МОДЕЛИ ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ КАРКИДОНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Усмонова Н.А.[1], Негматуллоев З.Т.[2], Нишонов Ф.Х.[3], Усмонов А.А.[4]

[1]Усмонова Нодирахон Акрамовна – ассистент,
кафедра строительства инженерных коммуникаций, строительный факультет,
Ферганский политехнический институт, г. Фергана;
[2]Негматуллоев Зафар Турдибекович - старший преподаватель,
кафедра моделирования, факультет информатики,
Гулистанский государственный университет, г. Гулистан;
[3]Нишонов Файзуло Холмирзаевич - доцент,
кафедра строительства, проектирования и использования инженерных коммуникаций,
факультет инфраструктуры инженерного строительства,
Ташкентский архитектурный институт, г. Ташкент;
[4]Усмонов Акрамжон Ахмаджонович – доцент, кандидат экономических наук,
кафедра экономики, факультет управления в производстве,
Ферганский политехнический институт, г. Фергана,
Республика Узбекистан

Аннотация: *в статье рассматривается минимальное давление на поверхности оголовка в точке B на линии сопряжения его цилиндрической части с потолком трубы Каркидонского водохранилища. Приводится методика определения коэффициента максимального понижения давления, т.е. условия возникновения кавитации $C_{макс}$ для круговых оголовков Каркидонского водохранилища, и приводится сравнение с экспериментальными данными.*

Ключевые слова: *закрученные потоки поступательно-вращательного движения, смеси, осесимметричное и циркуляционное течения, тангенциальная скорость, осевая скорость, числа Рейнольдса, Фруда и Вебера, частично напорные течения.*

УДК 532.533

Исследуем закрученных потоков не сжимаемой водо-воздушной смеси в цилиндрической трубе Каркидонского водохранилища, с круглыми поперечными сечениями, совершающие поступательно-вращательные движения.[6] Можно считать, что течение смеси стационарное, осесимметричное и циркуляционное. Предполагается, что обе фазы смеси (вода и воздух) несжимаемы, радиальные скорости фаз ϑ_{nr}, значительно меньше, чем тангенциальные скорости $\vartheta_{n\theta}$ и осевых скоростей ϑ_{nz}.Очевидно, что данная система не замкнута, так как зависит пока от неизвестного значения удельного расхода q и постоянной C_3.

Как было показана в работе [1,102 стр] критерием образования начала аэрации определяются числами Рейнольдса, Фруда и Вебера. В цилиндрических трубах вовлечение в трубу воздуха происходит при безнапорных, бурных и частично-напорных течениях, где проникновения воздуха в поток происходят под действием касательных напряжений на границах раздела вода и воздуха.

В работе было приведено уравнение водо воздушной смеси к виду и предварительно найдем значение

$$\frac{\partial^2 \vartheta_{xs}^2}{\partial y^2} = \frac{\partial^2}{\partial y^2}\left[\frac{6qy}{F^2}\left(1-\frac{y}{F}\right)\right] = -\frac{12q}{F^3} \qquad (1)$$

Тогда, после некоторых простых преобразований из уравнения (1) находим:

$$\frac{dp}{dx} = \rho\left(\frac{6}{5}\frac{q^2}{F^3}\frac{dF}{dx} - \frac{12qy}{F^3}\right) \qquad (2)$$

Интегрируем (2) и получаем

$$p = -\frac{3}{5}\rho q^2\frac{1}{F^2} - 12\rho q\nu\int F^{-3}dx + C_3 \qquad (3)$$

уравнений (3) представляет собой искомое решение. Для составления системы двух дополнительных уравнений воспользуемся тем, что известны давления на уплотнение со стороны верхнего p_1 и нижнего p_2 бьефов Каркидонского водохранилища. Численные оценки показывают, что при напоре $\frac{p_1}{\rho g} \succ 20$ м вод. ст., что практически всегда имеет место в рассматриваемой задаче, давление p_1 можно считать приложенным в точке N (рис.1), т.е. в начале поверхности собственно уплотнения. Координата точки M , к которой приложено давление p_2 со стороны нижнего бьефа и в которой происходит отрыв потока от обтекаемой поверхности, определяется уравнением

$$\frac{dp}{dx}=\rho\left(\frac{6}{5}\frac{q^2}{F^3}\frac{dF}{dx}-\frac{12qy}{F^3}\right)\equiv 0$$

Откуда

$$\frac{dF}{dx}=\frac{10\nu}{q}$$

Подставляем координаты точек N и M, а также значения давления p_1 и p_2 в (3), получаем два дополнительных уравнения для определения неизвестных q и C_3:

$$p_1=-\frac{3}{5}\rho q^2\frac{1}{{F_N}^2}-12\rho q\nu\int F^{-3}dx\,\Big|_{\substack{x=x_N\\F=F_N}}+C_3 \qquad (4)$$

$$p_2=-\frac{3}{5}\rho q^2\frac{1}{{F_M}^2}-12\rho q\nu\int F^{-3}dx\,\Big|_{\substack{x=x_M\\F=F_M}} \qquad (5)$$

Итак, система уравнений (1), (2), (4) и (5) является замкнутой и описывает распределение скоростей и давлений в окрестности щели.

Для рассматриваемой задачи Каркидонского водохранилище, решение удобно находить в системе координат, показанной на рис. 1.

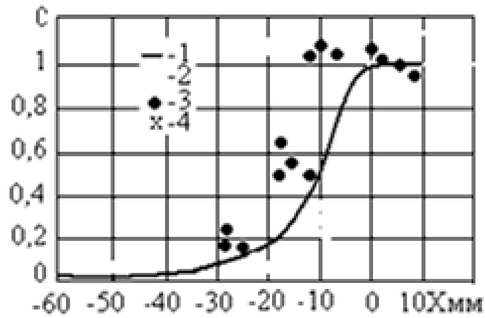

Рис. 1. Коэффициент понижения давления в окрестности уплотнения затвора

Уравнение нижней части оголовка принимает вид

$$F=R+h-\sqrt{R^2-x^2} \qquad (6)$$

где $R=3{,}6\cdot10^{-2}$ — радиус оголовка, м; h - минимальная высота щели, м.

Уравнение (6) разложим в ряд Тейлора в окрестности точки $x=0$ и, отбрасывая ввиду малости члены с производными четвертого порядка и выше, получаем

$$F\approx h+\frac{x^2}{2R} \qquad (7)$$

Координаты поверхности оголовка в крайней точке N (рис.1), вычисленные по (7), отличаются от истинных координат поверхности реального оголовка рассматриваемого типа всего лишь на 3%. Тогда производная

$$\frac{dF}{dx}=\frac{x}{R} \qquad (8)$$

А N имеет координаты $x_N=-6{,}5\cdot10^{-2}$, тогда

$$F_N\approx h+\frac{x_N^2}{2R}\approx\frac{x_N^2}{2R}=6\cdot10^{-2}\text{ м.}$$

Точка M имеет координаты, определяемые уравнением $\frac{dF}{dx}=\frac{x_M}{R}$, откуда следует, что

$$x_M=\frac{10\nu R}{q}\ , \qquad F_M\approx h+\frac{100\nu^2}{2q^2}R$$

С учетом этого очевидно, что для рассматриваемого типа оголовка практически при любых значениях напоров p_1 и p_2 уравнения (4), (5)

$$C_3 = p_1 , \qquad p_1 - p_2 \approx \frac{3}{5}\rho\left(\frac{q}{h}\right)^2 ,$$

$$q \approx h\sqrt{\frac{5}{3}\frac{(p_1 - p_2)}{\rho}} \qquad (9)$$

$$p = p_1 - \left(\frac{h}{F}\right)^2 (p_1 - p_2) \qquad (10)$$

Выражаем удельный расход с помощью коэффициента расхода системы μ , и имеем

$$q \approx \mu h\sqrt{2\frac{(p_1 - p_2)}{\rho}} \qquad (11)$$

Сравниваем уравнения (9) и (11) получаем, что $\mu \approx \sqrt{\frac{5}{6}} \approx 0{,}914\cdot$

Из (10) следует, что при данном очертании оголовка уплотнения кавитация на нем не может возникнуть при любых сочетаниях давлений p_1 и p_2 (даже при истечении в атмосферу, когда абсолютное давление равно атмосферному p_a) и любых размерах щели h . Коэффициент понижения давления при этом в различных сечениях равен

$$C = \frac{(p_1 - p_2) - p}{p_1 - p_2} = \left(\frac{h}{F}\right)^2 - \frac{p_2}{p_1 - p_2} = \frac{1}{\left(1 + \frac{x^2}{2Rh}\right)^2} - \frac{p_2}{p_1 - p_2} \qquad (12)$$

На рис. 2. приведена кривая, графически соответствующая зависимости (12).

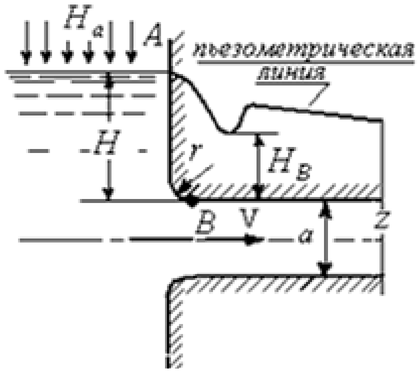

Рис. 2. Схема оголовка глубинного водосброса Каркидонского водохранилища

На этом же графике нанесены экспериментальные точки при исследовании щелевых протечек в уплотнениях затворов Каркидонского водохранилища.[1,2] Высота щели h изменялась от 4 до 6 мм, напоры на уплотнение составляли $\frac{p_1 - p_2}{\rho g} = (15 - 93)$ м. вод ст. В целом экспериментальные точки удовлетворительно согласуются с теоретической кривой. Минимальное давление имеет место на поверхности оголовка в точке B на линии сопряжения его цилиндрической части с потолком трубы Каркидонского водохранилища. Горизонтальная труба имеет постоянное живое сечение. Выходное сечение трубы не затоплено. Коэффициент расхода системы $\mu = 0{,}76$. Высота трубы $a = 4м$. Определить напор H', при котором возникает кавитация при безотрывном обтекании кругового оголовка радиусом $r = 4м$ глубинного водосброса (рис. 1.и 2).

Рис. 1. Коэффициент понижения давления в окрестности уплотнения затвора: 1 — теоретическое решение по (12); 2 и 3- экспериментальные значения С на поверхности оголовка и в плоскости дна соответственно; 4-точка отрыва потока от поверхности оголовка.[3-5]

Методика определения коэффициента максимального понижения давления $C_{макс}$ для круговых оголовков приведена в рис. 2. Каркидонского водохранилища. Значение $C_{макс}$ зависит в основном от параметра $\frac{r}{a}$, тогда в данном случае принимаем согласно рис.2. при $\frac{r}{a}=1, C_{макс}=1{,}87$. В этом случае условие возникновения кавитации записывается в виде

$$H_{абс} \le H_{кр} \approx 0 \qquad (13)$$

где $H_{абс}$ - абсолютное минимальное давление в потоке в окрестности обтекаемого элемента, равное сумме пьезометрического $H_П$, и атмосферного H_a давлений, м; $H_{кр}$ - критическое давление разрыва сплошности воды, м, обычно принимаемое равным давлению насыщенных паров H_ϑ. Ввиду малости H_ϑ (при 20 °C $H_\vartheta = 0{,}024м$) и принимая во внимание точность расчетов, предполагаем, что.[5]

$$H_{кр} \approx H_\vartheta \approx 0 \qquad (14)$$

(14) запишем в виде

$$H' + H_a + C_{макс}\frac{\vartheta^2}{2g} \le 0$$

Здесь

$$\vartheta = \mu\sqrt{2g\left(H' + \frac{a}{2}\right)}$$

Следовательно,

$$H' + H_a + C_{макс}\mu^2\left(H' + \frac{a}{2}\right) \le 0$$

Если принять, что $\frac{a}{2} \prec\prec H'$, что в практических задачах, при напорах $H' \succ 20м$, имеет место, то

$$H'\left(1 - C_{макс}\mu^2\right) + H_a \le 0 \quad \text{или} \quad H' \le \frac{H_a}{1 - C_{макс}\mu^2}$$

Последнее равенство имеет смысл

$H' \succ 0$,

если $\left(1 - C_{макс}\mu^2\right) \le 0$,или

$\left(C_{макс}\mu^2\right) \succ 1$

Это выражение разграничивает области сочетаний $C_{макс}$ и μ, при которых на огловке кавитация либо возникает, либо нет при любых напорах (рис.3).

Вывод:

Для рассматриваемой задачи Каркидонского водохранилища имеем условия возникновения кавитации:

$$C_{макс}\mu^2 = 1{,}87(0{,}72)^2 = 1{,}08 \succ 1,$$

следовательно, кавитация на оголовке может иметь место. Определяем напор, необходимый для возникновения кавитации:

$$H' + H_a - C_{макс}\mu^2\left(H' + \frac{a}{2}\right) = H' + 10{,}3 - 1{,}87 \cdot 0{,}76^2\left(H' + 2\right) \le 0$$

Список литературы

1. *Боженов Ю.А. и др.* Самоходные необитаемые подводные аппараты. Л., 1986.
2. *Войткунский Я.И., Фадеев Н.Н., Федяевский К. К.* Гидромеханика. Л., 1982.
3. *Нишонов Ф.Х., Худайкулов С.И.,* Моделирование гидравлического удара в строительных комплексах // “Научно-технический журнал ФарПИ”. Фергана, 2018. № 2. С. 68. (05.00.00; № 20).
4. *Nishonov F.X.* Mathematical model of liquids mixture hydraulic blow action in pipe line // Asian Journal of Research. Japan, Osaka. № 10. (10), 2017. Pp. 26-33.
5. *Хамидов А.А., Худайкулов С.И., Махмудов И.Э.* Гидромеханика. Ташкент «ФАН», 2008. 143 с.

6. *Абдукаримов Б.А., Тохиров И.Х.* Research of convective heat transfer in solar air heaters. Наука, техника и образование, 2019. № 9 (62).