

SPATIAL CAVERNS IN FLOWS WITH THEIR PERTURBATIONS IMPACT ON THE SAFETY OF THE KARKIDON RESERVOIR

TECHMIND-2021

N.A. Usmonova¹

Research Institute of Irrigation and Water Problems.

Prof. S.I. Khudaykulov²

Fergana Polytechnic Institute



Annotation:

Fluid caverns cause disturbance and destruction in pipelines, outfalls. These disturbances and destruction so strongly affect hydraulic structures can lead to real threats. The accident that occurred at the Sayano-Shushensky hydroelectric complex was caused by cavitation revived by the collapse of caverns.

Keywords:

Fluid caverns, destruction in pipelines, hydraulic structures, hydraulic structures

Каверны в жидкости вызывают возмущение и разрушение в трубопроводах, водовыпусных сооружениях. Эти возмущения и разрушение настолько сильно действуют на гидросооружений может привести к реальным угрозам. Авария произошедший Саяно – Шушенском гидроузле вызвано кавитацией возрожденной схлопыванием каверн.

Поэтому учет весомости жидкости, наличие угла атаки у кавернообразующего тела, отличие насадка от круговой формы и другие возмущающие факторы могут вызвать различного вида деформации каверны. Общие законы поведения возмущенной поверхности каверны по предложению Г. В. Логвиновича можно выразить с помощью рядов Фурье [1-3]. Детальные вычисления по этому методу приведены в [5]. Однако для приближенной оценки влияние того или иного возмущающего фактора зачастую достаточно вычислить хотя бы первую поправку. Поэтому в данной статье будут даны упрощенные анализы влияния возмущений.

Рассмотрение фактора весомости кардинальным образом изменяет теоретическую постановку задачи о развитых кавитационных течениях. В самом деле, из уравнения Бернулли для тяжелой жидкости

$$p + \frac{\rho V^2}{2} + \rho gH = \text{const}$$

Здесь H -возвышение рассматриваемого жидкого элемента (точки) над некоторой плоскостью сравнения. Условие динамическое на границе каверны $p_k = \text{const}$ приводит к переменной скорости на границах каверны, так как положение точек границ каверны относительно плоскости сравнения будет переменным. Парадокс Бриллюэна для тяжелой жидкости теряет смысл. Можно подобрать такие условия, чтобы получилась стационарная каверна конечной длины, в частности каверна с заострением[4].

Имеются три основных типа деформаций профиля каверны под влиянием поля сил тяжести:

- 1) Каверна осесимметричной деформацией поперечных сечений в продольном поле сил тяжести;
- 2) Каверна с искривленной осью в поперечном поле сил тяжести (всплывание хвостовой части);

3) Каверна неосесимметричная с деформацией в круговых сечениях поперечном поле сил тяжести.

При вертикальном движении тела-насадка с постоянной скоростью V_n в тяжелой жидкости, σ_0 - число кавитации в начале координат, ось x_g которой направлена противоположно движению. Число кавитации в произвольном сечении x будет равно

$$\sigma(x_g) = \sigma_0 \pm \frac{2}{Fr_n^2} \frac{x_g}{R_n} \quad (1)$$

Где

$$Fr_n = \frac{V_n}{\sqrt{gR_n}}$$

Знак плюс соответствует всплытию, знак минус соответствует погружению.

На основании (2.2.66) и (2.3.1) можно записать закон изменения радиуса каверны:

$$R^2(x, t) = \sqrt{\frac{2C_{xn}}{k\mu}} R_n x - \frac{\sigma_0}{2\mu} x^2 \mp \frac{1}{Fr_n^2} (V_n t - x) x^2 \quad (2)$$

Профиль каверны в тяжелой жидкости оказывается нестационарным даже при равномерном движении и в связанной системе координат. Физически это легко объяснить, так как в каждый момент времени тело-насадок внедряется в слой жидкости с иным значением перепада давления $\Delta p = p_\infty - p_k$.

Качественную оценку влияния весомости воды на каверну можно получить, составив отношение архимедовой силы к силе сопротивления. Последняя практически от силы тяжести не зависит. Итак,

$$\frac{F_A}{X} = \frac{\rho g \Omega}{\frac{1}{2} \rho V_n^2 S_k C_{xk}} \quad (3)$$

Ω - объем каверны, а $C_{xk} \approx \sigma$. Полагая каверну эллипсоидальной, окончательно находим

$$\frac{F_A}{X} = \frac{\frac{4}{3} g S_k L_k}{\frac{1}{2} \rho V_n^2 S_k \sigma} = \frac{8}{3} \frac{g L_k}{V_n^2 \sigma} \approx \frac{3}{\sigma Fr_L^2} \quad (4)$$

где $Fr_L = \frac{V_n}{\sqrt{gL_k}}$ - число Фруда, вычисляемое по полудлине каверны. Влияние весомости

будет существенным при $\sigma Fr_L^2 < 3$, а слабым при $\sigma Fr_L^2 \approx 3 \dots 10$, несущественным при $\sigma Fr_L^2 > 10$. Полудлину каверны в соответствии с предыдущим выразить в виде

$$L_k = R_n \frac{\sqrt{2\mu C_{xu}}}{\sigma} \approx \frac{2R_n}{\sigma}$$

можно записать иначе:

$$\frac{F_A}{X} \approx \frac{6}{\sigma^2 Fr_n^2} \quad (5)$$

Уравновешиваются Архимедовы силы в потоке около горизонтальной каверны и в теле-насадки в вертикальной плоскости, и возникает циркуляция, направленная против часовой стрелки. По теореме Н. Е. Жуковского о подъемной силе, в этом случае будет создаваться подъемная сила, направленная вниз. Циркуляции Γ - соответствует условию равенства подъемной архимедовой силы.

Опытным путём можно демонстрировать циркуляцию. Для этого поместим в поток жидкости однородный конус, плотность которого равна плотности жидкости, на длинной тонкой вертикальной нити, проходящей через центр объема. При режиме сплошного обтекания конус находится в равновесии. За конусом создадим подачи газа каверну, конус тонет, а если разрушится каверна, конус занимает исходное положение[1,6]. Для анализа о существовании циркуляции - из элементарных рассуждений на основе уравнения Бернулли запишем для верхней (индекс «в») и нижней (индекс «н») границы каверны:

$$p_k + \frac{\rho V_B^2}{2} + \rho g y_B = p_k + \frac{\rho V_n^2}{2} + \rho g y_n$$

Отсюда можем получить:

$$(V_n - V_B)(V_n + V_B) = 2g(y_B - y_n)$$

Выражения для циркуляции берем[]

$$\Gamma = \oint_L V dl$$

Если граничное условие снести с поверхности каверны на горизонтальную ось X , циркуляцию скорости можно выразить в виде:

$$\Gamma = \int_0^L (V_n - V_B) dx$$

L - полная длина каверны. Из рисунка 1, приближенно можно считать, что:

$$(V_n + V_B) \approx 2V_k$$

Но

$$V_k = V_\infty \sqrt{1 + \sigma}$$

Таким образом,

$$\Gamma = \frac{g}{V_k} \int_0^L (y_B - y_n) dx = \frac{g S^*}{V_\infty \sqrt{1 + \sigma}} \quad (6)$$

S^* - площадь меридионального сечения каверны.

Циркуляцию может генерировать с П-образной вихревой системой, аналогичной вихревой системе крыла. Расстояние между свободными вихрями равно « b », тогда по теореме Н. Е. Жуковского подъемная сила будет равна:

$$Y = \rho V_{\infty} \Gamma b.$$

Условие равенства подъемной и архимедовой сил

$$\rho V_{\infty} \Gamma b = \rho g \Omega \quad (7)$$

Предположим, что имеем дело с каверней эллипсоидальной, тогда с учетом предыдущих формул можем написать:

$$b = \frac{4}{3} R_{\kappa} \sqrt{1 + \sigma} \quad (8)$$

Расчет величины всплытия кормы каверны h (рис.4.) можно выполнить на основе

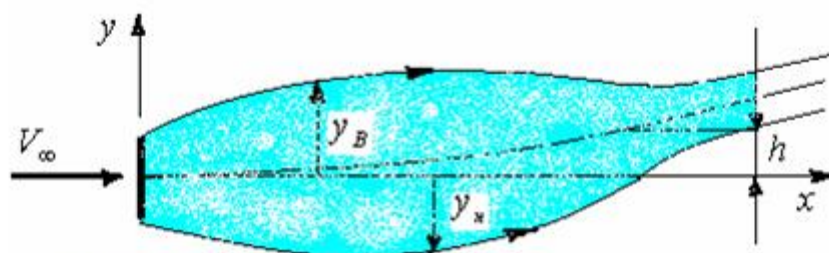


Рис.1. Расчет величины всплытия кормы каверны на основе теории эквивалентного крыла Л. А. Эпштейна.

теории эквивалентного крыла Л. А. Эпштейна. Вихревая система каверны создает подъемную силу:

$$Y = C_y^{\alpha} \alpha \frac{\rho V_{\infty}^2}{2} S^* \quad (9)$$

C_y^{α} - величину подберем, опираясь на теорию крыла среднего и малого удлинения и руководствуясь соображением наилучшего совпадения расчетных и экспериментальных данных по всплыванию кормы каверны [2,7,8].:

$$C_y^{\alpha} \approx \pi \lambda_{\text{крыла}} \approx \frac{\pi R_{\kappa}}{L_{\kappa}}$$

Угол отклонения оси вследствие всплывания каверны равен $\alpha \approx \frac{h}{(2L_{\kappa})}$. Из условия $Y = F_A$ следует

$$\frac{h}{L_{\kappa}} = \frac{4}{3} \frac{g L_{\kappa}}{V_{\infty}^2} \quad (10)$$

Форму искривленной оси можно рассчитать поаппроксимировать по формуле Ю.Ф. Журавлева:

$$\frac{h(x)}{L_k} = \frac{1}{3} \frac{gL_k}{V_\infty^2} \left(\frac{x}{L_k} \right)^2 \quad (11)$$

справедливой в диапазоне $0,05 \leq \sigma \leq 0,1$; $2,0 \leq Fr_L \leq 3,5$.

Выводы:

1. Вследствие существования перепада давления по высоте поперечного сечения горизонтальной каверны жидкие частицы, находящиеся на нижней стороне каверны, при радиальном расширении испытывают больший перепад давления.
2. Радиальные скорости каверны меньше и нижняя сторона каверны сначала как бы выпрямляется, а затем в сечениях вниз по потоку в нижней части каверны формируется гребень с вершиной, направленной вверх. Рост гребня становится все более заметным по мере удаления от насадка и соответствующего уменьшения кинетической энергии жидкости в рассматриваемом сечении.
3. В определенных условиях гребень каверны может достигать верхней границы каверны и тогда наблюдается формирование продольных вихревых шнуров. Согласно Л. А. Эпштейну это явление наступает при $\sigma Fr_n \approx 1$ в условиях искусственной кавитации.
4. Одновременно происходит изменение габаритов поперечных сечений каверны. Вертикальный размер уменьшается, а горизонтальный- увеличивается. Происходит образование щек относительно вертикальной плоскости.

Список Использованных Источников

1. Худайкулов С.И., Нишонов Ф.Х. Математические модели гидравлического удара в гидросооружениях и производственных комплексах. Ташкент, 2017г. 162с.
2. Худайкулов С.И., Нишонов Ф.Х. Рахимов Н. Гидравлический удар многофазного потока в напорных трубопроводах. Ўзбекистон архитектураси ва қурилиши илмий журнали 01-02 2019. №1. 71-74.
3. Худайкулов С.И., Нишонов Ф.Х., Усманова Н.А. Метод взаимопроникающих движений дисперсной смеси и прогнозирование кавитационных явлений в инженерных коммуникациях. Сборник материалов I международной научно-практической конференции "Актуальные проблемы внедрения инновационной техники и технологий на предприятиях по производству строительных материалов, химической промышленности и в смежных отраслях" 24-25 мая 2019 года. 4 – том. Фергана. С.73-77.
4. Khudaykulov S. I., Yakhshibaev D. S., Usmonov A. H., Nishonov F. Kh. Change in concentration of collector waters along the flow length taking into account the difference in densities <http://dx.doi.org/10.26739/2433-202x> Issue DOI <http://dx.doi.org/10.26739/2433-202x-209-2019-1> Asian Journal of Research ¹ 1-3, 2019 ISSN 2433-202x IMPACT FACTOR JOURNAL DOI 10.26739/2433-202x SJIF 5,1 www.journalofresearch.asia IFS 2,7 info@journalofresearch.asia 39-43s.
5. Khudaykulov S. I., Zhovlyev U. T., Nishonov F. Kh. Modeling of disperse mixture flow with the formation of a bubble zone bringing hydro system to vibration Asian Journal of Research ¹ 1-3, 2019 ISSN 2433-202x IMPACT FACTOR JOURNAL DOI 10.26739/2433-202x SJIF 5,1 www.journalofresearch.asia IFS 2,7 info@journalofresearch.asia 159-162s.