

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАВИТАЦИИ В ВОДОВЫПУСКНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ ВОДОХРАНИЛИЩ ПО МЕТОДУ КРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Н. А. Усмонова, Ph.D

Ферганский политехнический институт, n.usmonova@ferpi.uz.

Аннотация

В статье приводятся условия безкавитационных схем течений жидкости из трубопроводов инженерных коммуникациях и водовыпускных сооружений водохранилищ. Оптимальная форма входного оголовка глубинных напорных водоводов эллиптическая и круговая, которую можно рассматривать как частный случай эллиптической. Приведенные зависимости можно пользоваться в расчетах и при наличии порога у донных труб. Приводятся реальные очертания оголовков, которые могут существенно отличаться имеющихся в данный момент во многих водовыпускных сооружениях.

© 2019 Hosting by Central Asian Studies. All rights reserved.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 16 Oct 2022

Revised form 15 Nov 2022

Accepted 17 Dec 2022

Ключевые слова: очертание оголовка, актуальное давление, область минимального давления, безотрывное обтекание, входные оголовки: плоские (двухмерные) и пространственные (для водоводов прямоугольной формы сечения, а также круглых.

Как известно возникновения кавитации в трубопроводах инженерных коммуникациях и водовыпускных сооружениях водохранилищ является опасным гидравлическим явлением. Поэтому методы прогнозирования этих явлений имеет особое значения.

Наиболее достоверным и экспериментально обоснованным методом прогнозирования условий возникновения кавитации является метод критических параметров. Отсутствие кавитации определяется по условию

$$K > K_{кр} \quad (1)$$

где

$$K = \frac{H_{хар} + H_a}{\frac{g_{хар}^2}{2g}}$$

параметр (число) кавитации; $H_{хар}$ и $g_{хар}$ - пьезометрическое давление, м вод. ст., и скорость, м/с, в окрестности возбудителя кавитации соответственно; H_a - атмосферное давление; $K_{кр}$ - критический параметр кавитации.

При правильном выборе характерного давления $H_{хар}$ и скорости $\mathcal{G}_{хар}$ параметр $K_{кр}$ зависит в основном от очертания твердых границ потока в окрестности возбудителя кавитации, что позволяет накопить сведения о значениях $K_{кр}$ для различных элементов водосбросов и упростить инженерные расчеты. Однако для каждого элемента приходится предварительно проводить специальное исследование, чтобы обосновать выбор значений $H_{хар}$ и $\mathcal{G}_{хар}$.

Рассмотрим методику выбор значений $H_{хар}$ и $\mathcal{G}_{хар}$ для входных оголовков напорных водоводов. При безотрывном обтекании входного оголовка криволинейного очертания (рис.1.) кавитация возникает на его поверхности в точке минимального давления M , если выполняются условие:

$$H' + H_a - \frac{\mathcal{G}^2}{2g} - \zeta_{вх} \frac{\mathcal{G}^2}{2g} - C_{цб} \frac{\mathcal{G}^2}{2g} - C_{турб} \frac{\mathcal{G}^2}{2g} \leq 0 \quad (2)$$

где \mathcal{G} — средняя с скорость в трубе, $\zeta_{вх}$ - коэффициент сопротивления на вход, $C_{цб}$ - коэффициент понижения давления от действия центробежных сил. $C_{турб}$ - коэффициент турбулентности. Следовательно, в критическом состоянии:

$$H' + H_a - (1 + \zeta_{вх} + C_{цб} + C_{турб}) \frac{\mathcal{G}^2}{2g} \leq 0$$

$$H' + H_a - K_{кр} \frac{\mathcal{G}^2}{2g} \leq 0 \quad (3)$$

Где

$$K_{кр} = (1 + \zeta_{вх} + C_{цб} + C_{турб}) .$$

Введем формально также обозначение $K = \frac{H' + H_a}{\frac{\mathcal{G}^2}{2g}}$. Тогда начало

кавитации охарактеризуется таким сочетанием $H' = H_{кав}$ и $\mathcal{G} = \mathcal{G}_{хар}$ при которых справедливы выражения μ, A

$$\frac{H' + H_a}{\frac{\mathcal{G}^2}{2g}} = K \leq K_{кр} = 1 + \zeta_{вх} + C_{цб} + C_{турб} \quad (4)$$

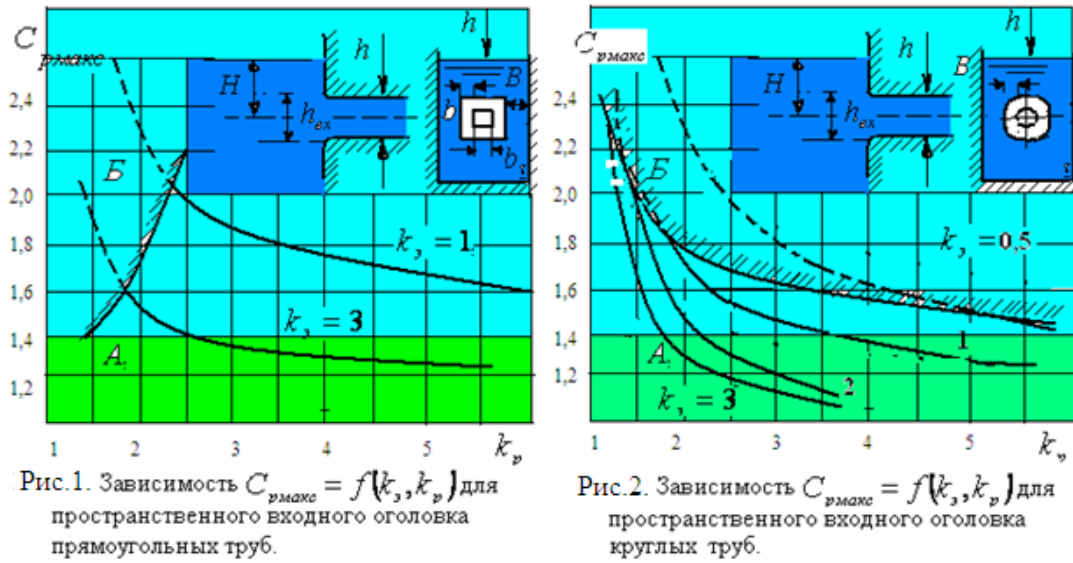


Рис.2, Зависимость $C_{рmaxк} = f(k_р, k_в)$ для оголовков с параллельными стенками на входном участке: 1- точка, полученная по результатам прямых кавитационных исследований; А — область безотрывного обтекания; В - область отрывного обтекания.

Таким образом, для входных оголовков напорных труб следует принимать $H_{хар}$ равным H' , т. е. напору со стороны верхнего бьефа над расчетной точкой, а $g_{хар}$ равным g - средней скорости потока в трубе.

При использовании справочных данных по значениям КНР необходимо помнить, что наиболее достоверные результаты получаются, если $K_{кр}$ рассчитывают по результатам прямого эксперимента, моделирующего начало кавитации. Такие исследования лучше проводить в лабораторной установке с независимым регулированием давления и скорости. При этом, создавая характерные давление $H_{хар}$ и скорость $g_{хар}$, при сочетании которых возникает кавитация, определяют экспериментальное значение $K_{кр}$ по уравнению

$$K_{кр} = \frac{H'_{хар} + H_a}{\frac{g_{хар}^2}{2g}} \quad (5)$$

Кавитационные исследования, выполняемые на моделях достаточно крупных масштабов (что обычно необходимо), дорогостоящи и трудоемки. По возможности от них стараются отказаться, используя другие методы для определения $K_{кр}$. Так, при безотрывном обтекании $\zeta_{вх} = C_{цб} + C_{турб}$. Значение $C_{турб}$ мало и поэтому им пренебрегают. Кроме того, в этом случае минимальное давление имеет место практически на поверхности оголовка. Тогда можем написать:

$$K_{кр} = (1 + C_{цб}) + C_{турб} = \bar{C}_{рmaxк} + C_{турб} \quad (6)$$

где

$$(1 + C_{цб}) = \bar{C}_{рмакс} = \frac{\Delta \bar{H}}{2g}$$

Коэффициент максимального понижения пьезометрического давления; $C_{турб}$ - коэффициент пульсации давления на оголовке в точке M ; $C_{рмакс}$ - коэффициент максимального понижения актуального давления.

Следовательно, $C_{рмакс}$ в данном случае определяется измерением пьезометрической и пульсационной составляющей давления на стенке. Значение $C_{рмакс}$ определяется очертанием входного оголовка. При выборе очертаний оголовка кроме $C_{рмакс}$ следует учитывать его габариты, простоту формы и необходимость сопряжения с другими элементами глубинного водосброса (горизонтальным порогом, затворной камерой и др.).

Оптимальная форма входного оголовка глубинных напорных водоводов эллиптическая и круговая, которую можно рассматривать как частный случай эллиптической. Очертания твердых границ такого оголовка (рис.1.) можно представить уравнением эллипса в безразмерном виде:

$$\frac{\left(\frac{x}{h}\right)^2}{k_3^2(k_p - 1)^2} + \frac{\left(\frac{y}{h}\right)^2}{(k_p - 1)^2} = 0 \quad (7)$$

Где k_3 - отношение полуосей эллипса $\frac{a}{b}$; $k_p = \frac{h_{ax}}{h}$ - раструбность оголовка.

Для кругового оголовка

$$k_3 = 1. \frac{1}{h^2}(k_p - 1)^2 = \frac{1}{r^2} \text{ т.е. } x^2 + y^2 = 1 \quad (8)$$

На практике применяются в основном входные оголовки следующих типов: плоские (двухмерные) и пространственные (для водоводов прямоугольной формы сечения, а также круглых).

На рис.1 и рис.2. приведены графики зависимости

$$C_{рмакс} = f(k_3, k_p),$$

полученные в опытах по бескавитационному обтеканию оголовков. Коэффициент максимального понижения актуального давления определяли как

$$C_{рмакс} = \bar{C}_{рмакс} + C_{турб}, \quad (9)$$

где $\bar{C}_{рмакс}$ принимается по данным [1,2]. При этом предпочтение отдавалось результатам Е. И. Дубинчика, полученным в опытах на крупномасштабных моделях, согласно которым значение $C_{рмакс}$ на 10% больше, чем других авторов. Результаты

Е. И. Дубинчика интерполировались методом расщеплений, благодаря чему область их применения в координатах (k_3, k_p) увеличивалась. Рис.1. А - область безотрывного обтекания; Б - область

отрывного обтекания. На самом деле область минимального давления расположена в пограничном слое вблизи твердой стенки. Игнорирование этого практически не влияет на результаты расчетов для безотрывного обтекания. Рис.2. A - область безотрывного обтекания; $B \sim$ область отрывного обтекания.

Исключение составляет кривая $k_s = 1$ для кругового оголовка (рис.1.), которая принята по опытам Чиквашвили Б. М.

Следует отметить, что кривые на рис.1-2 существенно отличаются от аналогичных, приведенных в [1]. На рис.1 и рис. 2 приведены коэффициенты максимального понижения актуального давления $C_{r\max}$ с учетом пульсации давления и расположения наименьшего давления для прямоугольных отверстий вблизи их углов. Значения $C_{r\max}$ в углах приняты на 20% больше, чем на оси трубы [1]. Максимальные мгновенные значения $C_{турб}$ вычислялись по рекомендуемой формуле: $C_{турб} = 4C_{0турб}$, где $C_{0турб}$ - стандарты пульсации давления в точке максимального понижения давления на входе в оголовок, принимаемые по данным Б. М. Чиквашвили.

На значение $C_{r\max}$ влияет относительное заглубление входного оголовка под уровень верхнего бьефа. Однако при напорах $H > (5-7)h$ [1], что в практических кавитационных расчетах всегда имеет место, влияние заглубления на значение $C_{r\max}$ несущественно и во внимание не принималось.

При одинаковых очертаниях вдоль потока плоские и пространственные головки для труб круглой формы сечения имеют лучшие кавитационные качества, чем пространственные для прямоугольных труб. Например, при $k_s = 1$ (круговой оголовок), $k_s = 2$ значения $C_{r\max}$ соответственно равны: 1,64 — для плоского; 1,75 — для пространственного круглого и 2,3 - для пространственного прямоугольного оголовка. Вместе с тем конструкция плоского оголовка сложнее и дороже, так как располагается он между двумя бычками, выдвинутыми в верхний бьеф, а кроме того, круглое сечение водоводов (особенно коротких) усложняет конструкцию переходных участков к затворным камерам, которые обычно выполняются прямоугольного поперечного сечения. На практике для уменьшения $C_{r\max}$ в пространственных прямоугольных оголовках выполняют скругления (вугты) в углах с радиусами $r \approx 0,2a$.

Применяя графики (рис.1,рис.2.), следует помнить, что если обтекание оголовка происходит с отрывом потока (зона 5), точка минимального давления перемещается от стенки в глубь потока, а значение $C_{r\max}$, определяемое на стенке, дает заниженные значения минимума актуального давления в потоке. Погрешность возрастает по мере отхода по соответствующей кривой в глубину отрывной зоны B .

Приведенными зависимостями можно пользоваться в расчетах и при наличии порога у донных труб. В этом случае порог и дно трубы следует принимать в качестве осевой линии.

Реальные очертания оголовков могут существенно отличаться от приведенных (рис.1, рис.2.). Например, на выходе глубинного водосброса часто устраиваются горизонтальный порог или бычки с пазами для ремонтного затвора, или труба водовода может быть наклонной и т. д. Надежных экспериментальных данных, учитывающих реальные формы входных оголовков глубинных водосбросов, мало. Римкус А.А. [3,4] нашел, используя гидромеханические методы в условиях плоской задачи, значения координат и коэффициентов понижения осредненных пьезометрических

давлений $C_{p_{\max}}$ для оголовков трех типов: донного, горизонтального с полкой и наклонного с полкой.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Usmonova, N. A. (2021). Structural Characteristics of the Cavern at a Fine Bubbled Stage of Cavitation. *Middle European Scientific Bulletin*, 18, 95-101.
2. Usmanova, N., & Abdukhalilova, S. (2022). SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGER DESIGN WITH INCREASED TURBULENCE OF THE HEATED LIQUID FLOW. *Science and innovation*, 1(A7), 726-731.
3. Аббасов, Ё. (2020). Роль солнечных воздухонагревателей в теплоэнергетической отрасли и перспективы их развития в Республике Узбекистан. *Общество и инновации*, 1(1), 1-13.
4. Abbasov, E. S. (2004). Calculation of the turbulized boundary layer in diffusor-confusor solar receivers. *Applied Solar Energy*, 40(1), 92-94.
5. Abbasov, E. S. (2004). Heat exchange intensification in solar heat collectors of solar air heaters. *Applied solar energy*, 39(4), 20-23.
6. Mamatisaev, G., & Muulayev, I. (2022). ECOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL PROBLEMS IN WATER COLLECTION FACILITIES. *Science and innovation*, 1(A7), 767-772.
7. Mullaev, I. (2022). ҚУЁШ-ҲАВО ИСИТИШ ҚУРИЛМАСИНИНГ САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ. *Science and innovation*, 1(A7), 756-761.
8. Abobakirovich, Abdukarimov Bekzod, Abbosov Yorqin Sodikovich, and Mullayev Ikromjon Isroiljon Ogli. "Optimization of operating parameters of flat solar air heaters." *Вестник науки и образования* 19-2 (73) (2019): 6-9.
9. Madaliev, M. E. U., Maksudov, R. I., Mullaev, I. I., Abdullaev, B. K., & Haidarov, A. R. (2021). Investigation of the Influence of the Computational Grid for Turbulent Flow. *Middle European Scientific Bulletin*, 18, 111-118.
10. Azizovich, N. I. (2022). On The Accuracy of the Finite Element Method on the Example of Problems about Natural Oscillations. *European Multidisciplinary Journal of Modern Science*, 116-124.
11. Nasirov, I. (2022). АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И МЕТОДОВ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ. *Science and innovation*, 1(A7), 711-716.
12. Nosirov, A. A., & Nasirov, I. A. (2022). Simulation of Spatial Own of Vibrations of Axisymmetric Structures. *European Multidisciplinary Journal of Modern Science*, 107-115.
13. Akramovna, U. N., & Ismoilovich, M. R. (2021). Flow Around a Plate at Nonzero Cavitation Numbers. *CENTRAL ASIAN JOURNAL OF THEORETICAL & APPLIED SCIENCES*, 2(12), 142-146.
14. Muminov, O., & Maksudov, R. (2022). HIDROTECHNICS PREVENT VIBRATIONS THAT OCCUR IN CONSTRUCTIONS. *Science and innovation*, 1(A7), 762-766.
15. Abdullayev, B. X., & Rahmankulov, S. A. (2021). Modeling Aeration in High Pressure Hydraulic Circulation. *CENTRAL ASIAN JOURNAL OF THEORETICAL & APPLIED SCIENCES*, 2(12), 127-136.
16. Abdullayev, B. X., & Rahmankulov, S. A. (2021). Movement of Variable Flow Flux Along the Path in a Closed Inclined Pipeline. *CENTRAL ASIAN JOURNAL OF THEORETICAL & APPLIED SCIENCES*, 2(12), 120-126.
17. Хамдамалиевич, S. A., & Rahmankulov, S. A. (2021, July). Investigation of heat transfer processes of solar water, air contact collector. In *E-Conference Globe* (pp. 161-165).

18. Husanov, N., & Abdukhalilova, S. (2022). HEAT EXCHANGE PROCESSES IN A SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGER. *Science and innovation*, 1(A7), 721-725.
19. Madaliev, E. U., & qizi Abdukhalilova, S. B. (2022). Repair of Water Networks. *CENTRAL ASIAN JOURNAL OF THEORETICAL & APPLIED SCIENCES*, 3(5), 389-394.
20. Рашидов, Ю. К. Орзиматов, Ж. Т., & Исмоилов, М. М. (2019). Воздушные солнечные коллекторы: перспективы применения в условиях Узбекистана. *ББК 20.1 я43 Э 40*.
21. Ибрагимова, З. К. К. Хамдамова, Н. С. К., Умуркулов, Ш. Х. У., & Сабиров, Д. Р. У. (2022). ПОДГОТОВКА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ИЗ МАЛОМОЩНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОИСТОЧНИКОВ. *Central Asian Research Journal for Interdisciplinary Studies (CARJIS)*, 2(Special Issue 4), 77-83.
22. Ismailov, M., & Xolmatov, I. (2022). OPTIMAL METHODS FOR DESIGNING SEWER NETWORKS. *Science and Innovation*, 1(7), 744-749.
23. qizi Abdukhalilova, S. B. (2021). Simplified Calculation of the Number of Bimetallic Radiator Sections. *CENTRAL ASIAN JOURNAL OF THEORETICAL & APPLIED SCIENCES*, 2(12), 232-237.
24. Madraximov, M. M., Nurmuxammad, X., & Abdulkhaev, Z. E. (2021, November). Hydraulic Calculation Of Jet Pump Performance Improvement. In *International Conference On Multidisciplinary Research And Innovative Technologies* (Vol. 2, pp. 20-24).
25. Maqsdov, R. I., & qizi Abdukhalilova, S. B. (2021). Improving Support for the Process of the Thermal Convection Process by Installing. *Middle European Scientific Bulletin*, 18, 56-59.
26. Madaliyev, E., & Maksitaliyev, B. (2022). A NEW WAY OF GETTING ELECTRICITY. *Science and innovation*, 1(A7), 790-795.
27. Koraboevich, U. M., & Ilhomidinovich, M. G. (2021, June). Calculation of the free vibrations of the boxed structure of large-panel buildings. In " *ONLINE-CONFERENCES*" PLATFORM (pp. 170-173).
28. Muminov, O. (2022). TYPES OF CAVITATION, CAUSING VIBRATION IN ENGINEERING AND WATER SUPPLY SYSTEMS. *Science and innovation*, 1(A7), 732-737.
29. Mo'minov, O. A., & O'tbosarov Sh, R. TYPE OF HEATING RADIATORS, PRINCIPLES OF OPERATION AND THEORETICAL ANALYSIS OF THEIR TECHNICAL AND ECONOMIC CHARACTERISTICS.
30. O'tbosarov, S., & Xusanov, N. (2022). ASSEMBLY OF STRUCTURES AND WATER DIVIDERS. *Science and innovation*, 1(A7), 780-784.
31. Mo'minov, O. A., Abdukarimov, B. A., & O'tbosarov, S. R. (2021). Improving support for the process of the thermal convection process by installing reflective panels in existing radiators in places and theoretical analysis. In *Наука и инновации в строительстве* (pp. 47-50).
32. Abbasov, Y., & Usmonov, M. (2022). CALCULATION OF THEIR POWER AND HEATING SURFACE IN IMPROVING THE EFFICIENCY OF AIR HEATING SYSTEMS. *Science and innovation*, 1(A7), 738-743.
33. Abbasov, Y. S., & ugli Usmonov, M. A. (2022). Design of an Effective Heating System for Residential and Public Buildings. *CENTRAL ASIAN JOURNAL OF THEORETICAL & APPLIED SCIENCES*, 3(5), 341-346.
34. Ismailov, M., & Xolmatov, I. (2022). КАНАЛИЗАЦИЯ ТАРМОҚЛАРИНИ ЛОЙИХАЛАШНИНГ АПТИМАЛ УСУЛЛАРИ. *Science and innovation*, 1(A7), 744-749.
35. Madaliyev, E., Makhsitalayev, B., & Rustamova, K. (2022). IMPROVEMENT OF SEWAGE FLATS. *Science and innovation*, 1(A7), 796-801.