

V odd.10.4.2 jsou uvedeny převážně kvalitativní informace o vlivu tvaru částice na její usazování. Na tyto informace nyní navazujeme. Z našeho výzkumu [43] vyplynulo, že k vyjádření vlivu tvaru částice na usazování je vhodný dynamický tvarový faktor φ_{Ar} definovaný rovnici

$$\varphi_{Ar} = (Ly/Ly_{\circ})^{1/3} = v_u/v_{u\circ} \quad [Ar = Ar_{\circ}] \quad (10-36)$$

kde index $\circ$ označuje kulovou částici a kde Archimédovo a Ljaščenkovo kritérium jsou definována vzorci

$$Ar \equiv \frac{f d_p^3 \rho_f \Delta \rho}{\eta^3} \quad (10-25)$$

$$Ly \equiv \frac{v_u^3 \rho_f^2}{f \eta \Delta \rho} \quad (10-28a)$$

V poli gravitační síly je hodnota měrné hmotnostní síly $f = g$.

V kap.10 byl popsán výpočet rychlosti usazování kulové částice $v_{u\circ}$. Rov.(10-36) dává návod, jak pomocí této rychlosti určíme rychlost usazování nekulové částice v_u , známe-li hodnotu dynamického tvarového faktoru φ_{Ar} dané částice:

$$v_u = \varphi_{Ar} v_{u\circ} \quad [Ar = Ar_{\circ}] \quad (10-36c)$$

Podmínka $Ar = Ar_{\circ}$ u rov.(10-36c) je splněna, dosadíme-li do rov.(10-25) za charakteristický rozměr částice d_p průměr ekvivalentní koule, tj. koule, jejíž objem $V_{p\circ}$ je stejný jako objem nekulové částice V_p :

$$d_p = (6 V_p / \pi)^{1/3} \quad [V_p = V_{p\circ}] \quad (10-37)$$

Objem pravidelné nekulové částice je možno vypočítat, známe-li její rozměry, které však jsou u složitějších tvarů a malých částic obtížně zjistitelné. Pak použijeme, stejně jako u nepravidelných částic, metodu *vážení*. Vážením určitého počtu částic náhodně vybraných ze souboru zjistíme střední hmotnost jednotlivé částice m_p . Vedle toho stanovíme hustotu částice ρ_s (předpokládáme pevné částice). Potom

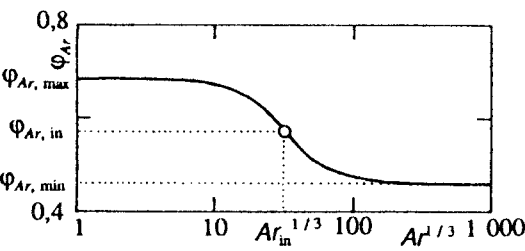
$$d_p = \left(\frac{6 m_p}{\pi \rho_s} \right)^{1/3} \quad [V_p = V_{p\circ}] \quad (A8-1)$$

Na obr.10.17 je ukázána pro několik nekulových tvarů závislost tvarového faktoru φ_{Ar}

na $Ar^{1/3}$, odpovídající vztahu *)

$$\varphi_{Ar} = \varphi_{Ar} (Ar^{1/3} ; TVAR) \tag{10-38}$$

Parametr TVAR není v odd.10.4.2 kvantifikován. Z obr.10.17 je vidět, že křivky pro jednotlivé tvary částic mají podobný průběh. Na obr.A8.1 je zakreslen tento průběh pro jeden tvar částice s vyznačením inflexního bodu (in) a charakteristických hodnot $\varphi_{Ar, \max}$, $\varphi_{Ar, \min}$, $\varphi_{Ar, \text{in}}$ a $Ar_{\text{in}}^{1/3}$. U osy $Ar^{1/3}$ je užita logaritmická stupnice.



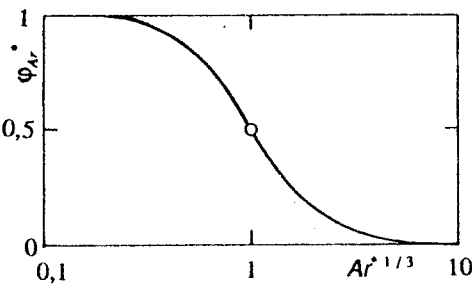
Obr.A8.1. Průběh závislosti dynamického tvarového faktoru φ_{Ar} na $Ar^{1/3}$ pro jeden tvar s vyznačením charakteristických hodnot křivky

Charakteristické hodnoty (viz obr.A8.1) umožňují transformovat křivky pro různé tvary částic na stejný průběh. Transformace proměnných je zavedena těmito vzorci:

$$\varphi_{Ar}^* \equiv \frac{\varphi_{Ar} - \varphi_{Ar, \min}}{\varphi_{Ar, \max} - \varphi_{Ar, \min}} \qquad \varphi_{Ar}^* \in \langle 1 ; 0 \rangle \tag{A8-2}$$

$$Ar^{*1/3} \equiv Ar^{1/3} / Ar_{\text{in}}^{1/3} \tag{A8-3}$$

Pro ilustraci je průběh křivky z obr.A8.1 uveden na obr.A8.2 v transformovaných souřadnicích (φ_{Ar}^* , $Ar^{*1/3}$). U osy $Ar^{*1/3}$ je opět užita logaritmická stupnice.



Obr.A8.2. Průběh křivky z obr.A8.1 zakreslený v transformovaných souřadnicích (φ_{Ar}^* , $Ar^{*1/3}$)

*) Třetí odmocnina Ar , tj. $Ar^{1/3}$, je uplatněna proto, že je přímo úměrná průměru částice d_p : $Ar^{1/3} \sim d_p$.

Pomocí transformovaných proměnných φ_{Ar}^* a $Ar^{*1/3}$ se podařilo zpracovat pokusné výsledky (viz lit. [43]) do univerzální závislosti *).

$$\varphi_{Ar}^* = 0,5 [1 - \tanh (C \log Ar^{*1/3})] \quad (A8-4)$$

Geometrický tvar částice byl vyjádřen pomocí faktoru F . Tento faktor je dán poměrem největšího lineárního rozměru částice $l_{p, \max}$ a průměru ekvivalentní koule d_p :

$$F \equiv l_{p, \max} / d_p \quad (A8-5)$$

Největší lineární rozměr $l_{p, \max}$ má největší vliv na rychlost usazování částice ve stabilizované poloze. Hodnota d_p se vypočte z rov.(A8-1). Geometrický tvarový faktor F tak vyjadřuje odchylku geometrického tvaru částice od koule, a představuje tedy kvantifikovaný parametr TVAR v rov.(10-38), který je možno uplatnit pro libovolnou částici.

Pomocí geometrického tvarového faktoru F byly vyjádřeny v lit. [43] jednotlivé veličiny potřebné pro výpočet dynamického tvarového faktoru φ_{Ar} z rov.(A8-4).

$$\varphi_{Ar, \max} = 0,948 F^{-0,480} \quad (A8-6)$$

$$\varphi_{Ar, \min} = 0,646 F^{-0,480} \quad (A8-7)$$

$$Ar_{in}^{1/3} = 57,6 F^{-0,760} \quad (A8-8)$$

$$C = 4,44 F^{-0,853} \quad (A8-9)$$

Z rov.(A8-2) určíme dynamický tvarový faktor φ_{Ar} :

$$\varphi_{Ar} = \varphi_{Ar}^* (\varphi_{Ar, \max} - \varphi_{Ar, \min}) + \varphi_{Ar, \min} \quad (A8-10)$$

Abychom mohli uskutečnit výpočet rychlosti usazování nekulové částice v_u pomocí rov.(10-36c), musíme napřed vypočítat Ljaščenkovo kritérium kulové částice Ly_o a potom rychlost usazování kulové částice v_{uo} .

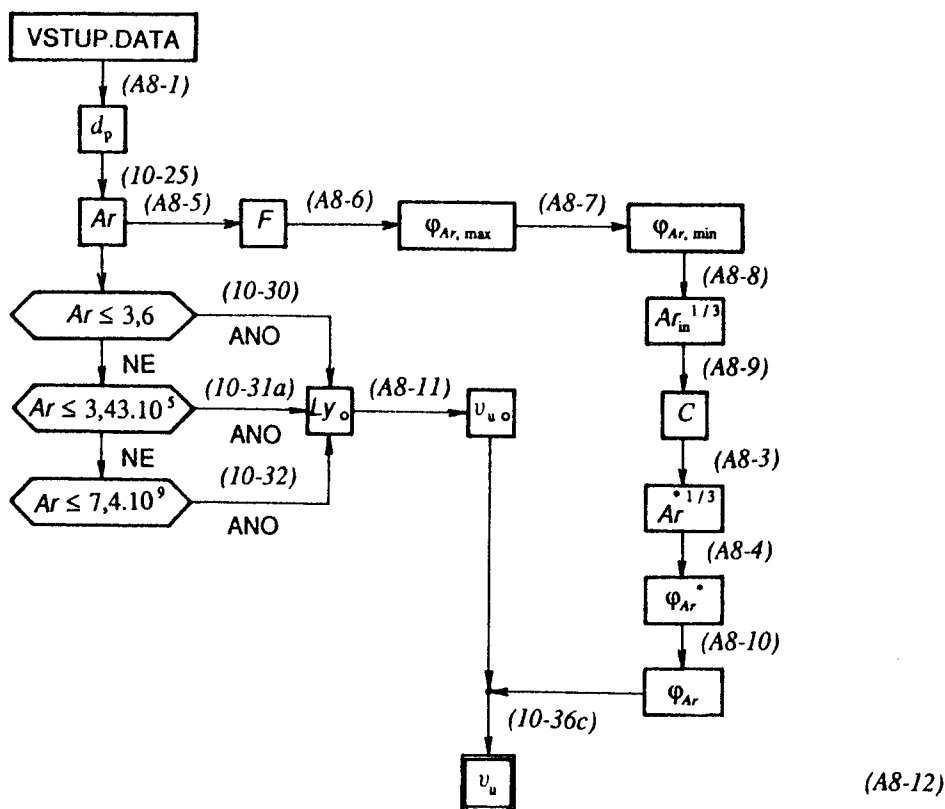
V kap.10 jsme uvedli řadu rovnic pro výpočet Ljaščenkova kritéria kulové izolované částice bez vlivu stěn (zde je pro kulovou částici užít symbol Ly_o). Uplatnění těchto rovnic závisí na hodnotě Archimedova kritéria Ar , kterou musíme napřed vypočítat. Z vypočtené hodnoty Ly_o určíme rychlost usazování kulové částice v_{uo} po úpravě rov.(10-28a):

$$v_{uo} = (Ly_o f \eta \Delta \rho / \rho_f^2)^{1/3} \quad (A8-11)$$

Z hodnot v_{uo} a φ_{Ar} pak pomocí rov.(10-36c) určíme rychlost sedimentace nekulové částice v_u

*) Připomínáme, že funkce $\tanh x$ (tangens hyperbolicus) je dána vzorcem $\tanh x \equiv \sinh x / \cosh x = (e^x - e^{-x}) / (e^x + e^{-x})$

. Postup výpočtu je přehledně znázorněn algoritmem (A8-12):



Vstupními daty do algoritmu (A8-12) je naměřený maximální lineární rozměr nekulové částice $l_{p, \max}$, vážením zjištěná hmotnost jedné částice m_p , hustota částice ρ_s , hustota a viskozita tekutiny ρ_f a η . Pro rozlišení kulové a nekulové částice je Ljaščenkovo kritérium vypočtené z rov.(10-30), (10-31a) a (10-32) označeno Ly_o . Algoritmus (A8-12) je pro přehlednost poněkud zkrácen, neboť Ly_o pro $Ar \leq 3,43 \cdot 10^5$ je třeba počítat iteračně, jak ukazuje algoritmus (10-32b).

KONTROLNÍ ÚLOHY

- A8.1.** V čem je hlavní rozdíl mezi dynamickým a geometrickým tvarovým faktorem?
- A8.2.** Jakých hodnot může nabývat dynamický tvarový faktor φ_{Ar} ? Zdůvodněte.
- A8.3.** Proč se odchylka tvaru částice od koule projevuje více při turbulentním proudění?