

Karol KUS

CHARAKTERYSTYKA I POMIAR PRĘDKOŚCI POZORNEJ W KLAROWNIKACH

Streszczenie. Artykuł omawia czynniki decydujące o prędkości wznoszenia wody w klarownikach, podaje zależność między prędkością rzeczywistą a pozorną oraz przedstawia przykład pomiaru prędkości pozornej w klarowniku modelowym.

Proces oddzielania zawiesiny kłaczkowatej od oczyszczanej wody zachodzić może w szeregu urządzeniach, do których należą również klarowniki. Służą one do wstępnego oczyszczania wody metodą koagulacji, najczęściej przed filtracją. Wspólną cechą tych urządzeń jest przepływ wody koagulowanej przez warstwę zawieszono osadu powstałą z kłaczków koagulantu, skoagulowanych koloidów i zawiesin zawartych w wodzie. Sorpcyjne właściwości złoża zawieszono osadu stwarzają korzystne warunki szczególnie w oczyszczaniu wód powierzchniowych, stosunkowo mało obciążonych zawiesinami mechanicznymi. Stąd też urządzenia te stosowane są głównie do klarowania, odbarwiania, odżelaziania, odmanganiania oraz zmiękczenia wody. Duża powierzchnia właściwa zawieszono osadu i jego zdolność sorpcyjna jest w pełni wykorzystywana przy przepływie wody w kierunku odwrotnym do opadających kłaczków, co przyspiesza proces koagulacji oraz sprzyja tworzeniu się dużych kłaczków, a koagulacja i sedymentacja zachodzą w jednym urządzeniu.

Zachowanie się złoża zawieszono osadu w czasie przepływu przez nie strumienia wody zależy od ciężaru cząstek, naporu hydrodynamicznego wywołanego przepływającym strumieniem wody, od sił kohezji, na które duży wpływ ma struktura cząstek osadu oraz od wytrzymałości tych cząstek na działanie sił stycznych [1]. Istnieje ścisła zależność między prędkością wznoszącego się strumienia wody a stężeniem objętościowym cząstek zawieszono osadu. Każdy nowy stan równowagi w wyniku zmiany prędkości wznoszenia wody powoduje inne stężenie cząsteczek zawieszono osadzie zgodnie z hydrodynamicznymi warunkami przepływu i osiadania zawieszono osadu oraz fizycznymi właściwościami złoża. Graniczną prędkość strumienia wznoszącego utrzymującego osad w stanie zawieszono ustala się doświadczalnie. Dla zachowania w stanie zawieszono złoża osadu niezbędna jest wzajemna równowaga między oddziaływającymi na siebie siłami, wskaźnikiem charakteryzującym stopień turbulencji złoża zawieszono osadu jest liczba Rey-

noldsa, której wartość waha się od 0,2-500 [2]. Dla zakresu liczb Reynoldsa $0,2 < Re < 1$ występuje ruch laminarny, zaś dla $Re > 1$ ruch burzliwy [3]. W dobrze pracującym złożu zawieszono osadu wartość Re waha się na ogół w przedziale 1-10 [4].

Charakter przepływu wody w porach osadu można określić za pomocą wzoru [4]:

$$Re = \frac{w_o d}{\nu} \quad (1)$$

w którym:

Re - liczba Reynoldsa,

w_o - prędkość opadania pojedynczej cząstki osadu, w m/s,

d - średnica cząstek zawieszin w osadzie, w m,

ν - współczynnik lepkości kinematycznej, w m^2/s ,

Na skutek aglomeracji cząstek w sedymentacji zawieszin kłaczkowatych prędkość opadania rośnie wraz z głębokością urządzenia. Wykresem opadalności są krzywe, których przebieg wyznacza się każdorazowo w sposób doświadczalny.

Prędkość przepływu strumienia wody ponad złożem zawieszono osadu, zwana często prędkością pozorną, określana jest z relacji [2, 4, 5, 6]:

$$w_p = w_o \xi^{\alpha} \quad (2)$$

gdzie:

w_p - prędkość przepływu strumienia wody ponad złożem zawieszono osadu, w m/s,

w_o - prędkość opadania pojedynczej cząstki osadu w wodzie, w m/s,

ξ - współczynnik porowatości złoża, wyrażający stosunek objętości por do objętości złoża ($0 < \xi < 1$),

α - wykładnik potęgi: $\alpha = 2,5$ dla ruchu turbulentnego i $\alpha > 5$ dla ruchu laminarnego.

Wykładnik α zwiększa się wraz ze zmniejszeniem średnicy cząstek i grubości złoża [6].

Prędkość opadania cząstek w obszarze przejściowym dla $1 < Re < 1000$ [4, 7] określa wzór Allena:

$$w_o = 0,2(g \frac{q_o - q}{q})^{2/3} \frac{d}{\nu^{1/3}} \quad (3)$$

w którym:

w_o - prędkość opadania pojedynczej cząstki osadu, w m/s,

g - przyspieszenie ziemskie, w m/s^2 ,

Q_o - gęstość cząstki osadu, w kg/m^3 ,

Q - gęstość cząstki wody, w kg/m^3 ,

d - średnica cząstki osadu, w m ,

ν - współczynnik lepkości kinematycznej, w m^2/s .

Przyjmując gęstość cząstek osadu za stałą $Q_o = \text{const}$, wzór (3) przyjmuje postać [4]:

$$W_o = k_o \frac{d}{\nu^{1/3}} \quad (4)$$

gdzie:

$k_o = \text{const}$.

Podstawiając równanie (4) do wzoru (2), otrzymamy [4]:

$$W_p = k_o \frac{d}{\nu^{1/3}} \xi^{\alpha} \quad (5)$$

Gdy przyjmiemy wartość wykładnika α za stałą, z równania tego wynika, że prędkość przepływu strumienia wody ponad złożem zawieszonoego osadu zależy od średnicy cząstek osadu, lepkości wody i koncentracji osadu, ponieważ $\xi = 1 - C_v$, gdzie: C_v - współczynnik stężenia objętościowego.

Francuska firma Degremont zaleca, aby przy projektowaniu pulsatorów korzystać z równania Leviaela w postaci [5]:

$$W_p = K_o \left(\frac{V}{V_o} - 1 \right) \quad (6)$$

w którym:

V_p - objętość osadu przy prędkości W_p ,

V_o - objętość osadu przy prędkości $W_p = 0$,

K_o - współczynnik kohezji osadu.

Współczynnik kohezji osadu umożliwia określenie średniej pozornej prędkości wznoszenia wody w zależności od jej jakości i rodzaju użytych koagulantów i flokulantów. Do jego wyznaczenia wykreśla się prostą w układzie współrzędnych $W_p = f(V_p)$. Punkt przecięcia się tej prostej z osią odciętych wyznacza objętość V_o , przy której prędkość $W_p = 0$. Otrzymana w ten sposób wielkość służy do ponownego wyskalowania osi odciętych w jednostkach stopnia ekspansji. Nachylenie prostej wyrażone w nowych jednostkach wyznacza potrzebny współczynnik K_o .

W przypadku klarowników konstrukcji radzieckiej W. Klaczko [8] zaleca, aby pozorną prędkość wznoszenia wody w strefie sedimentacji określać na modelu, którego podstawę stanowi pionowo ustawiona rura szklana o długości 3000 mm i średnicy 150-200 mm. Na modelu tym wyznacza się prędkość graniczną, przy której ilość zawiesiny w sklarowanej wodzie nie przekra-

cza 10-12 mg/l. Prędkość pozorną wnoszącego się strumienia wody, jako jeden z podstawowych parametrów potrzebnych w projektowaniu tego typu urządzeń, W. Klaczko zaleca obliczać ze wzoru [8]:

$$W_p = 0,75(W_g - 0,1) \quad (7)$$

gdzie:

W_g - prędkość graniczna przepływu wody w modelu, w mm/s.

Na prędkość przepływu strumienia wody ponad złożem zawieszono osadu, zgodnie ze wzorem (5) duży wpływ wywiera między innymi lepkość wody, która zależy bezpośrednio od temperatury. Wpływ lepkości wody na wydatek urządzeń działających na zasadzie zawieszono osadu jest znaczny. Przykładowo, temperaturze 273 i 293°K odpowiadają następujące współczynniki lepkości kinematycznej [9]:

$$\nu_{(273)} = 1,79 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\nu_{(293)} = 1,00 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Gdy założy się średnicę cząstek osadu, porowatość i wykładnik potęgowy jako stałe, iloraz prędkości pozornej przyjmie postać [1, 4]:

$$\frac{W_p(273)}{W_p(293)} = \left(\frac{\nu_{(293)}}{\nu_{(273)}} \right)^{1/3} = 0,825$$

Stąd wniosek, że w okresie zimowym dla danych założeń wydatek urządzeń z zawieszonym osadem będzie o 17,5% mniejszy w porównaniu z okresem letnim, jeżeli przyjąć, że na przebieg procesu ma wpływ jedynie zmiana współczynnika lepkości, zaś pozostałe parametry oczyszczanej wody są takie same.

Prędkość pozorną wnoszenia wody w klarownikach zawiera się na ogół w granicach od 0,6 do 1,1 mm/s. Jest to prędkość, przy której ilość zawiesiny w odpływie wynosi 10 do 12 mg/l i nie przekracza 20 mg/l. Jedynie przy dekarbonizacji prędkości te są większe i wynoszą od 1,0 do 2,0 mm/s [8].

Prędkość rzeczywista (W_r) przepływającego strumienia wody w złożu zawieszono osadu jest większa od prędkości pozornej, co według J. Tesarika da się opisać następującym równaniem [5]:

$$W_r = \frac{W_p}{\xi} \quad (8)$$

Z badań przeprowadzonych przez VITUKI w Budapeszcie [10] wynika, że:

$$W_r \approx 1,2 W_p$$

w zależności od koncentracji objętościowej osadu. Sytuacja ta zmienia się w okresie zimy, kiedy temperatura wody jest niska, zaś ilość zawiesiny w wodzie mała. W tych warunkach flokulacja za pomocą koagulantu typowego (Al^{3+} , Fe^{3+}) jest niepełna, a lekkie i drobne kłaczkowate wypływają ponad zawieszony osad. Wówczas małe dawki środków wspomagających wpływają korzystnie na flokulację i stałość złoża zawieszzonego osadu [1, 4, 11]. Użycie flokulantów w normalnych warunkach umożliwia często zwiększenie prędkości przepływu wody w urządzeniach z zawieszonym osadem i uzyskanie większej ich wydajności. Z badań przeprowadzonych przez J. Tesarika [4] wynika, że iloraz prędkości strumienia wody z flokulantem W_{P1} i bez W_{P2} jest w przybliżeniu wartością stałą dla każdej porowatości:

$$\frac{W_{P1}}{W_{P2}} \approx 1,4$$

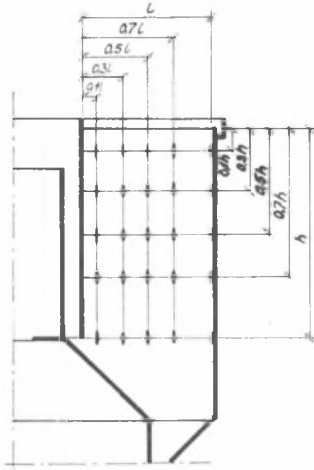
Zwiększenie prędkości prądu wstępującego wody w złożu zawieszzonego osadu J. Tesarik tłumaczy powiększonym rozmiarem kłaczek, przy czym ich gęstość prawie nie ulega zmianie.

Przeprowadzona analiza literaturowa kilku zasadniczych parametrów mających decydujący wpływ na prędkość przepływu wody w strefie klarowania i zamieszanego osadu pozwala stwierdzić co następuje:

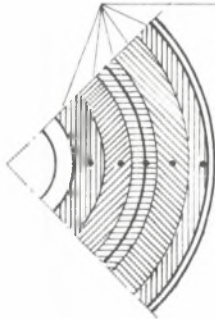
- prędkość przepływającego strumienia wody jest funkcją wielkości i ciężaru właściwego cząstek osadu, ich koncentracji i lepkości wody,
- graniczny zakres prędkości ustala się każdorazowo metodą doświadczalną,
- w okresie zimowym na skutek zmiany lepkości wody, dla zachowania niezbędnego stopnia oczyszczania w urządzeniach z zawieszonym osadem, prędkość przepływu wody powinna być mniejsza od prędkości w okresie letnim,
- w okresach obniżonych temperatur wody małe dawki flokulantu wpływają korzystnie na flokulację i stałość złoża zawieszzonego osadu, zaś w normalnych warunkach pracy tych urządzeń ich obecność pozwala często na zwiększenie prędkości przepływu wody.

Projektując urządzenia z zawieszonym osadem, należy zwrócić szczególną uwagę na sposób doprowadzenia wody z komory reakcji do komory sedymentacji, jak również sposób jej odbioru poprzez koryta przelewowe czy rury drenazowe. Decyduje to bowiem, obok całej grupy innych czynników, o dobrej lub złej pracy projektowanego urządzenia. Będący w ciągłym ruchu osad zawieszony wymaga utrzymania stałej lub nieznacznie zmieniającej się prędkości wznoszenia wody, w przeciwnym razie następuje rozmycie złoża i pogorszenie się jakości oczyszczanej wody. Istotnym czynnikiem w pracy

klarowników jest równomierność przepływu wody w złożu zawieszono- go osadu i nad nim. Ogromna mnogość rozwiązań konstrukcyjnych tych urządzeń unie- możliwia ich stosowanie tylko na podstawie danych z piśmiennictwa bez



elementarne pola pomiarowe



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia czuj- ników przy pomiarze prędkości wzne- szenia wody w strefie sedymentacji

fie sedymentacji zaproponowana przez autora [12], charakteryzująca jedno- cześnie nierównomierność przepływu w tej części klarownika.

Pomiary prowadzono w klarowniku modelowym zasilanym czystą wodą wodo- ciągową za pomocą czujników prędkościomierza termistorowego. Czujniki u- mieszczano kolejno w kilku poziomach różnych pod względem odległości od zwierciadła wody oraz od zewnętrznej ściany komory reakcji. Uproszczony schemat rozmieszczenia czujników w przekroju strefy sedymentacji przed- stawia rys. 1. Dla oceny wpływu nierównomierności rozkładu prędkości strug

przeprowadzenia doświadczalnych ba- dań modelowych. Wynika stąd potrze- ba prowadzenia zarówno poprzedza- jących, jak i eksploatacyjnych ba- dań modelowych. Utrzymanie wyso- kiej sprawności hydraulicznej kla- rowników rzutuje na jakość oczysz- czanej wody i ilość zużytych rea- gentów. W przypadku braku równo- mierności w rozdziale i odbiorze wody ze strefy sedymentacji tworzą się miejsca, w których koncentra- cja objętościowa osadu maleje, a jakość oczyszczanej wody pogarsza się. Zjawisku temu można zapobiec określając jego przyczyny drogą badań modelowych lub eksploatacyj- nych na obiektach pracujących. Ob- liczanie powierzchni czynnej prze- kroju klarownika na podstawie zna- jomości objętościowego natężenia przepływu i przyjętej lub labora- toryjnie wyznaczonej prędkości po- zornej wznoszenia wody jest w przy- padku tego typu urządzeń zbyt ogól- ne. Postępowanie takie nie uwzględ- nia zaburzeń w przepływie wody, które przy tak bardzo małych prę- dkościach (0,6-1,1 mm/s) mają duże znaczenie.

Pomocna może się tu okazać me- todą pomiaru prędkości wznoszenia (prędkości pozornej) wody w stre- fie

wody w strefie sedymentacji posłużono się współczynnikiem nierównomierności rozkładu prędkości M_k [13]. Współczynnik ten określany jest wzorem:

$$M_k = \frac{\sum_1^n w_{p_i}^2 \Delta A_{c_i}}{w_{p_{\text{śr}}}^2 A_c} \quad (9)$$

gdzie:

- M_k - współczynnik nierównomierności rozkładu prędkości,
- w_{p_i} - prędkość w elementarnym polu przekroju pomiarowego,
- ΔA_{c_i} - elementarne pole,
- $w_{p_{\text{śr}}}$ - prędkość średnia w przekroju pomiarowym,
- A_c - powierzchnia czynna przekroju strefy sedymentacji.

Czynną powierzchnię strefy sedymentacji podzielono na pięć pól elementarnych w formie pierścieni przynależnych do poszczególnych punktów pomiarowych. Podziału na pola elementarne dokonano dzieląc symetrycznie powierzchnie zawarte między poszczególnymi punktami pomiarowymi. Mierząc prędkości w poszczególnych polach elementarnych dla założonych poziomów pomiarowych, określono ich wartości średnie, jak również obliczano współczynnik M_k według wzoru (9). W ten sposób uzyskano informacje dotyczące rozkładu prędkości oraz ich wartości średnich w poszczególnych poziomach pomiarowych i w całej strefie sedymentacji. Wyliczano również współczynniki M_k dla poszczególnych poziomów pomiarowych i ich średnią arytmetyczną dla całej strefy sedymentacji.

Opisany sposób pomiaru prędkości wykorzystano dla oceny dokonywanych zmian w sposobie rozdziału strug wody w strefie sedymentacji. Metoda ta z powodzeniem może być zastosowana w badaniach modelowych i eksploatacyjnych osadników pionowych i klarowników.

Wniosek

Prędkość pozorną wznoszenia wody w klarownikach zależy od jakości oczyszczanej wody i rodzaju zastosowanych koagulantów i flokulantów. Zadanie projektanta tego typu urządzeń sprowadza się do nadania optymalnego kształtu konstrukcji, który umożliwiłby prawidłowy przebieg wcześniej ustalonego procesu. Określanie powierzchni czynnej przekroju klarownika na podstawie objętościowego natężenia przepływu i przyjętej lub laboratoryjnie wyznaczonej prędkości pozornej nie uwzględnia nierównomierności w przepływie wody w strefie sedymentacji, co często jest przyczyną złej pracy tych urządzeń.

Opisana wyżej metoda pomiaru prędkości w klarowniku modelowym może być przydatna i z powodzeniem stosowana w badaniach urządzeń pracujących w skali technicznej (np. osadników i klarowników).

LITERATURA

- [1] Badziak M.: Badania nad koagulacją wody w klarownikach o nierównomiernym natężeniu przepływu. Praca doktorska, Łódź 1970.
- [2] Gould B.W.: Podobnost pri modeloch pre vyskum sedimentacie. Vodoхозpodarsky casopis t. 16 nr 4, 1968.
- [3] Tesarik J. i inni: Die hydrodynamischen Grundlagen der Wasseraufbereitung nach dem Flockenwirbelschichtverfahren. Wasserwirtschaft - Wassertechnik nr 11, 1958.
- [4] Tesarik J., Vostrgil J.: Recherches sur le traitement des eaux dans un decanteur a voile de boue a l'aide de polycogulants. La Tribune du Cebedeau t. 21 nr 290, 1968.
- [5] Edeline F.: Representation du comportement des boues activees en sedimentation et fluidisation. La Tribune de Cebeleau nr 244, 1964.
- [6] Tesarik J.: Geschwindigkeiten in Flockenwirbelschichten und Aufenthaltszeiten in Schlammkontaklanlagen. Wasserwirtschaft - Wassertechnik nr 6 1963.
- [7] Cywiński B. i inni: Oczyszczanie ścieków miejskich. Arkady, Warszawa 1972.
- [8] Klaczko W.A., Apiełcin J.E.: Oczistka prirodnykh vod. Izdatielstvo Literatury po stroitelstvu, Moskwa 1971.
- [9] Trokolewski A.T.: Hydromechanika. WNT, Warszawa 1967.
- [10] Bulkai L.: A viztisztitrasban alkalmazott deritok technologiai vizsgalataval nyert tapasztalatok. Vizugyi Kozlemenyek "VITUKI", Budapest 1971.
- [11] Kucharski J., Moniuszko A.: Oczyszczanie ścieków przemysłowych metodą koagulacji. WNT, Warszawa 1967.
- [12] Kuś K.: Badania modelowe nad intensyfikacją pracy komory wielofunkcyjnej typu "akcelator". Praca doktorska, Gliwice 1975.
- [13] Lutyński J.: Elektrostatyczne odpylanie gazów. WNT, Warszawa 1965.

ХАРАКТЕРИСТИКА И ИЗМЕРЕНИЕ КАЖУЩЕЙСЯ СКОРОСТИ В ОСВЕТИТЕЛЯХ

Резюме

Статья обсуждает факторы, влияющие на скорость водоподъема в осветителях, представляет зависимость между истинной и кажущейся скоростями, а также дает пример измерения кажущейся скорости в модельном осветителе.

THE CHARACTERISTIC AND MEASUREMENT OF APPARENT VELOCITY
IN CLARIFYING TANKS

S u m m a r y

The paper discusses the factors which are decisive in the velocity of water surface rise in clarifying tanks, shows the relation between the actual and apparent velocity in a model clarifying tank.