

Spis treści

Przedmowa	11
Oznaczenia i wymiary najważniejszych wielkości	13
Rozdział 1.	19
Zagadnienia ogólne	19
1.1. Pojęcia podstawowe i definicje	19
1.1.1. Pojęcie mieszania	19
1.1.2. Stopień zmieszania	20
1.1.3. Intensywność mieszania	23
1.1.4. Efektywność mieszania	23
1.2. Teoria podobieństwa	24
1.2.1. Podobieństwo geometryczne	24
1.2.2. Podobieństwo zjawisk fizycznych	26
1.2.3. Twierdzenia teorii podobieństwa	27
1.2.4. Praktyczne układanie modułów podobieństwa	27
1.2.4.1. Analiza równań różniczkowych	27
1.2.4.2. Analiza wymiarowa	29
1.2.5. Zastępcze liczby kryterialne używane w procesach mieszania	31
1.2.5.1. Liczba Reynoldsa ¹⁾	31
1.2.5.2. Liczba Froude'a ¹⁾	34
1.2.5.3. Liczba mocy	34
1.2.5.4. Liczba Webera ¹⁾	35
1.2.6. Wykorzystanie równań kryterialnych do modelowania procesów mieszania	35
1.3. Lepkość cieczy	36
1.3.1. Ciecze niutonowskie	36
1.3.1.1. Obliczanie lepkości cieczy jednorodnych	37
1.3.1.2. Lepkość roztworów oraz mieszanin ciekłych	39
1.3.2. Ciecze nienitonowskie ¹⁾	39
1.3.2.1. Ciecze o własnościach reologicznych niezmiennych w czasie	40
1.3.2.2. Ciecze o własnościach reologicznych zmiennych w czasie	42
1.3.2.3. Obliczanie lepkości cieczy nienitonowskich w mieszalnikach	42
1.3.3. Niejednorodne mieszaniny ciekłe	43
1.3.3.1. Lepkość zawiesin (suspensji)	45
1.3.3.2. Lepkość emulsji	46
Literatura	47

Rozdział 2.	50
Przegląd podstawowych typów mieszalników cieczy	50
2.1. Wiadomości ogólne	50
2.2. Mieszadła	51
2.2.1. Mieszadła turbinowe	54
2.2.1.1. Mieszadła turbinowe tarczowe	55
2.2.1.2. Inne typy mieszadeł turbinowych	56
2.2.2. Mieszadła śmigłowe	57
2.2.3. Mieszadła łapowe	61
2.2.4. Mieszadła kotwicowe i ramowe	64
2.2.5. Mieszadła ślimakowe	67
2.2.6. Mieszadła wytwarzające duże naprężenia ścinające	71
2.2.7. Mieszadła skrobakowe	73
2.3. Zbiorniki mieszalnika	73
2.4. Mieszalniki przepływowe	77
2.4.1. Mieszalniki przepływowe bez mieszadeł mechanicznych (mieszalniki statyczne)	78
2.4.2. Mieszalniki przepływowe z mieszadłami	82
2.5. Napędy	85
2.5.1. Ogólne warunki pracy napędów mieszadeł	85
2.5.2. Wał mieszadła	86
2.5.3. Łączenie wałów	89
2.5.4. Łożyskowanie wału	90
2.5.5. Uszczelnienia wałów	91
2.5.6. Przekładnie	95
2.5.7. Silniki napędowe	99
2.5.7.1. Silniki elektryczne	99
2.5.7.2. Silniki hydrauliczne i pneumatyczne	102
2.5.8. Hermetyczne układy napędowe	103
Literatura	104
Rozdział 3.	107
Zagadnienia hydrodynamiczne w mieszalnikach	107
3.1. Wiadomości ogólne	107
3.2. Rozkłady prędkości cieczy w mieszalniku	107
3.3. Równania opisujące prędkości cieczy w mieszalniku (przepływ burzliwy)	114
3.3.1. Zbiorniki bez przegród	114
3.3.2. Zbiorniki z przegradami	117
3.4. Prędkość pulsacyjna w burzliwym strumieniu cieczy w mieszalniku	120
3.5. Cyrkulacja cieczy w mieszalniku	123
3.6. Wydajność pompowania mieszadeł	128
3.6.1. Wzory uzyskane z równań bilansowych	128
3.6.2. Metody pomiaru wydajności pompowania	130
3.6.3. Wyniki badań doświadczalnych wydajności pompowania	131
3.6.4. Zależność pomiędzy wydajnością pompowania i mocą mieszania	134
3.7. Czas mieszania (homogenizacji)	135
3.7.1. Proces okresowy	135
3.7.1.1. Metody pomiaru czasu mieszania	136
3.7.1.2. Korelacje badań doświadczalnych czasu mieszania	137
3.7.2. Optymalizacja warunków homogenizacji cieczy w mieszalniku	139
3.7.3. Dynamika mieszania w zbiorniku mieszalnika przepływowego	140
3.7.4. Dynamika mieszania w mieszalnikach statycznych	147

3.8.	Hydraulika mieszania układów niejednorodnych	148
3.8.1.	Warunki wytwarzania zawiesiny (suspensji) w mieszalnikach	149
3.8.2.	Warunki wytwarzania emulsji w mieszalnikach	154
3.8.3.	Warunki dyspergowania gazu w mieszalnikach	157
3.8.4.	Obliczanie średnic kropeł (pęcherzyków) oraz powierzchni międzyfazowej układu rozproszonego	160
3.8.5.	Doświadczalne wyznaczanie średnic kropeł oraz powierzchni międzyfazowej	162
3.8.5.1.	Metody fotograficzne	162
3.8.5.2.	Metody optyczne	163
3.8.5.3.	Metody sedymentacyjne	164
3.8.5.4.	Metody dyfuzyjne (chemiczne)	164
3.8.6.	Równania robocze do obliczania średnic kropeł (pęcherzyków)	164
3.8.7.	Objętość pęcherzyków gazu w mieszaninie dwufazowej gaz—ciecz w mieszalniku	166
	Literatura	168
Rozdział 4.		176
Moc mieszania cieczy		176
4.1.	Wiadomości ogólne	176
4.2.	Wyprowadzenie równania kryterialnego do obliczania mocy mieszania	176
4.2.1.	Przypadek mieszalnika standardowego	176
4.2.2.	Przypadek mieszalnika niestandardowego	178
4.3.	Omówienie ogólne charakterystyk mocy	181
4.4.	Uprozczone wzory do obliczania mocy mieszania	182
4.5.	Modelowanie mocy mieszania	183
4.6.	Charakterystyki mocy ważniejszych mieszadeł	185
4.6.1.	Mieszadła turbinowe	186
4.6.2.	Wpływ parametrów geometrycznych mieszalnika na moc mieszadeł turbinowych	190
4.6.2.1.	Wpływ liczby łopatek Z	190
4.6.2.2.	Wpływ wymiarów łopatek (parametrów a/d oraz b/d)	191
4.6.2.3.	Wpływ kształtu oraz usytuowania łopatek	192
4.6.2.4.	Wpływ średnicy zbiornika (parametru D/d)	192
4.6.2.5.	Wpływ przegród (parametrów B/D oraz J)	193
4.6.2.6.	Wpływ wysokości cieczy w zbiorniku (parametru H/d)	194
4.6.2.7.	Wpływ usytuowania mieszadła	194
4.6.2.8.	Wpływ kierunku obrotów mieszadła	196
4.6.2.9.	Wpływ umieszczenia równocześnie na jednym wale dwu mieszadeł	196
4.6.2.10.	Wpływ węzownic	196
4.6.2.11.	Wpływ stabilizatorów mieszadeł	197
4.6.2.12.	Wpływ innych parametrów geometrycznych	197
4.6.2.13.	Wpływ wielkości mieszalnika (skali)	197
4.6.3.	Mieszadła śmigłowe	197
4.6.4.	Wpływ parametrów geometrycznych mieszalnika na moc mieszadeł śmigłowych	200
4.6.4.1.	Wpływ skoku mieszadła (parametru S/d)	200
4.6.4.2.	Wpływ innych parametrów geometrycznych	201
4.6.5.	Mieszadła ślimakowe	202
4.6.6.	Mieszadła łapowe	207
4.6.7.	Wpływ parametrów geometrycznych mieszalnika na moc mieszadeł łapowych	209
4.6.7.1.	Wpływ szerokości łapy mieszadła oraz stosunku D/d	209
4.6.7.2.	Wpływ przegród	209
4.6.7.3.	Wpływ pochylenia łopatek	211
4.6.7.4.	Wpływ pozostałych parametrów [92]	211
4.6.8.	Mieszadła kotwicowe i ramowe	211

4.6.9.	Mieszadła specjalne	214
4.6.9.1.	Wkładki mieszające mieszalników statycznych	215
4.7.	Wpływ własności płynu na moc mieszania	215
4.7.1.	Układy dwufazowe ciecz — ciecz	215
4.7.2.	Układy dwufazowe ciecz — ciało stałe	215
4.7.3.	Układy dwufazowe ciecz — gaz	216
4.7.4.	Ciecze nieniutonowskie	218
4.8.	Moc rozruchowa mieszadeł	224
4.9.	Metody pomiaru mocy mieszania	227
4.9.1.	Metody elektryczne	227
4.9.2.	Metody mechaniczne	229
4.9.3.	Metody kalorymetryczne	231
4.9.4.	Przyczyny błędów pomiaru mocy	232
	Literatura	232
Rozdział 5.		239
Wymiana ciepła w mieszalnikach cieczy		239
5.1.	Wiadomości ogólne	239
5.2.	Sposoby pomiaru współczynników wnikania ciepła	241
5.3.	Korelacja wyników badań doświadczalnych	244
5.3.1.	Mieszadła turbinowe	248
5.3.1.1.	Wnikanie ciepła dla płaszcza	248
5.3.1.2.	Wnikanie ciepła dla węzownicy	258
5.3.2.	Mieszadła śmigłowe	259
5.3.2.1.	Wnikanie ciepła dla płaszcza	261
5.3.2.2.	Wnikanie ciepła dla węzownicy	264
5.3.3.	Mieszadła łapowe	266
5.3.3.1.	Wnikanie ciepła dla płaszcza	267
5.3.3.2.	Wnikanie ciepła dla węzownicy	271
5.3.4.	Mieszadła kotwicowe i ramowe	274
5.3.5.	Mieszadła skrobakowe	279
5.4.	Wnikanie ciepła dla cieczy nieniutonowskich	282
5.5.	Wnikanie ciepła dla układów niejednorodnych	290
5.5.1.	Układy ciecz — ciało stałe	290
5.5.2.	Układy ciecz — ciecz	293
5.5.3.	Układy ciecz — gaz	293
5.6.	Badanie lokalnych współczynników wnikania ciepła w mieszalniku	297
5.7.	Optymalizacja geometrii mieszalnika przy wymianie ciepła	301
5.8.	Modelowanie wymiany ciepła	304
	Literatura	306
Rozdział 6.		
Wymiana masy w mieszalnikach cieczy		312
6.1.	Wiadomości ogólne o konwekcyjnym ruchu masy między dwiema fazami	312
6.1.1.	Teoria dwóch warstewek granicznych	312
6.1.2.	Teoria penetracji	314
6.1.3.	Teoria warstewkowo-penetracyjna	317
6.2.	Równania definicyjne wnikania i przenikania masy	319
6.2.1.	Ujęcia tradycyjne	319
6.2.2.	Użycie modułu napędowego $\Delta\pi_A$	323
6.2.2.1.	Korzyści wynikające z zastosowania uogólnionej siły napędowej	327

6.3.	Obliczanie współczynników wnikania masy w mieszalnikach	327
6.3.1.	Omówienie ogólne równań korelacyjnych	327
6.3.2.	Współczynniki wnikania masy dla układów ciało stałe — ciecz	330
6.3.2.1.	Wnikanie masy w układzie ciało stałe — ciecz z równoczesną reakcją chemiczną	338
6.3.3.	Układy ciecz — ciecz	341
6.3.3.1.	Aparatura	341
6.3.3.2.	Współczynniki przenikania masy	344
6.3.4.	Układy ciecz — gaz	347
6.3.4.1.	Rozwiązania aparaturowe	347
6.3.4.2.	Współczynniki wnikania masy	353
	Literatura	357
Rozdział 7.		361
Mieszanie materiałów ziarnistych		361
7.1.	Aktualny stan zagadnienia	361
7.2.	Pojęcia podstawowe i definicje	362
7.2.1.	Składnik mieszaniny oraz składnik kluczowy	362
7.2.2.	Mieszanina idealna i rzeczywista	362
7.2.3.	Stany graniczne mieszaniny	362
7.3.	Parametry opisujące materiał ziarnisty	363
7.3.1.	Średnica zastępcza ziarna	363
7.3.2.	Porowatość ładunku ziarnistego	364
7.3.3.	Kształt ziarna	366
7.3.4.	Powierzchnia właściwa ładunku ziarnistego	367
7.3.5.	Współczynnik tarcia wewnętrznego — spójność	367
7.3.6.	Naturalny kąt zsypania	368
7.4.	Parametry opisujące stan dynamiczny mieszaniny ziarnistej	369
7.4.1.	Wariancja, odchylenie standardowe	369
7.4.2.	Stopień zmieszania	371
7.5.	Testy statystyczne stosowane do oceny jakości mieszaniny	373
7.6.	Dobór rozmiaru próby	375
7.7.	Mechanizmy mieszania	378
7.7.1.	Homogenizacja	378
7.7.2.	Segregacja	379
7.8.	Mieszanie w modelowym mieszalniku bębnowym	380
7.8.1.	Opis cyrkulacji ziarn złoża	380
7.8.2.	Mieszanie dyfuzyjne	381
7.9.	Szybkość mieszania	382
7.10.	Przegląd podstawowych konstrukcji mieszalników materiałów ziarnistych ¹⁾	387
7.10.1.	Wiadomości ogólne	387
7.10.2.	Mieszalniki z komorą obrotową	387
7.10.2.1.	Mieszalniki bębnowe	387
7.10.2.2.	Inne mieszalniki z komorą obrotową	390
7.10.3.	Mieszalniki z komorą nieruchomą	392
7.10.3.1.	Mieszalniki z mieszadłami typu ślimakowego	392
7.10.3.2.	Mieszalniki z mieszadłem turbinowym	393
7.10.3.3.	Mieszalniki z mieszadłem tarczowym	394
7.10.3.4.	Mieszalniki intensywne	396
7.10.3.5.	Mieszalniki gniotownikowe	396
7.11.	Czynniki decydujące o doborze mieszalnika	397
7.11.1.	Stopień jednorodności mieszaniny	397
7.11.2.	Moc mieszania	398

7.11.3.	Czas mieszania	398
7.11.4.	Zużycie aparatury	398
7.11.5.	Ogrzewanie lub chłodzenie ładunku	398
7.11.6.	Praca pod próżnią lub podwyższonym ciśnieniem	399
7.11.7.	Czyszczenie aparatury	399
7.11.8.	Tworzenie się pyłu	399
7.11.9.	Powstawanie ładunku elektrostatycznego	400
7.12.	Zalecenia ogólne	400
	Literatura	401
Rozdział 8.		404
Dodatek		404
Skorowidz rzeczowy		420