ӘОЖ 532.5:626.83

ГИДРОЦИКЛОНДАҒЫ АҒЫННЫҢ ТУРБУЛЕНТТІЛІГІ

Жантаңатова Назерке Жаңабайқызы., Байрак Дархан
nzhantanatova@bk.ru
Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ Механика-математика факультетінің 5В060300 – «Механика» мамандығының 4-курс студенті, 1-курс магистранты. Нұр – Сұлтан, Қазақстан
Ғылымы жетекшісі –М.И.Касабеков

Сұйықтың турбуленттік қозғалысының теңдеулерінің ең қарапайым түрі конустығы төмен немесе жоғары бағытпен тік орналасқан гидроциклондарға тән [1,2].

r,ε,z цилиндрлік координаттар жүйесінде ағынның өске қатысты симметриялығы келесі түрде жазылады:

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\partial \vec{v}_r}{\partial \varepsilon}=\frac{\partial \vec{v}_\varepsilon}{\partial \varepsilon}=\frac{\partial \vec{v}_z}{\partial \varepsilon}=0,\\
&\frac{\partial^2 \vec{v}_r}{\partial \varepsilon^2}=\frac{\partial^2 \vec{v}_\varepsilon}{\partial \varepsilon^2}=\frac{\partial^2 \vec{v}_z}{\partial \varepsilon^2}=0,\\
&\frac{\partial \vec{P}}{\partial \varepsilon}=0;
\end{aligned}\right\} \tag{1.1}$$

Өстен бірдей қашықтықта орналасқан нүктелерде тангенциалды жылдамдық пен статикалық қысымның тұрақтылығы байқалады:

$$\frac{\partial \vec{v}_\varepsilon}{\partial \varepsilon}=0 \text{ және } \frac{\partial \vec{P}}{\partial z}=0 \quad . \tag{1.2}$$

Массалық күштердің проекциялары:

$$F_r=0,\ F_\varepsilon=0,\ F_z=g\cos(\vec{G},\vec{K}_z) \tag{1.3}$$

Демек, турбулентті ағынның цилиндрлік координаттағы теңдеулері келесідей жазылады:

$$\left.\begin{aligned}
&\vec{v}_r\frac{\partial \vec{v}_r}{\partial r}+\vec{v}_z\frac{\partial \vec{v}_r}{\partial z}-\frac{\vec{v}^2}{r}=-\frac{1}{\sigma}\frac{\partial \vec{P}}{\partial r}+\nu\nabla^2\vec{v}_r-\frac{1}{\sigma}\left[\frac{\partial\left(\sigma\overline{v'_r v'_r}\right)}{\partial r}+\frac{\partial\overline{v'_r v'_z}}{\partial z}-\frac{\sigma\overline{v'_\varepsilon}^2}{r}+\frac{\sigma\overline{v'_r}^2}{r}\right],\\
&\vec{v}_r\frac{\partial \vec{v}_\varepsilon}{\partial r}+\frac{\vec{v}_\varepsilon\vec{v}_r}{r}=\nu\nabla^2\vec{v}_\varepsilon-\frac{1}{\sigma}\left[\frac{\partial\left(\sigma\overline{v'_\varepsilon v'_r}\right)}{\partial r}+\frac{\partial\overline{v'_\varepsilon v'_z}}{\partial z}+2\frac{\sigma\overline{v'_\varepsilon v'_r}}{r}\right],\\
&\vec{v}_r\frac{\partial \vec{v}_z}{\partial r}+\vec{v}_z\frac{\partial \vec{v}_z}{\partial z}=\nu\nabla^2\vec{v}_\varepsilon-\frac{1}{\sigma}\left[\frac{\partial\left(\sigma\overline{v'_z v'_r}\right)}{\partial r}+\frac{\partial\overline{v'_z v'_z}}{\partial z}+\frac{\sigma\overline{v'_z v'_r}}{r}\right]+g\cos(\vec{G},\overline{K_z}).
\end{aligned}\right\} \tag{1.4}$$

Сфералық координаттар жүйесінде келесі теңдік орын алады:

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\partial \vec{v}_\rho}{\partial \varepsilon}=\frac{\partial \vec{v}_\theta}{\partial \varepsilon}=\frac{\partial \vec{v}_\varepsilon}{\partial \varepsilon}=0,\\
&\frac{\partial^2 \vec{v}_\rho}{\partial \varepsilon^2}=\frac{\partial^2 \vec{v}_\theta}{\partial \varepsilon^2}=\frac{\partial^2 \vec{v}_\varepsilon}{\partial \varepsilon^2}=0,\\
&\frac{\partial \vec{P}}{\partial \varepsilon}=0;
\end{aligned}\right\} \tag{1.5}$$

Массалық күштер түрінде көрінеді:

$$F_\rho=g\cos(\vec{G},\overline{K_\rho})\ F_\theta=g\ F_\varepsilon=0 \tag{1.6}$$

Демек, турбулентті ағынның сфералық координаттағы теңдеулері келесідей жазылады:

$$\left.\begin{aligned}
&\vec{v}_\rho \frac{\partial \vec{v}_\rho}{\partial \rho} + \frac{\vec{v}_\theta}{\rho}\frac{\partial \vec{v}_\rho}{\partial \theta} - \frac{\vec{v}_\theta^2 - \vec{v}_\varepsilon^2}{\rho} = -\frac{1}{\sigma}\frac{\partial \vec{P}}{\partial \rho} + \nu \nabla^2 \vec{v}_\rho - \\
&-\frac{1}{\sigma}\left[\frac{\partial\left(\sigma\overline{v'_\rho v'_\rho}\right)}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho}\frac{\partial\left(\sigma\overline{v'_\rho v'_\theta}\right)}{\partial \theta} - \frac{\partial\left(\vec{v}_\theta^2 + \vec{v}_\varepsilon^2 - 2\vec{v}_\rho^2\right)}{\rho} - \frac{\left(\sigma\overline{v'_\rho v'_\theta}\right)}{\rho} ctg\theta\right] + g\cos(\vec{G}, \vec{K}_\rho), \\
&\vec{v}_\rho \frac{\partial \vec{v}_\theta}{\partial \rho} + \frac{\vec{v}_\theta}{\rho}\frac{\partial \vec{v}_\theta}{\partial \theta} + \frac{\vec{v}_\theta \vec{v}_\rho}{\rho} - \frac{\vec{v}_\varepsilon^2}{\rho} ctg\theta = -\frac{1}{\sigma\rho}\frac{\partial \vec{P}}{\partial \theta} + \nu \nabla^2 \vec{v}_\theta - \\
&-\frac{1}{\sigma}\left[\frac{\partial\left(\sigma\overline{v'_\theta v'_\rho}\right)}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho}\frac{\partial\left(\sigma\overline{v'_\theta v'_\rho}\right)}{\partial \theta} + 2\frac{\vec{v}_\theta \vec{v}_\rho}{\rho} + \frac{\partial}{\rho}(\vec{v}_\theta^2 - \vec{v}_\varepsilon^2) ctg\theta - \frac{\left(\sigma\overline{v'_\theta v'_\rho}\right)}{\rho}\right] + g\sin(\vec{G}, \vec{K}\ \ ), \\
&\vec{v}_\rho \frac{\partial \vec{v}_\varepsilon}{\partial \rho} + \frac{\vec{v}_\theta}{\rho}\frac{\partial \vec{v}_\varepsilon}{\partial \theta} + \frac{\vec{v}_\rho \vec{v}_\varepsilon}{\rho} + \frac{\vec{v}_\theta \vec{v}_\varepsilon}{\rho} ctg\theta = \nu \nabla^2 \vec{v}_\theta - \\
&-\frac{1}{\sigma}\left[\frac{\partial\left(\sigma\overline{v'_\varepsilon v'_\rho}\right)}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho}\frac{\partial\left(\sigma\overline{v'_\varepsilon v'_\theta}\right)}{\partial \theta} + 2\frac{\vec{v}_\theta \vec{v}_\varepsilon}{\rho} ctg\theta + 2\sigma\frac{\left(\sigma\overline{v'_\varepsilon v'_\rho}\right)}{\rho} - \sigma\frac{\left(\sigma\overline{v'_\theta v'_\rho}\right)}{\rho}\right]
\end{aligned}\right\} \quad (1.7)$$

Гидроциклондағы жылдамдық өрісін есептеу әдетте орташаланған турбулентті ағынның ламинарлық аналогы негізінде жүргізіледі. Ол үшін Навье-Стокс теңдеулерінің интегралдануы нәтижесінде алынған жылдамдық пен сұйық қысымының компоненттерінің өрнектерінде, тұтқырлықтың кинематикалық коэффициентінің ν орнына турбуленттік тұтқырлықтың коэффициентін ν_T қою жеткілікті [3].

Теңдеудегі, турбуленттік кернеулердің тензоры $\sigma\overline{v'_\varepsilon v'_r}$ қалған компоненттен едәуір көп деген болжаммен анықталады. Прандтльдің белгілі гипотезасына сүйене отырып алатынымыз:

$$-\sigma\overline{v'_\varepsilon v'_r} = \sigma l^2 J\left(\frac{\partial \overline{v}_\varepsilon}{\partial r} - \frac{\overline{v}_\varepsilon}{r}\right) \quad (1.8)$$

мұндағы J - деформация жылдамдығының тензорының квадраттық инвариантының квадратты түбірі, яғни:

$$J = \left|\frac{\partial \overline{v}_\varepsilon}{\partial r} - \frac{\overline{v}_\varepsilon}{r}\right| \quad (1.9)$$

l - радиусқа пропорционалды араластыру жолының ұзындығы, яғни:

$$l = cr \quad (1.10)$$

Турбуленттік кернеуліктің $\tau_{r\varepsilon}$ тензоры компонентінің өрнегін жазуға болады:

$$\tau_{r\varepsilon} = -\sigma\overline{v'_\varepsilon v'_r} = \sigma\nu_T\left(\frac{\partial \overline{v}_\varepsilon}{\partial r} - \frac{\overline{v}_\varepsilon}{r}\right) \quad (1.11)$$

(1.8) және (1.11) салыстыра отырып, турбуленттік тұтқырлықтың коэффициентін табамыз:

$$\nu_T = l^2 J = c^2 r^2 \left|\frac{\partial \overline{v}_\varepsilon}{\partial r} - \frac{\overline{v}_\varepsilon}{r}\right| \quad (1.12)$$

c^2 мәнін (1.8) өрнектен табуға болады:

$$\left|-\sigma\overline{v'_\varepsilon v'_r}\right| = \sigma c^2 r^2 \left(\frac{\partial \overline{v}_\varepsilon}{\partial r} - \frac{\overline{v}_\varepsilon}{r}\right)^2$$

немесе

$$c^2 = \frac{\left| -v'_\varepsilon v'_r \right|}{r^2 \left(\frac{\partial \bar{v}_\varepsilon}{\partial r} - \frac{\bar{v}_\varepsilon}{r} \right)^2} \quad (1.13)$$

Гидроциклонды камераның негізгі бөлігі үшін:

$$\bar{v}_\varepsilon r^n = A \quad (1.14)$$

заң орындалатындықтан, *n=1* кезінде турбуленттік тұтқырлық коэффициенті үшін алатынымыз:

$$v_T = 2Ac^2 \quad (1.15)$$

ағынның турбуленттілік дәрежесін:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{(v')^2}}{\bar{v}} \quad (1.16)$$

(1.13) арқылы $\bar{v} \cong \bar{v}_\varepsilon$

$$c^2 = \frac{1}{4} \varepsilon_r \varepsilon_\varepsilon \quad (1.17)$$

Тәжірибелік жолмен орнатылған бұл геометриялық параметрлері гидроциклондық және сұйықтық қысымы кірген әсер ε_ε, ал радиус бойынша қабырға маңы, орталық және өстік аймақтары бөлуге болады. Орталық аймақта, ε_ε шамасы тұрақты, ал цилиндрлік бөлікте 0.038-0.045 құрайды. Конустың ұзындығы бойынша ε_ε мәні қойыртпақтың келтеқұбырының максимумына жеткенше көбейеді. Конустық бөліктің әртүрлі қималарындағы турбуленттіліктің тангенциалды дәрежесінің орташа мәнін теңдеуі бойынша есептеу ұсынылады.

$$\varepsilon_\varepsilon = 0.042 \left(\frac{я}{T_k} \right)^{-1.3} \quad (1.18)$$

мұндағы T_k -гидроциклон конусының ұзындығы;

z-конус төбесінен осы қимаға дейінгі қашықтық.

Қабырға аймағында ε_ε мәні едәуір артып, құрылғының қабырғасында 0.09-0.11 дейін жетеді. ε_ε артуы радиустың (0,7-0,75)$r_ц$ ($r_ц$- осы қимадағы циклонның радиусы) бөлігінде басталады. Әсіресе, ε_ε осьтік аймақта күрт ұлғаяды. Бұл ауа бағанының әсерінен және оның шекарасында ε_ε = 1-ге жетеді.

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Абдураманов А.А. Механика жидкости. – Тараз: Сенім, 2014. – 280 с.
2. Абдураманов А.А. Гидравлика гидроциклонов и гидроциклонных насосных установок. – Тараз: Сенім, 2011. – 292 с.
3. Лятхер В.М. Турбулентность в гидросооружениях. – М., 1968. – 408 с.