on the relation of the average velocity gradient to the circumferential velocity of mixers and the number of mixer revolutions.