

INŻYNIERIA I APARATURA CHEMICZNA



CHASOPISMO NAUKOWO-TECHNICZNE
STOWARZYSZENIA INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW PRZEMYSŁU CHEMICZNEGO
oraz
STOWARZYSZENIA INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW MECHANIKÓW POLSKICH

Rok 36 (28)

Maj – Czerwiec 1997 r.

Nr 3/1997

Prof. dr hab. inż. Jan BANDROWSKI
Dr hab. inż. Jan HEHLMANN, prof. Pol. Śl.
Dr inż. Henryk MERTA
Dr inż. Józef ZIOŁO

Politechnika Śląska, Instytut Inżynierii Chemicznej i Budowy Aparatury, Gliwice

Podział zawiesin ze względu na możliwość zagęszczania w osadnikach z wypełnieniem oraz analiza czynników wpływających na proces sedymentacji cienkowarstwowej

Przedstawiono podział zawiesin na trzy grupy ze względu na możliwość zagęszczania w osadnikach z wypełnieniem. Omówiono procesy sedymentacji charakterystyczne dla każdej z grup oraz podano przykłady zawiesin. Przeprowadzono analizę zjawisk i czynników ubocznych, które mogą obniżyć rzeczywistą skuteczność sedymentacji cienkowarstwowej w stosunku do skuteczności obliczeniowej.

Wprowadzenie

Osadniki z wypełnieniem różnią się od osadników konwencjonalnych podziałem strumienia zawiesiny ciała stałego w cieczy na wiele płytkich strumieni płynących oddzielnie równoległymi przewodami. Podstawy teorii tzw. płytkiej sedymentacji, czyli opadania cząstek w cienkich warstwach cieczy, opisane zostały w pracach *Hazena*, *Campa*, *Culpa* i *Fischerströma* [1], a próby zastosowania tego procesu w skali technicznej przeprowadzono już w latach dwudziestych bieżącego stulecia.

Pierwsze osadniki wielostrumieniowe budowane były w postaci aparatów 2–4 piętrowych, a obecne konstrukcje najczęściej polegają na zastosowaniu specjalnych pakietów, które umieszczane są w części przepływowej konwencjonalnych osadników. Buduje się również samodzielne, specjalnie zaprojektowane jednostki zawierające jeden lub więcej modułów wypełnienia. Wśród osadników wielostrumieniowych największe znaczenie praktyczne mają aparaty z wypełnieniem płytowym i rurowym. W pracy [2] przeprowadzono analizę tych modeli ze względu na obliczeniową skuteczność sedymentacji, porównano przyjęte założenia oraz wykazano podobieństwa i różnice w sposobach opisu przepływu dwufazowego ciała stałego – cieczy przez wypełnienia płytowe i rurowe. Wpływ modułów geometrycznych w wybranych modelach na skuteczność

sedymentacji na wypełnieniu płytowym opisano w pracy [3], a własny model sedymentacji w osadnikach z wypełnieniem rurowym i płytowym przedstawiono w pracach [4, 5].

Skuteczność sedymentacji zależy w istotny sposób od stężenia i natężenia przepływu zawiesiny, jej własności fizycznych (gęstości ciała stałego i cieczy oraz jej lepkości) i składu ziarnowego ciała stałego. Wynika stąd potrzeba określenia, jakie zawiesiny można poddawać zagęszczaniu w osadnikach z wypełnieniem, aby można się było spodziewać, że proces będzie przebiegał skutecznie i zgodnie z oczekiwaniem.

W praktyce projektowej oraz podczas eksploatacji osadników z wypełnieniem należy również wziąć pod uwagę zjawiska i czynniki uboczne, pominięte z konieczności w rozważaniach teoretycznych (modelowych), a mogące spowodować obniżenie rzeczywistej skuteczności sedymentacji w stosunku do obliczeniowej. Zagadnienia te omówione zostały w trzeciej części tej pracy.

Podział zawiesin ze względu na możliwość zagęszczania w osadnikach z wypełnieniem

Zawiesina jest układem dwufazowym, składającym się z cząstek ciała stałego zawieszonych w cieczy. Jeżeli cząstki rozmieszczone są równomiernie w objętości zawiesiny, to

uważa się ją za jednorodną, a w przeciwnym przypadku – za niejednorodną.

Zawartość ciała stałego w zawieszynie (stężenie ciała stałego) może być różna. Zawiesiny zawierające poniżej 10% objętościowych ciała stałego uważa się zazwyczaj za rozcieńczone, natomiast powyżej ok. 70% obj. – za zagęszczone [6, 7]. Wzrost stężenia ciała stałego w zawieszynie może być jednym z czynników powodujących, że stanie się ona płynem nienewtonowskim. Wtedy jej lepkość będzie zmienna i zależna od szybkości ścinania (płyn reostabilny) lub od szybkości ścinania i od czasu trwania naprężenia ścinającego (płyn reologicznie niestabilny).

Własności ciała stałego, takie jak kształt cząstek, ich zastępczy wymiar i rozkład charakteryzujący stan rozproszenia (dyspersji) cząstek, własności powierzchniowe oraz gęstość mają duży wpływ na zachowanie się zawiesziny podczas sedymentacji. Na tej podstawie można wyróżnić następujące rodzaje zawiesin [8]:

- zawiesiny składające się z odrębnych cząstek;
- zawiesiny kłaczkowate (o stężeniu $< 500 \text{ g/m}^3$);
- zawiesiny tworzące podczas sedymentacji strefy nieciągłości stężeń; (zawartość ciała stałego 1000 g/m^3).

Zawiesiny składające się z odrębnych cząstek mają niskie stężenie. Kształt tworzących je cząstek może być bardzo różnorodny: iglasty, ostro krawędziowy, włóknisty, płatkowy itp.

Każdy kształt ma dwie odrębne cechy [6], z których jedna dotyczy stopnia podobieństwa do jakiegoś kształtu izometrycznego (regularnego – jak kula, czworościan, sześciąt itp. lub o poszczególnych rozmiarach współmiernych w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach), druga zaś dotyczy własności odróżniającej np. jeden prostopadłościan od drugiego. Ponadto każda cząstka powinna być określona za pomocą jednego charakterystycznego rozmiaru, jakim jest średnica zastępcza. Są trzy podstawowe grupy średnic zastępczych: średnica zastępczej kuli, średnica zastępczego koła i średnica statystyczna [7].

Sedymentacja omawianych zawiesin przebiega w ten sposób, że cząstki podczas opadania zachowują swoją indywidualność, tzn. nie zmieniają wymiarów, kształtu i gęstości. W konsekwencji prędkość opadania jest stała i można ją obliczać z klasycznych równań sedymentacji. Występowanie zjawiska swobodnego opadania cząstek ciała stałego stanowi jedno z podstawowych założeń, na których opierają się modele osadników z wypełnieniem.

Cząstki mogą tworzyć zbiory zróżnicowane pod względem rozmiarów i kształtu. Własności takich zbiorów opisuje się za pomocą tzw. charakterystyk zbioru [7]. Zmiana średnicy lub średnicy zastępczej cząstki najczęściej odnoszona jest do objętości (masy) cząstek, a zbiór charakteryzuje się podając gęstość prawdopodobieństwa rozkładu lub jego postać skumulowaną. Badania doświadczalne składu ziarnowego zawiesziny prowadzą do otrzymania graficznej postaci funkcji rozkładu średnic cząstek. Aby otrzymać postać analityczną, wymagana m.ąin. przy projektowaniu osadników z wypełnieniem, należy dopasować do wykresu odpowiednią funkcję. Większość takich funkcji jest dwuparametrowa, a spośród nich do opisu uziarnienia zawieszin najczęściej stosowany jest rozkład logarytmiczno-normalny oraz rozkład RRSB (*Rosina–Rammlera–Sperlinga–Benetta*).

Zawiesiny kłaczkowate wskutek aglomeracji cząstek podczas sedymentacji opadają z rosnącą prędkością. Aglomeracja cząstek jest głównie wynikiem zróżnicowanej prędkości sedymentacji, ponieważ cząstki opadające z większą prędkością porywają cząstki wolniejsze. Zależy ona także od czasu przebywania zawiesziny w osadniku.

W celu przyspieszenia sedymentacji stosuje się wstępną flokulację. Ponadto, przeciwny przepływ zawiesziny wzglę-

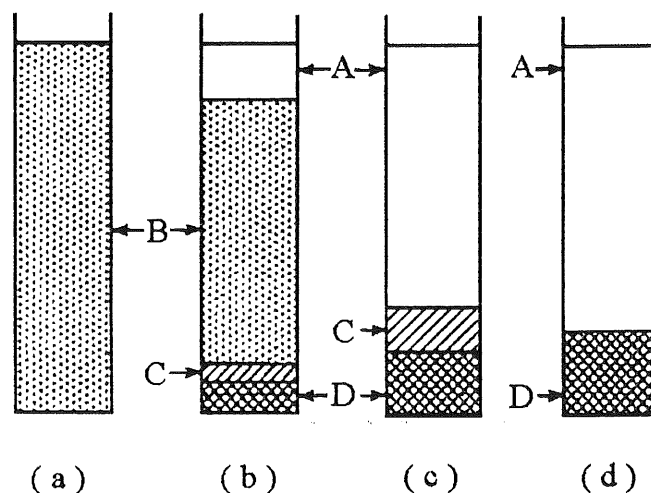
dem kierunku przesuwania się osadu (co jest najczęściej stosowane w osadnikach) stwarza również dobre warunki do flokulacji. W przypadku zawieszin hutniczych o ferromagnetycznych cząstkach fazy stałej znaczną intensyfikację procesu sedymentacji daje zastosowanie metody koagulacji elektromagnetycznej [9, 10, 11].

Badania doświadczalne oraz praktyka przemysłowa wykazały, że zawiesiny kłaczkowate można rozdzielać w osadnikach wielostrumieniowych [1, 8, 12, 13].

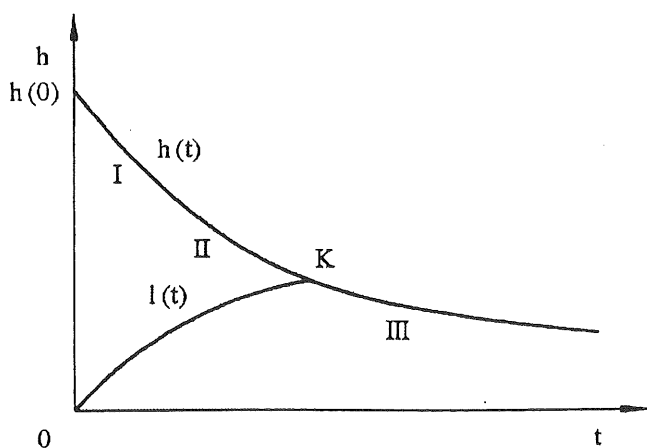
Omawiana grupa zawiesin obejmuje m.in. zawiesiny w ciągach technologicznych uzdatniania wody (wstępne i pokoagulacyjne), zawiesiny kłaczkowate w postaci ścieków przemysłowych (typu wodorotlenków żelaza i glinu, pulpy itp.) i ścieków miejskich oraz zawiesiny wtórne po złożach biologicznych z wód deszczowych i ścieków ogólnospławnych. Na proces rozdziału ścieków niekorzystnie wpływają wahania temperatury i duże wahania stężenia [13]. Ze względu na zarastanie przewodów nie zaleca się stosowania osadników z wypełnieniem do wtórnej sedymentacji po osadzie czynnym, chociaż i tutaj w niektórych przypadkach aparaty tego typu spełniały swe zadania [14].

Zawiesiny tworzące podczas sedymentacji strefy nieciągłości stężeń charakteryzują się wysoką zawartością ciała stałego. Proces opadania tego rodzaju zawieszin nosi nazwę opadania zakłóconego. Jego przebieg można obserwować wykonując doświadczenie nazywane testem sedymentacyjnym zawiesziny. Polega ono na obserwacji zachowania się zawiesziny umieszczonej w przezroczystym cylindrze. Początkowa wysokość słupa zawiesziny wynosi h_0 , a jej początkowe stężenie, jednakowe w każdym miejscu, równe jest C_0 . Ten stan początkowy dotyczy czasu $t = 0$. Od tego momentu rozpoczyna się sedymentacja zawiesziny.

Przebieg tego procesu przedstawiono w sposób uproszczony na rys. 1. U góry cylindra pojawia się granica między cieczą a zawiesziną i równocześnie na dnie naczynia zaczyna narastać osad. Powstają zatem trzy strefy: ciecz czysta *A*, zawieszina *B* i osad *D*. Podczas sedymentacji niektórych zawieszin strefa zawiesziny może składać się z dwóch części: górnej *B* – o stałym stężeniu C_0 i dolnej *C* – o zmiennym stężeniu. Z upływem czasu górna część zawiesziny *B* zanika, a strefa osadu *D* narasta. W pewnym momencie granica między cieczą a zawiesziną i granica między zawiesziną a osadem stykają się ze sobą i powstaje granica między cieczą a osadem. Osad ulega dalszemu zagęszczeniu aż do osiągnięcia stężenia C_{\max} . Ze względu na fakt, że na granicach między strefami następuje skok stężenia ciała stałego, noszą one również nazwę górnej i dolnej nieciągłości.

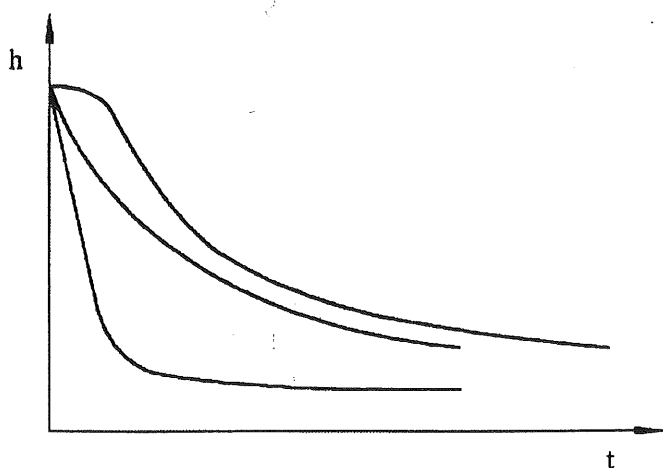


Rys. 1. Przebieg testu sedymentacyjnego



Rys. 2. Krzywa sedymentacji i linia narastania osadu

Na podstawie odczytanych wysokości położenia górnej nieciągłości h i dolnej nieciągłości l , w zależności od czasu t , sporządza się wykres przedstawiony na rys. 2. Krzywa $h(t)$ nosi nazwę krzywej sedymentacji zawiesiny, natomiast krzywą $l(t)$ nazywa się krzywą narastania osadu. Na krzywej sedymentacji można wyróżnić trzy charakterystyczne części: część prostoliniową i dwie części krzywoliniowe, rozdzielone punktem przecięcia krzywej sedymentacji z krzywą narastania osadu. Punkt ten nosi nazwę punktu krytycznego krzywej sedymentacji. Część prostoliniowa krzywej sedymentacji odzwierciedla fakt występowania w cylindrze strefy zawiesiny o stałym stężeniu C_0 ; pierwsza część krzywoliniowa wskazuje na występowanie strefy zawiesiny o zmiennym stężeniu, a druga część krzywoliniowa krzywej sedymentacji przedstawia zagęszczanie osadu do stężenia C_{max} , któremu odpowiada wysokość h_{min} . W zależności od rodzaju zawiesiny krzywe sedymentacji mogą mieć również inne kształty (rys. 3).



Rys. 3. Kształty krzywej sedymentacji

Interpretacja krzywej sedymentacji jest od kilkudziesięciu lat przedmiotem licznych prac wśród których istotną rolę odegrały opracowania Kyncha, Tiller, Fitcha i Fonta [7]. Na podstawie krzywej sedymentacji zawiesiny, która w sposób pełny uwzględnia jej własności wpływające na proces opadania, oblicza się powierzchnie sedymentacji osadników konwencjonalnych [15, 16].

Zawiesiny tworzące podczas sedymentacji strefy nieciągłości stężeń nie mogą, z uwagi na wysoką zawartość ciała stałego, być bezpośrednio rozdzielane w osadnikach z wypełnieniem. Można jednak zastosować specjalne rozwiązanie kon-

strukcyjne polegające na umieszczeniu w strefie klarowania osadnika konwencjonalnego wkładów (pakietów) wielostrumieniowych. W tej przestrzeni stężenie ciała stałego jest już wystarczająco niskie, aby umożliwić prawidłowy przebieg sedymentacji wewnątrz wypełnienia. Osadniki z wkładami wielostrumieniowymi zastosowano w skali przemysłowej w obiegach wodnych w hutnictwie oraz w obiegach wodno-mulowych przeróbki mechanicznej i wzbogacania kopalin w górnictwie (m.in. zagęszczanie koncentratu flotacyjnego miedzi, zagęszczanie koncentratu blendy cynkowej, zagęszczanie filtratu powirówkowego w przetwórstwie siarki). Obszerne informacje na ten temat wraz z bibliografią zamieszczone są w pracy Kowalskiego [9].

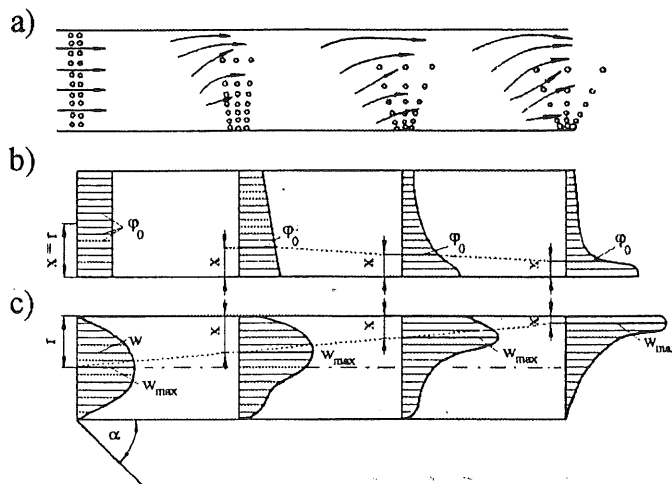
Analiza wpływu czynników zakłócających proces sedymentacji

Wspomniane we wstępie modele sedymentacji w cienkich warstwach zawiesiny, uzyskanych dzięki zastosowaniu odpowiednich wypełnień, wymagały spełnienia szeregu założeń. Dzięki nim model procesu ulegał uproszczeniu, mniej złożone były równania bilansu sił oraz łatwiejsze było znalezienie całek równań różniczkowych.

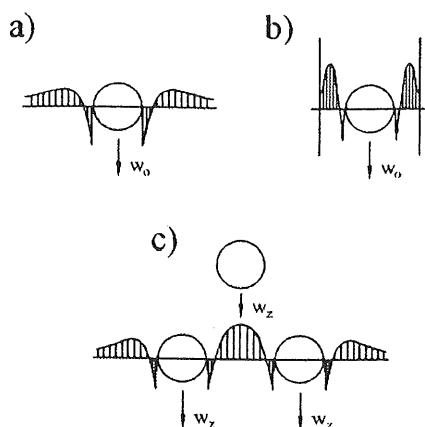
W praktyce projektowej oraz podczas eksploatacji osadników z wypełnieniem należy jednak zwracać uwagę na zjawiska i czynniki uboczne, pominięte z konieczności w rozważaniach teoretycznych, a mogące zakłócić proces sedymentacji i spowodować, że rzeczywista skuteczność sedymentacji będzie niższa od obliczeniowej.

Do zjawisk ubocznych, mających wpływ na proces sedymentacji w układach wielostrumieniowych zalicza się:

- **deformację profilu prędkości** wynikającą z polidispersyjności zawiesiny oraz ze zmiany jej stężenia w przewodzie nachylonym pod kątem α do poziomu. Na rys. 4 przedstawiono przebieg tego zjawiska [17]. W górnych warstwach strumienia zawiesiny stężenie ciała stałego maleje w sposób ciągły, zaś w pewnej odległości od dna przewodu początkowo rośnie a następnie maleje. Jest to spowodowane zmianą oporu hydraulicznego podczas opływu cząstek i prowadzi w końcu do deformacji profilu prędkości. Przykładowe profile prędkości podczas opadania swobodnego, w pobliżu ścian przewodu oraz podczas opadania zakłóconego przedstawiono na rys. 5 [18],
- **porywanie cząstek ciała stałego przez zbyt szybko płynący strumień cieczy.** Zjawisko to może wystąpić, jeśli liczba Reynoldsa dla cieczy przekroczy wartość 2000–2800, a liczba Froude'a będzie mniejsza od 10^{-5} [8, 12, 17],



Rys. 4. Schemat przepływu przez przewód nachylony pod kątem α do poziomu: a) charakter przepływu cieczy, b) zmiana stężenia ciała stałego w zawieszynie, c) zmiana profilu prędkości cieczy



Rys. 5. Profile prędkości cieczy podczas opadania: a) swobodnego cząstki, b) w pobliżu ścian przewodu, c) zakłóconego

– **porywanie cząstek ciała stałego wskutek przyjęcia zbyt krótkiej drogi osadzania** (za małą długość przewodu sedimentacyjnego). Ma to miejsce wówczas, gdy stosuje się metodę obliczeniową opartą na założeniu przepływu uwarstwionego, a w praktyce wystąpi nie w pełni rozwinięty przepływ uwarstwiony. Aby uniknąć takiej sytuacji zaleca się zwiększyć obliczoną długość przewodu l_0 do wartości l wynikającej z zależności [17]

$$l = l_0 + l_1 + l_2 \quad (1)$$

w której długość potrzebna do ustabilizowania się przepływu uwarstwionego wynosi

$$l_1 = 0,103h \text{ Re} \quad (2)$$

gdzie h oznacza odległość między płytami, a dodatkową długość wymaganą do zatrzymania osadu w przewodzie przyjmuje się jako $l_2 = 0,2 - 0,4 \text{ m}$,

- **porywanie cząstek ciała stałego**, opadających z dolnych ścian przewodów do komory osadzania, przez wznoszący się strumień cieczy. Można temu zapobiec rozmieszczając wkłady wielostrumieniowe naprzemiennie tak, aby były nachylone do poziomu w przeciwnych kierunkach [19],
- **nierównomierne doprowadzanie zawiesiny** w przypadku dużej liczby przewodów sedimentacyjnych. Zjawisko to powinno być wyeliminowane przez zastosowanie odpowiednich dystrybutorów zawiesiny [19],
- **zatrzymywanie się osadzonych cząstek ciała stałego** na powierzchni przewodów wskutek zbyt małego kąta ich nachylenia do poziomu. Przyjmuje się, że grubość warstwy osadu nie powinna przekraczać 1–5 mm [17],
- **zbyt wysokie stężenie cząstek ciała stałego w zawieszynie**, które powoduje, że na ruch każdej cząstki zaczyna wpływać obecność opadających cząstek sąsiednich. W praktyce przyjmuje się, że wzajemne oddziaływanie cząstek można pominąć przy stężeniach mniejszych od 1% i wartość ta traktowana jest jako graniczna dla opadania swobodnego [6]. Pomiędzy opadaniem cząstek w zawieszynie a opadaniem pojedynczej cząstki istnieją dwie zasadnicze różnice. Pierwsza z nich polega na tym, że opadające sąsiednie cząstki wypierają do góry ciecz, czyli rozważana cząstka opada w cieczy płynącej w przeciwną stronę a nie w cieczy nieruchomej. Istotą drugiej różnicy jest stwierdzenie, że prędkość opadania cząstek w zawieszynie zmniejsza się wskutek zwiększenia się oporu ośrodka. Większy opór ośrodka jest wynikiem zmiany pola względnej prędkości opływu cząstki, który to czynnik jest spowodowany obecnością cząstek sąsiednich.

Sedymентация zawiesin cząstek ciała stałego o jednakowych rozmiarach i gęstości przebiega w ten sposób, że cząstki opadają z taką samą prędkością w_z . Jeżeli cząstki będą miały różne rozmiary, to ich prędkość opadania będzie różna. W praktyce przyjmuje się, że zawiesiny, w których stosunek średnic największej cząstki do najmniejszej jest mniejszy od 6:1, również sedimentują z jednakową prędkością [6].

Podczas opadania zakłóconego, prędkość cząstki w_z będzie mniejsza od prędkości opadania swobodnego w_{oS} obliczonej w przypadku ruchu uwarstwionego z równania *Stokesa*

$$w_{oS} = \frac{d^2(\rho_s - \rho_c)g}{18\eta_c} \quad (3)$$

w którym d oznacza średnicę cząstki, ρ_c i ρ_s – odpowiednio gęstość cieczy i ciała stałego, η_c – dynamiczny współczynnik lepkości cieczy oraz g – przyspieszenie ziemskie.

W literaturze opisano wiele sposobów obliczania prędkości sedimentacji cząstek w zawieszynie [7]. W przypadku zawiesin monodispersyjnych na ogół odnośne równania mają postać zależności, w których prędkość sedimentacji cząstek w zawieszynie w_z jest iloczynem prędkości obliczonej z równania *Stokesa* – w_{oS} i funkcji zależnej od objętościowego stężenia cząstek w zawieszynie – φ . Do najczęściej stosowanych zależności należą:

– wzór *Steinoura* [20]

$$w_z = w_{oS}(1 - \varphi)^2 10^{-1,82\varphi} \quad (4)$$

– zależność *Richardsona–Zaki* [21]

$$w_z = w_o(1 - \varphi)^n \quad (5)$$

przy czym wykładnik n można obliczyć z zależności [22]

$$n = 5,1 + 0,27\text{Re}_o^{0,9} \quad (6)$$

w której liczba Reynoldsa Re_o obliczana jest dla prędkości opadania w_o .

– zależność *Khana–Richardsona* [23], która dla zakresu ruchu uwarstwionego ma postać

$$\text{Ar} = 18\text{Re}_z\varphi^{-4,8} \quad (7)$$

gdzie

$$\text{Ar} = \frac{d^3(\rho_s - \rho_c)\rho_c g}{\eta_c^2} \quad (8)$$

$$\text{Re}_z = \frac{w_z d\rho_c}{\eta_c} \quad (9)$$

– równanie *Happela* [24]

$$w_z = w_{oS} \frac{3 - \frac{9}{2}\varphi^{1/3} + \frac{9}{2}\varphi^{5/3} - 3\varphi^2}{3 + 2\varphi^{5/3}} \quad (10)$$

– ogólne równanie korelacyjne *Barnea–Mizrahi* [25]

$$w_z = w_{oS} \frac{(1 - \varphi)^2}{(1 + \varphi^{1/3}) \exp \left[\frac{5\varphi}{3(1 - \varphi)} \right]} \quad (11)$$

– równanie *Zimmelsa* [26]

$$w_z = (1 - \varphi) \left(\frac{-a_2 + \sqrt{a_2^2 + 4a_1a_3^{0,5}}}{2a_1} \right)^2 \quad (12)$$

gdzie

$$\alpha_1 = 0,63(dp_c)^{0,5} \quad (13)$$

$$\alpha_2 = 4,8\eta_c^{0,5} \exp \left[\frac{5\phi}{6(1-\phi)} \right] \quad (14)$$

$$\alpha_3 = \frac{4d^2(\rho_2 - \rho_c)(1-\phi)g}{3(1+\phi)^{1/3}} \quad (15)$$

Z powyższych rozważań, dotyczących wpływu stężenia zawiesiny na prędkość opadania cząstek ciała stałego, wynika, że w przypadku opadania zakłóconego należy w równaniach modelowych opisujących sedimentację cienkowarstwową odpowiednio obniżyć prędkość opadania cząstek podstawiając w_z w miejsce w_o .

LITERATURA

1. W. Olszewski – Nowa technika w inżynierii sanitarnej. Wodociągi i kanalizacja. Tom 5: Osadniki wielostrumieniowe, Arkady Warszawa 1975, s. 95–134.
2. J. Bandrowski, H. Merta, J. Ziolo – Analiza modeli osadników z wypełnieniem. Inż. i Ap. Chem. 34, nr 6, 9–18 (1995).
3. J. Ziolo – Influence of the system geometry on the sedimentation effectiveness of lamella settlers. Chem. Engng Sci 50, nr 1, 149–153 (1996).
4. J. Bandrowski, J. Hehlmann, H. Merta, J. Ziolo – Opracowanie metody optymalnego doboru wysokosprawnych osadników z wypełnieniem na podstawie doświadczalnych badań osadników, Inż. i Ap. Chem. 36, nr 1, 3–7 (1997).
5. J. Bandrowski, J. Hehlmann, H. Merta, J. Ziolo – Studies of sedimentation in settlers with packing. Chem. Engng and Proc. 36, (1997) – w druku.
6. Z. Orzechowski – Przepływy dwufazowe, PWN Warszawa 1990.
7. J. Bandrowski, H. Merta, J. Ziolo – Sedimentacja zawiesin. Zasady i projektowanie, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej Gliwice 1995.
8. B. Cywiński, S. Gdula, E. Kempa, J. Kurbiel, H. Ptaszański – Oczyszczanie ścieków. Tom 1: Oczyszczanie mechaniczne i chemiczne, Arkady Warszawa 1983.
9. W. P. Kowalski – Podstawy teoretyczne projektowania osadników z wkładami wielostrumieniowymi, Zesz. Nauk. AGH Kraków, nr 1500, Mechanika nr 27 (1992).
10. J. Gęga, H. Gruszczyński, J. Wróbel – Koagulacja elektromagnetyczna zawiesiny w obiegu oczyszczalni spalin stalowni konwertorowej, Zesz. Nauk. AGH, 400, 47, 189–197 (1973), wg 9.
11. J. Gęga, J. Wróbel – Behandlung von Prozesswässern der Stahlerzeugung mit Anwendung der elektromagnetischen Koagulation, Stahl und Eisen, 98, 10, 476–481 (1978).
12. Z. Heidrich, M. Roman, J. Tabernacki, J. Zakrzewski – Urządzenia do uzdatniania wody. Zasady projektowania i przykłady obliczeń, Arkady Warszawa 1980.
13. Z. Niedźwiedziński – Metoda obliczania i analiza optymalizacyjna wypełnienia osadników wielostrumieniowych. Zesz. Nauk. Pol. Łódzkiej, nr 599 (1991).
14. J. Banaś – Kierunki unowocześniania oczyszczalni ścieków na przykładzie miast Ajaccio i Propiano we Francji. Gaz Woda Techn. Sanit. 54, 135 (1980).
15. J. Bandrowski, H. Merta, J. Ziolo – Analiza metod obliczania powierzchni sedimentacji ciągłej na podstawie testu sedimentacyjnego zawiesiny. I. Teoria procesu, Inż. Chem. i Proc. 14, nr 4, 555–568 (1993).
16. J. Bandrowski, H. Merta, J. Ziolo – Analiza metod obliczania powierzchni sedimentacji ciągłej na podstawie testu sedimentacyjnego. II. Badania doświadczalne. Inż. Chem. i Proc. 15, nr 1, 38–48 (1994).
17. M. Demura – Projektowanie tonkosłojnych ostożników. Budowlany Kijew 1981.
18. H. J. Binder – Sedimentation aus Ein- und Mehrkornsuspensionen in laminar durchströmten Kreis- und Rechteckrohren. Praca doktorska, Berlin 1980.
19. M. Fayed, L. Otten (red) – Handbook of powder science and technology, Van Nostrand Reinhold Company New York 1984, s. 661–663.
20. M. H. Steinour – Rate of sedimentation. Ind. Eng. Chem. 36, 618, 840, 901 (1940).
21. J. F. Richardson, W. N. Zaki – Sedimentation and fluidisation. Part I, Trans. Instn Chem. Engrs 32, 35 (1955).
22. J. Garside, M. R. Al-Dibouni – Velocity – voidage relationship for fluidization and sedimentation in solid – liquid systems. Ind. Eng. Chem. Proc. Des. Dev. 16, 206 (1977).
23. A. R. Khan, J. F. Richardson – Pressure gradient and friction factor for sedimentation and fluidisation of uniform spheres in liquids, Chem. Engng Sci. 45, 255–265 (1990).
24. J. Happel – Viscous flow in multiparticle systems: Slow motion of fluids relative to beds of spherical particles. AIChE Journal 4, nr 2, 197–201 (1958).
25. E. Barnea, J. Mizrahi – A generalized approach to the fluid dynamics of particulate systems. Chem. Engng J. 5, 171–189 (1973).
26. Y. Zimmels – Hindered motion of particulate system in Newtonian fluids. Acceleration and steady regimes, Powder Tech. 34, 191–202 (1983).

KOMUNIKAT

**POLSKA IZBA PRZEMYSŁU CHEMICZNEGO
OGŁASZA KONKURS
NA NAJLEPSZĄ PRACĘ Z ZAKRESU CHEMII I TECHNOLOGII CHEMICZNEJ
ZASTOSOWANĄ W GOSPODARCE W LATACH 1994-1996**

- Zgłoszenia obejmujące istotny postęp w technologii, organizacji, ekonomii i ochronie środowiska w przemyśle chemicznym lub pokrewnych winny zawierać:
 - 1) tytuł pracy,
 - 2) opis istoty osiągnięcia ze wskazaniem miejsca zastosowania i uzyskanych efektów,
 - 3) skład Zespołu (w przypadku pracy zespołowej) z określeniem procentowego udziału członków Zespołu.
- Zgłoszenia należy nadsyłać pod adresem Polskiej Izby Przemysłu Chemicznego, Warszawa, ul. Żurawia 6/12, w terminie do 31 maja 1997 r.
- Komisja Konkursowa zakończy swoją pracę w czerwcu 1997 r.
- Nagrody i dyplomy zostaną wręczone podczas II Kongresu Technologii Chemicznej, który odbędzie się we wrześniu 1997 r.
- Wysokość nagród określi Zarząd Polskiej Izby Przemysłu Chemicznego w zależności od zebranych na ten cel środków i wartości merytorycznej zgłoszeń.

ZARZĄD POLSKIEJ IZBY PRZEMYSŁU CHEMICZNEGO