

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КРИТИЧЕСКОЙ ГЛУБИНЫ В РУСЛЕ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНОЙ ФОРМЫ

При проведении гидравлических расчетов неравномерного движения, например при расчете кривых свободной поверхности, сопряжении бьефов, необходимо знать так называемую критическую глубину $h_{кр}$. Как известно, глубина $h_{кр}$, соответствующая минимуму удельной энергии сечения, в общем случае определяется из уравнения

$$\frac{aQ^2}{g} = \frac{\omega_{кр}^3}{B_{кр}}, \quad (1)$$

где Q — расход жидкости; a — коэффициент Кариолиса ($a \approx 1$); $\omega_{кр}$ и $B_{кр}$ — соответственно площадь и ширина потока по верху живого сечения при критической глубине; g — ускорение силы тяжести.

Для русел прямоугольной и треугольной форм уравнение (1) может быть решено непосредственно относительно $h_{кр}$. Так, для прямоугольного русла

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{aQ^2}{gb^2}}, \quad (2)$$

где $b = B$ — ширина прямоугольного русла по дну.

Для трапецидального русла уравнение (1) в явном виде относительно $h_{кр}$ не может быть решено. Поэтому для определения $h_{кр}$ в этом случае используются методы, чаще всего графические (например, графики П.Г.Киселева, А.Н.Рахманова, Б.Т.Емцева и др.), облегчающие решение уравнения (1) [1, 2 и др.].

По аналитическому методу И.И.Агроскина [2, 3] определение $h_{кр}$ для трапецидального русла ($h_{кр.т}$) производится по уравнению

$$h_{кр.т} = f(\sigma_n) h_{кр.п}, \quad (3)$$

где $h_{кр.п}$ — критическая глубина для прямоугольного русла, определяемая по (2). Функция $f(\sigma_n)$ представляет собой зависимость

$$f(\sigma_n) = \frac{\sqrt[3]{1+2\sigma_n}}{1+\sigma_n} = \frac{\sigma_n}{\sigma_n}, \quad (4)$$

где $\sigma_n = \frac{mh_{кр.п}}{b}$ и $\sigma_n = \frac{mh_{кр.т}}{b}$; m — коэффициент откоса канала; b — ширина трапецидального русла по дну. Для определения $f(\sigma_n)$ И.И.Агроскиным предложено уравнение

$$f(\sigma_n) = 1 - \frac{\sigma_n}{3} + 0,105 \sigma_n^2. \quad (5)$$

Проведенный анализ уравнения (5) показал, что оно является уравнением кривой, имеющей минимум в точке с координатами $\sigma_n = 1,587$ и $f(\sigma_n) = 0,736$. Кривая, построенная по уравнению (5), совпадает с кривой по уравнению (4) лишь до $\sigma_n \approx 1$. Следовательно, уравнением (5) для определения $f(\sigma_n)$ можно пользоваться до значения $\sigma_n = 1$ или до $\sigma_n = 1,5$ (с погрешностью до 4%). В случае $\sigma_n > 1,587$ на кривой, построенной по уравнению (5), каждому значению $f(\sigma_n)$ соответствуют два разных значения σ_n (на левой и правой ветвях кривой). Это означает, что при заданных расходе Q и ширине по дну "b" для двух трапецидальных каналов с различными коэффициентами откосов получается одна и та же критическая глубина, что, разумеется, невозможно. Непосредственные подсчеты, которые здесь не приведены, показали: пределы возможных на практике значений σ_n при вполне допустимых скоростях и глубинах распространяются до $\sigma_n = 3,0-3,5$.

Для определения $f(\sigma_n)$ нами предлагается уравнение

$$f(\sigma_n) = 0,706 - \frac{\sigma_n - 1,5}{3,14 \sigma_n + 4,45}, \quad (6)$$

полученное на основании методов статистической обработки кривой по зависимости (4). Уравнением (6) можно пользоваться в пределах $0 < \sigma_n \leq 3,5$.

Решение уравнения (1) в целях определения критической глубины для трапецидального русла возможно получить в виде номограммы. Подставляя значения $\omega_{кр}$ и $B_{кр}$ для трапецидального русла, уравнение (1) представим в виде

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{(bh_{кр} + mh_{кр}^2)^3}{b + 2mh_{кр}}. \quad (7)$$

Для построения номограммы использована методика Г.С.Хованского [4]. Уравнение (7) преобразовано к виду

$$2 \lg Q - (\lg 9,81 + 2 \lg m) = \lg \frac{(Ah_{кр} + h_{кр}^2)^3}{A + 2h_{кр}}, \quad (8)$$

где $A = \frac{b}{m}$ и приведено к канонической форме

$$f_{12} = f_3 + f_4,$$

где

$$f_{12} = \lg \frac{(Ah_{кр} + h_{кр}^2)^3}{A + 2h_{кр}}; \quad f_3 = 2 \lg Q; \quad f_4 = -(2 \lg m + 0,9917).$$

Пределы изменения переменных, входящих в уравнение (8), принимались следующими:

$$0 < m \leq 3, 0 \leq b \leq 10 \text{ м}, 1 \leq Q \leq 100 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$0,1 \leq h_{кр} \leq 5 \text{ м}.$$

После подбора параметров получены следующие уравнения шкал номограммы:

шкала Q : $x = 50Q, y = 0;$

шкала m : $x = -55 + 25(2 \lg m + 0,9917), y = 0;$

поле $(A, h_{кр})$: $x = -55 - 25 \lg \frac{(Ah_{кр} + h_{кр}^2)^3}{A + 2h_{кр}}, y = 5A.$

Номограмма приведена на рис. 1

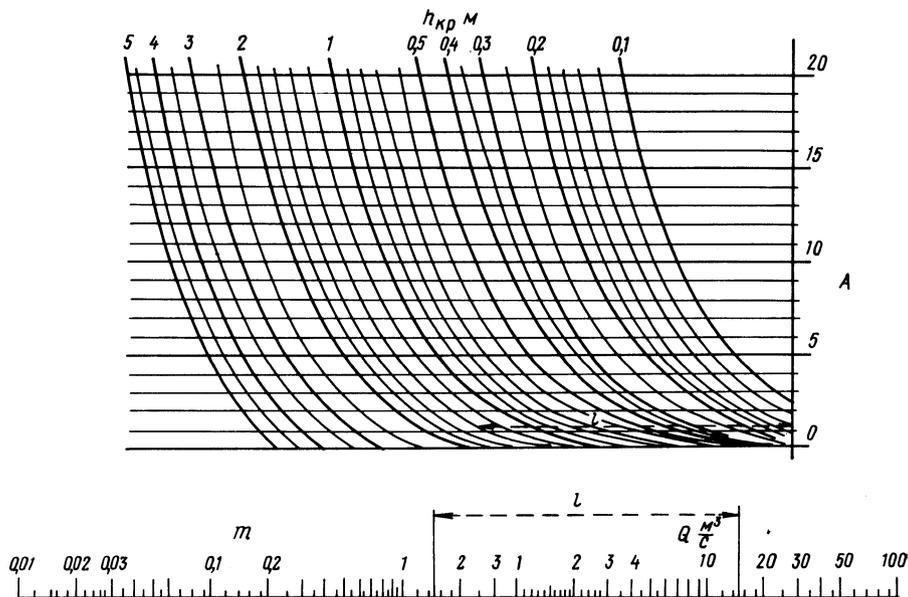


Рис. 1. Номограмма для определения критической глубины в русле трапециевидальной формы.

Пример пользования номограммой.

Дано: $Q = 15 \text{ м}^3/\text{с}, b = 1,67 \text{ м}, m = 1,5.$

Решение: $A = \frac{b}{m} = \frac{1,67}{1,5} = 1,1.$ Определяем длину отрезка l между точками шкалы m с пометкой 1,5 и шкалы Q с пометкой 15 (например, циркулем). Из отметки шкалы $A = 1,1$, параллельно горизонтальным линиям, откладываем длину l до пересечения с кривыми $h_{кр}$. Получаем $h_{кр} = 1,4 \text{ м}.$

По номограмме (рис. 1) можно определять $h_{кр}$ и в случае треугольного русла, тогда $b = 0$ и, следовательно, $A = 0.$

ЛИТЕРАТУРА

1. Примеры гидравлических расчетов/ Под ред. А.И.Богомолова. — М., 1977.
2. Справочник по гидравлическим расчетам/ Под ред. П.Г. Киселева. — М., 1972.
3. Агроскин И.И., Дмитриев Г.Т., Пикалов Ф.И. Гидравлика. — М.—Л., 1964.
4. Хованский Г.С. Основы номографии. — М., 1976.

УДК 532.528

Д.А.КОЗЛОВ, канд.техн.наук, зав.каф.,
И.В.КАРПЕНЧУК, ст.науч.сотр. (БПИ)

ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ КАВИТАЦИИ В УСТРОЙСТВАХ ТИПА ТРУБКИ ВЕНТУРИ ПРИ ВЫСОКИХ СТАТИЧЕСКИХ ДАВЛЕНИЯХ

В последние годы наряду с решением задач по обеспечению надежной защиты элементов высоконапорных гидротехнических сооружений и гидромашин от разрушительной кавитационной эрозии в промышленности для интенсификации технологических процессов, протекающих в системах жидкость—жидкость, жидкость—твердое тело, жидкость—газ, находят применение установки, в которых определяющим фактором воздействия является кавитация. Наиболее перспективным методом повышения эффективности подобных установок является возбуждение кавитации в потоке движущейся жидкости. С целью совершенствования промышленных установок, использующих кавитацию и работающих при больших статических давлениях, нами исследовалось возникновение и развитие кавитации в устройствах типа трубки Вентури. Опыты проводились на вакуумно-кавитационной установке высокого давления.

Гидравлическая схема установки высокого давления для исследования кавитации, представленная на рис. 1, а, состоит из гидравлического электронасосного агрегата ПТР — 14/100, в состав которого входят трехплунжерный насос 1 и предохранительное устройство 6; исследуемое устройство 2; расходомер 3; регулируемые дроссели 4, 5; манометры 7,8; вакуумметр 9. Насос, подающий жидкость (воду) в нагнетательную магистраль, имеет возможность изменения подачи до 1,2 л/с и давления до 10МПа, в зависимости от частоты вращения вала. Плавное изменение частоты вращения осуществлялось комплексным тиристорным электроприводом.

Исследуемое устройство 2 выполнено в виде трубки Вентури, имеющей подсоединительные штуцеры для манометров 7 и 8, вакуумметра 9. Для стабилизации потока жидкости перед устройством и за ним установлены входная гидролиния *ab* и выходная *cd* внутренним диаметром 20 мм, длиной, соответственно, 700 и 650 мм.

В установке дроссель 4 предназначен для более плавного регулирования расхода через исследуемое устройство 2, а также для полной разгрузки системы при запусках установки. Дроссель 5 способствует изменению сопротивления проходящему потоку на выходе из устройства 2.