

ГИДРАВЛИКА

Э. П. АЩИЯНЦ

РАСЧЕТ ПЛОЩАДИ ОТВЕРСТИЙ В ТАРЕЛИ ОБРАТНОГО  
КЛАПАНА С ЦЕЛЬЮ ЭФФЕКТИВНОГО ГАШЕНИЯ  
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА

В магистральных нагнетательных трубопроводах насосных станций при аварийном отключении электропитания двигателей насосов гидравлический удар возникает, в основном, при закрытии обратных клапанов, установленных на трубопроводе. Так как в большинстве случаев магистральный трубопровод имеет значительную длину, а инерционные свойства насосных агрегатов малы, то в нагнетательном трубопроводе имеет место явление прямого гидравлического удара.

Одним из простых и эффективных способов гашения гидравлического удара является использование обратных клапанов, в тарели которых имеются отверстия. Использование такой конструкции гасителя на насосной станции не всегда является целесообразным, однако, в случае возможности их применения, основная задача расчета состоит в определении суммарной площади отверстий в тарели клапана, необходимой для эффективного гашения удара.

В работе [1] при определении площади сбросных отверстий гасителей предполагается, что истечение жидкости из сбросного отверстия гасителя происходит под постоянным статическим напором и величина сбрасываемого расхода известна. Такая постановка задачи является неточной, т. к. в процессе гашения гидравлического удара истечение жидкости из отверстия происходит под переменным напором и поэтому расчет по рекомендуемой в [1] формуле дает заниженные значения площади сбросного отверстия гасителя.

Допустим, что на нагнетательном трубопроводе насосной станции установлен обычный обратный клапан без отверстий в тарели. В этом случае максимальный напор при гидравлическом ударе  $H_m$  определяется согласно рекомендациям, имеющимся в существующих руководствах [2]. Такой напор возникает в трубопроводе в результате гашения до нуля скорости течения жидкости у обратного клапана.

При наличии отверстий в тарели клапана величина гидравлического удара уменьшается, т. к. в нагнетательном трубопроводе существует некоторая непогашенная скорость  $v_1$ .

Используя формулу, предложенную в [3], величину напора при гидравлическом ударе, можно представить в виде:

$$H = H_m - \frac{av_1}{g}, \quad (1)$$

где  $a$  — скорость распространения волны гидравлического удара;  $g$  — ускорение силы тяжести.

Для определения  $v_1$  используется условие неразрывности течения у обратного клапана:

$$v_1 Q = v \omega, \quad (2)$$

где  $Q$ ,  $\omega$  — площади сечения нагнетального трубопровода и отверстия;  $v$  — скорость жидкости при истечении из отверстия.

Обозначив  $v\omega = Q$  и подставив это выражение в (1), получим:

$$H = H_m - \frac{aQ}{gQ}. \quad (3)$$

В формуле (3) неизвестными являются величина повышения напора  $H$  и сбрасываемый через отверстие расход  $Q$ . Для решения задачи задаемся допустимой величиной повышения напора  $H_1$ , которая может меняться в пределах  $H_0 \leq H_1 \leq H_m$ , где  $H_0$  — статический напор в трубопроводе у обратного клапана.

Имея  $H_m$  и  $H_1$ , определяется расчетный расход, который необходимо сбросить из напорного трубопровода, чтобы обеспечить заданное повышение напора при гидравлическом ударе:

$$Q = (H_m - H_1) \frac{Qg}{a}. \quad (4)$$

Рассматривая процесс истечения жидкости из отверстия за бесконечно малый промежуток времени как установившийся, с достаточной точностью мгновенный расход можно определить по известной формуле гидравлики:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gh}, \quad (5)$$

где  $\mu$  — коэффициент расхода;  $\omega$  — площадь отверстия в тарели клапана;  $h$  — напор над центром отверстия.

Сброс расхода воды через отверстие происходит под переменным напором ( $0 < h \leq H_1$ ) и, следовательно,  $h = f(t)$ , где  $t$  — время.

Экспериментальные исследования показывают, что характер повышения напора у обратного клапана при истечении воды из отверстия в общем случае можно представить кривой

$$h(t) = \alpha t^b e^{ct} + h_m, \quad (6)$$

где коэффициенты  $\alpha$ ,  $b$  и  $C$  зависят от площади отверстия в тарели обратного клапана ( $c < 0$ ,  $b \geq 1$ ). При прямых гидравлических ударах время изменяется в интервале  $0 \leq t \leq 4l/a$  ( $h_m$  — избыточный на-

пор у обратного клапана, когда скорость движения воды в трубопроводе равна нулю).

За определенный промежуток времени  $t = T_n = 2l/a$  с начала истечения жидкости из отверстия функция (6) достигает максимума:  $h(T_n) = H_x$ . За этот промежуток времени из трубопровода должен вытечь такой объем жидкости, чтобы обеспечить заданное повышение напора. Для обеспечения сброса такого объема воды необходимо выполнение равенства

$$(H_M - H_x) \frac{\Omega g T_n}{a} = \mu \omega \sqrt{2g} \int_0^{T_n} \sqrt{h(t)} dt. \quad (7)$$

Из соотношения (7) определяется искомая площадь отверстия в тарели обратного канала:

$$\omega = \frac{(H_M - H_x) \Omega \sqrt{g} T_n}{T_n \int_0^{T_n} \sqrt{h(t)} dt}. \quad (8)$$

Для предварительной оценки величины площади отверстия можно допустить, что за промежуток времени  $0 < t \leq T_n$  повышение напора у обратного клапана происходит по линейной зависимости. В этом случае функция (6) приобретает вид:

$$h(t) = \frac{(H_x - h_n)t}{T_n} + h_n, \quad (9)$$

а площадь отверстия определяется по формуле

$$\omega = \frac{1.06 (H_M - H_x) \Omega \sqrt{g} (H_x - h_n)}{a \mu (H_x^{3/2} - h_n^{3/2})}. \quad (10)$$

Если в момент остановки колонны жидкости в трубопроводе давление у обратного клапана равно атмосферному, то  $h_n = 0$  и формула (10) упрощается:

$$\omega = \frac{1.06 (H_M - H_x) \Omega \sqrt{g}}{\mu a \sqrt{H_x}}. \quad (11)$$

Для того, чтобы иметь некоторое представление о величине  $\omega$ , при которой достигается желаемое гашение гидравлического удара, допустим, что  $H_M = kH_x$  и  $\frac{\omega}{\Omega} = \bar{\omega}$ . Тогда формула (11) приобретает вид

$$\bar{\omega} = \frac{1.06 (k-1) \sqrt{gH_x}}{a \mu}. \quad (12)$$



Рис. График зависимости  $\omega = f(k)$

График зависимости  $\omega = f(k)$  представлен на рис. При построении графика принято  $a = 1000$  м/с и  $\mu = 0,62$ .

Проведенные экспериментальные исследования показали, что при наличии нескольких отверстий в тарели клапана гашение гидравлического удара лучше, чем при одном отверстии с площадью эквивалентной их суммарной площади. Сопоставление результатов расчета по формуле (11) с соответствующими экспериментальными данными приведено в [4].

*Пример.* Нагнетательный трубопровод насосной станции с. Акунк в Арм.ССР имеет диаметр 300 мм, длину 825 м и подает воду на высоту 60 м. В здании станции после насосов установлены обратные клапаны диаметром 200 мм. При аварийном отключении электропитания двигателей насосов максимальный напор у обратного клапана достигал величины 128 м.

В процессе проведения экспериментов на станции, в тарели обратного клапана были просверлены четыре отверстия, диаметр которых постепенно увеличивался. Вначале диаметр отверстий был равен 16 мм. При этом максимальный напор в трубопроводе при гидравлическом ударе достигал величины 102 м, а скорость распространения волны гидравлического удара — 1100 м/с.

Расчетное значение повышение напора, определяемое по формуле (11), дает величину, равную 103 м, а по формуле, рекомендуемой в [1] — 56 м, что значительно меньше его истинного значения. При наличии в тарели клапана четырех отверстий диаметра 18 мм максимальный напор в трубопроводе уменьшился до величины 96 м. Расчет по формуле (11) дает величину напора, равную 98 м. В случае, когда диаметр отверстий увеличили до 20 мм, повышение напора составило 86 м. Согласно расчету этот напор составляет 92 м, что свидетельствует об удовлетворительном совпадении расчетных и экспериментальных данных.

АрмНИИВПиГ

16. XII. 1980

Է. Պ. ԱՇԻԱՆՑ

ՀԵՏԱԴԱՐՁ ՓԱԿԱՆՈՒՄ ՍԿԱՎԱՌԱԿԻ ԱՆՅՔԵՐԻ ՄԱԿԵՐԵՍՆԵՐԻ  
ՀԱՇՎԱՐԿԸ ՀԻՌՐԱՎԻԿԱԿԱՆ ՀԱՐՎԱՅԻ ԷՅԵԿՏԻՎ ՄԱՐՄԱՆ  
ՆՊԱՏԱԿՈՎ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Պոմպակայանների մղող խողովակաշարերում հիդրավիկական հարվածի մարման եղանակներից մեկը համարվում է հետադարձ փականների օգտագործումը անցքեր ունեցող սկավառակներով:

Առաջարկվում է սկավառակի անցքերի մակերեսների հաշման բանաձև, որը հիդրավիկական հարվածի դեպքում ապահովում է նախօրոք տրված

ճնշման բարձրացումը: Հաշվման արդյունքները համեմատված են փորձնա-  
կան տվյալների հետ:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Суриц А. А.* Гидравлический удар в водопроводах и борьба с ним.— М.: Трансжелдориздат, 1946.— 371 с.
2. *Указания по защите водоводов от гидравлических ударов.*— М.: Гостройиздат, ВОДГЕО, 1961.— 227 с.
3. *Жуковский Н. Е.* Гидравлический удар в водопроводных трубах.— М.—Л.: Гос. изд. техн.-теор. лит., 1949.— 104 с.
4. *Ащиянц Э. П., Рафаэлян Р. М.* Гашение гидравлического удара с помощью обратного клапана.— Гидротехника и мелиорация, 1982, № 1, с. 45—46.