УДК 627.8-1

Коническая насадка с оптимальным углом конусности для гидромониторных стволов

Качанов И. В., Шаталов И. М., Жук А. Н., Филипчик А. В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье приведены результаты теоретических исследований по определению оптимального угла конусности конической насадки гидромониторных стволов.

Основным рабочим элементом гидромониторных стволов является конфузор [1], позволяющий сформировать струю рабочей жидкости с заданными энергетическими характеристиками.

Анализ патентно-информационных источников [2,3] показывает, что задача по определению оптимального угла конусности конфузоров до настоящего времени не получила корректного решения. Процесс формирования струи в конфузорах определяется соотношением площадей входного и выходного отверстий и конфигурацией каналов.

С целью математического обоснования оптимального угла конусности α конфузора струеформирующего устройства была решена вариационная задача по минимизации потерь напора в потоке жидкости, проходящей через конфузор. При расчете конфузора полная потеря напора h на трение определялась как сумма двух видов потерь напора: потери на трение по длине $h_{тр}$ и местные потери напора на плавное сужение $h_{п.с.}$ [4], т. е.

$$h = h_{тр} + h_{п.с.} \tag{1}$$

Потеря напора на трение по длине рассчитывалась с использованием формулы Дарси-Вейсбаха, записанной в дифференциальном виде. Для расчета принимался цилиндрический конфузор с прямолинейной образующей и с углом α при вершине. Обозначим радиус входного отверстия конфузора через r_1, а выходного r_2 (рис. 1).

Так как радиус сечения r конфузора и средняя скорость движения жидкости v вдоль конфузора являются величинами переменными, то для элементарного отрезка конфузора dl можно записать следующую формулу для определения потерь напора на трение по длине:

$$dh_{тр} = \lambda \frac{dl}{2r} \cdot \frac{v^2}{2g}, \tag{2}$$

где λ – гидравлический коэффициент трения, который при турбулентном режиме движения в диапазоне $4000 < \mathrm{Re} < 3 \cdot 10^6$ для напорных трубопроводов рекомендуется определять по формуле П. К. Конакова [4]; v – средняя скорость в произвольно взятом сечении радиусом r; dl – элементарная длина участка образующей конфузора, величина которой определяется из прямоугольного треугольника ABC (рис. 1) по формуле

$$dl = \frac{dr}{\sin\frac{\alpha}{2}}, \tag{3}$$

где dr – приращение радиуса конфузора на бесконечно малом расстоянии dl между его живыми сечениями.

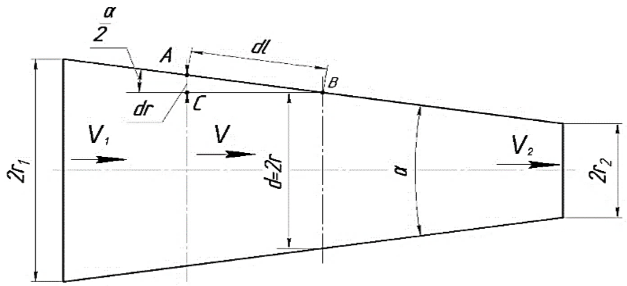

Рис. Расчётная схема конфузора, принятая для определения оптимального угла конусности $\alpha_{опт}$

При расчёте местных потерь напора на плавное сужение используем классическую формулу Вейсбаха [4]:

$$h_{п.с.} = \zeta_{п.с.} \frac{v_2^2}{2g}, \tag{4}$$

где $\zeta_{п.с.}$ – коэффициент гидравлического сопротивления на плавное сужение, который в соответствии с рекомендациями [4] можно определить по формуле

$$\zeta_{п.с.} = k_{п.с.}\left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right)^2, \tag{5}$$

где $k_{п.с.}$ – коэффициент смягчения; ε – коэффициент сжатия струи; по данным [4]:

$$\varepsilon = 0{,}57 + \frac{0{,}043}{1{,}1 - n^2}. \tag{6}$$

По графической зависимости $k_{п.с.} = f(\alpha)$, полученной А. Д. Альтшулем и А. И. Калицуном [4], используя метод наименьших квадратов, получим следующее выражение для определения коэффициента смягчения:

$$k_{п.с.} = 0,6 \cdot \left(\sin\frac{\alpha}{2} \right)^{3,45} + \frac{0,0138}{\sin\alpha/2} + 0,13 \cdot \qquad (7)$$

Выражение (1) для определения полной потери напора на трение в конфузоре с учётом формул (2), (3), (4), (5), (6), (7) запишется в следующем виде:

$$h(\alpha) = \frac{C_{тр}}{\sin\frac{\alpha}{2}} + \left(0,6 \cdot \left(\sin\frac{\alpha}{2} \right)^{3,45} + \frac{0,0138}{\sin\frac{\alpha}{2}} + 0,13 \right) \cdot C_n , \qquad (8)$$

где $C_n = \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)^2 \cdot \frac{v_2^2}{2g}$, $C_{тр} = B_1 \left[0,0582 \cdot \left(1-n^4\right) + \frac{15,886 \cdot \left(1-n^{3,5}\right)\sqrt{r_2}}{\sqrt{A}} + \frac{2,111 \cdot \left(1-n^{3,7865}\right) \cdot r_2^{0.2135}}{A^{0,2135}} \right]$.

Для определения оптимального угла конусности $\alpha_{опт}$, при котором полные потери напора на трение будут минимальными, исследуем на экстремум выражение (8), решая уравнение $\frac{dh}{d\alpha} = 0$. Это уравнение при выполнении условия

$$C_{тр} < 2,0562 C_n , \qquad (9)$$

имеет в интервале $(0;180^\circ)$ единственное решение $\alpha_{опт}$).

$$\alpha_{опт} = 2\arcsin\left(\frac{C_{тр} + 0,0138C_n}{2,07C_n} \right)^{\frac{4}{19}} = 2\arcsin\left(\frac{C_{тр}}{2,07C_n} + 0,0067 \right)^{\frac{4}{19}} . \qquad (10)$$

Если условие (9) не выполняется, то решений нет.

Анализ расчётов по формуле (10) показывает, что для конструктивно обоснованных значений параметров, входящих в формулу (10), условие разрешимости (9) выполняется, а минимальные потери напора и, как следствие, максимальное воздействие струи рабочей жидкости, будет отмечаться при значении угла конусности $\alpha_{опт}$ = 39-43° [5].

Литература

1. Бочаров, В. П. Расчет и проектирование устройств гидравлической струйной техники / В. П. Бочаров. – Киев: Техник, 1987. – 12 с.

2. Способы очистки металлических поверхностей: пат. №21512, Респ. Беларусь, МПК B 08B 3/04 / И. В. Качанов, А. Н. Жук, А. В. Филипчик, А. С. Исаенко; дата публ. 30.12.2017.

3. Качанов, И. В.Технология струйной гидроабразивной очистки и защиты от коррозии стальных изделий с применением бентонитовой глины / И. В. Качанов, А. В. Филипчик, В. Е. Бабич, А. Н. Жук, С. И. Ушев. – Минск: БНТУ, 2016. – 168 с.

4. Альтшуль, А. Д. Гидравлические сопротивления / А. Д. Альтшуль. – М.: Недра, 1982. – 224 с.

5. Качанов, И. В., Веременюк В. В., Мойса А. С., А. В. Филипчик. Расчёт оптимального угла конусности конфузора / И. В. Качанов, В. В. Веременюк, А. С. Мойса, А. В. Филипчик. – Минск: Агропанорама, 2016. – С. 7-10.

УДК 532.59; 627.8

О неустановившемся движении потока воды в открытых руслах при эксплуатации гидротехнических сооружений

Стриганова М. Ю.[1], Шаталов И. М.[2], Самедов С. А.[1], Щербакова М. К.[2], Закерничный В. И.[2], Капуза М. А.[2]
[1]Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь
[2]Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье приведены уравнения неустановившегося движения потока в открытых руслах, используемые при численном моделировании возникающих волн перемещения.

Неустановившееся движение потока воды в открытых руслах (реках и каналах) может возникать при прорыве плотин; в результате маневрирования затворками гидротехнических сооружений (шлюзов, водозаборов, гидроэлектростанций и т.д.); включения и выключения насосных станций. При этом неустановившееся движение в открытых руслах чаще всего принимает форму волны перемещения прямой или обратно, положительной или отрицательной [1].

Волны перемещения в этих случаях имеют строго направленное продольное движение. Поэтому для решения практических задач по волнам перемещения, обычно в инженерном деле рассматривают одномерную модель плавно изменяющегося неустановившегося движения потока воды, при котором в каждом сечении потока: скорость движения воды $\mho$ (м/с) равна средней скорости потока; распределение давления гидростатическое.