

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПЛОЩАДИ ОТВЕРСТИЙ ПЕРФОРАЦИИ В КОЛПАКЕ ПРИ ГИДРОУДАРЕ В НАПОРНЫХ ВОДОВОДАХ

Ф.В. Рекач, Е.К. Синиченко

Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Рассматривается задача определения оптимальной площади отверстий перфорации в воздушном колпаке.

Ключевые слова: воздушный колпак, перфорация, гидравлический удар.

Метод характеристик. Неустановившееся движение несжимаемой жидкости ($\rho = \text{const}$, выраженные через характеристики Q (расход, м³/сек) и H (напор, м) описывается уравнениями движения и неразрывности следующего вида:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(gFz + gFH + \frac{Q^2}{2F} \right) + \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\lambda}{2DF} Q |Q| = 0,$$

$$\frac{Q}{F} \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{c^2}{gF} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

где g — ускорение свободного падения; z — геометрическая высота; ρ — плотность жидкости; t — время; λ — коэффициент гидравлического трения по длине; D — диаметр трубопровода; c — скорость распространения волны давления.

В результате преобразования системы (1) для прямой ($x'_i = Q/F + c$) и обратной ($x'_i = Q/F - c$) характеристик, получим:

$$\frac{dH}{dt} + \frac{c}{gF} \frac{dQ}{dt} + c \frac{dz}{dx} + c \frac{\lambda}{2DgF^2} Q |Q| = 0,$$

$$-\frac{dH}{dt} + \frac{c}{gF} \frac{dQ}{dt} + c \frac{dz}{dx} + c \frac{\lambda}{2DgF^2} Q |Q| = 0. \quad (2)$$

Подробно метод описан в [3]. В данной работе рассматривается регулярная прямоугольная сетка характеристик: шаг по времени Δt и координате Δx являются постоянными.

Начальные условия. В качестве начальных условий задаются параметры установившегося течения потока в гидравлической системе.

Граничные условия. На каждой границе задается по одному граничному условию H или Q (или зависимости между ними).

Узел напорной системы, в котором соединяются N ветвей. Напор и расходы в каждой n -ой ветви для момента времени $j + 1$ определяются из условий

неразрывности потока $\sum_{n=1}^{n=N} Q_{n, j+1} = 0$ и равенства давлений в сечениях ветвей, примыкающих к узлу $H_{1, j+1} = H_{2, j+1} = \dots = H_{N, j+1}$, если известны напоры и расходы в момент времени j .

В узле напорной системы установлена задвижка. Потери напора в задвижке определяются по формуле Вейсбаха $h_3 = \xi_3 \frac{Q^2}{2gF^2}$, где ξ_3 — коэффициент потерь напора в задвижке, зависящий от степени ее открытия.

В узле напорной системы установлен воздушно-гидравлический колпак (ВГК). Рассмотрим воздушно-гидравлический колпак, установленный в i -м сечении конструктивного участка трубопровода ($1 \leq i < N$) (рис. 1). В первом приближении находим расход Q_C , поступающий в ВГК на временном шаге j : $Q_C = Q_{i_1, j} - Q_{i_2, j}$. При политропическом законе расширения-сжатия воздуха

$$H_{C, j+1} w_{j+1}^\chi = H_{C, j} w_j^\chi, \quad (3)$$

где H_C — напор в сечении $c-c$; w — объем воздуха в ВГК.

Очевидно, что $w_{j+1} = w_j - Q_C \Delta t$. Согласно (3) имеем:

$$H_{C, j+1} = H_{C, j} \left(w_j / w_{j+1} \right)^\chi.$$

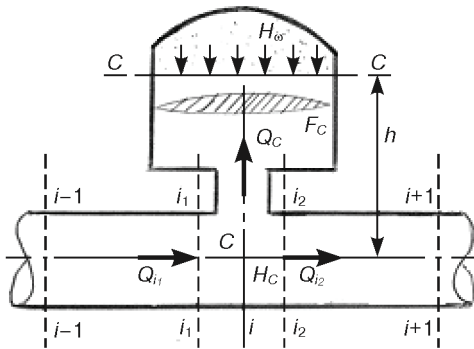


Рис. 1. Воздушно-гидравлический колпак

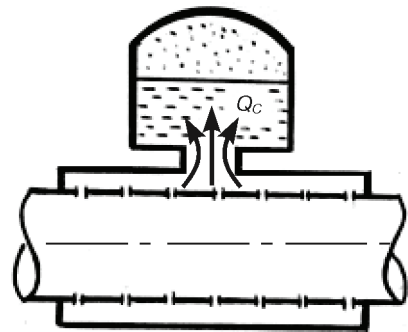


Рис. 2. Перфорационные отверстия

При прохождении жидкости через перфорационное отверстие (рис. 2), потери напора вычисляются по формуле

$$h_{\text{перф}} = \xi_{\text{перф}} \frac{v_{\text{перф}}^2}{2g},$$

где $v_{\text{перф}}$ — средняя скорость движения жидкости через отверстие, $\xi_{\text{перф}}$ — коэффициент потерь напора.

В случае длинного трубопровода, когда время движения жидкости в одном направлении исчисляется десятками секунд, $\xi_{\text{перф}}$ можно принять постоянной.

В справочнике И.Е. Идельчика [4] приведены $\xi_{\text{перф}}$ для различных отверстий и схем движения жидкости. Рассмотрим одну из схем, изображенную на рис. 3. Для отверстия в тонкой стенке (при толщине трубы $\delta < 3d$), числа Рейнольдса

$Re = \frac{v_{\text{перф}} d}{\mu} \geq 10^4$ и $\frac{v}{v_{\text{перф}}} < 0,5$, $\xi_{\text{перф}}$ принимается равным 2,7. В расчетах используется параметр η , называемый процентом перфорирования, т.е. отношением суммарной площади отверстий к внутренней площади трубы, умноженной на 100%.

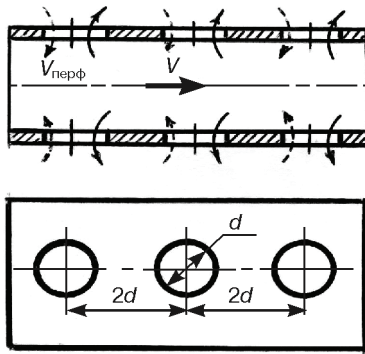


Рис. 3. Схема движения жидкости

Рассмотрим схему трубопровода, показанную на рис. 4. Цифрами обозначены: 1 — резервуар с постоянным давлением H_r ; 2 — трубопровод; 3 — задвижка; 4 — воздушно-гидравлический колпак (ВГК — стабилизатор давления); 5 — узел соединения ВГК с трубопроводом.

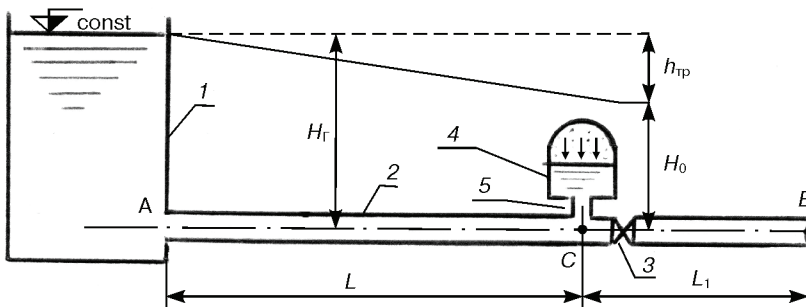


Рис. 4. Схема трубопровода

Пример. Исходные данные: $L = 3500$ м, $L_1 = 2670$ м, диаметр трубопровода $D = 200$ мм, $H_r = 2670$ м, $h_{\text{тр}} = 42$ м, скорость движения жидкости при установившемся движении $v_y = 1,4$ м/сек (расход $Q_y = 0,044$ м³/сек), коэффициент гидравличе-

ского трения $\lambda = 0,0239$, скорость распространения волны давления $c = 1000$ м/сек, коэффициент потерь напора на перфорированном участке $\xi_{\text{перф}} = 2,7$.

На рисунке 5 показаны графики изменения давления в точке С в зависимости от времени: кривая 1 — колебания давления с колпаком, имеющим объем воздуха $w_0 = 0,4$ м³ без перфорации; кривая 2 — колебания давления с колпаком, имеющим объем воздуха $w_0 = 0,4$ м³ и процентом перфорирования $\eta = 14\%$; кривая 3 — колебания давления с колпаком, имеющим объем воздуха $w_0 = 0,4$ м³ и процентом перфорирования $\eta = 9\%$. Задвижка закрывается в момент времени $t = 50$ сек. На рисунке 6 показан график зависимости максимального давления от процента перфорирования η для колпака, имеющего объем воздуха $w_0 = 0,4$ м³.

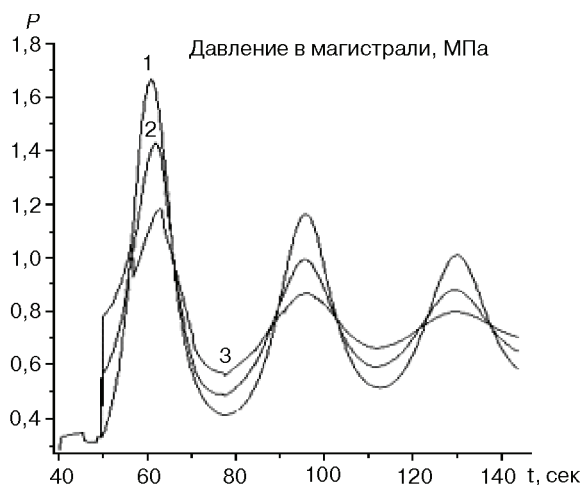


Рис. 5. Графики изменения давления

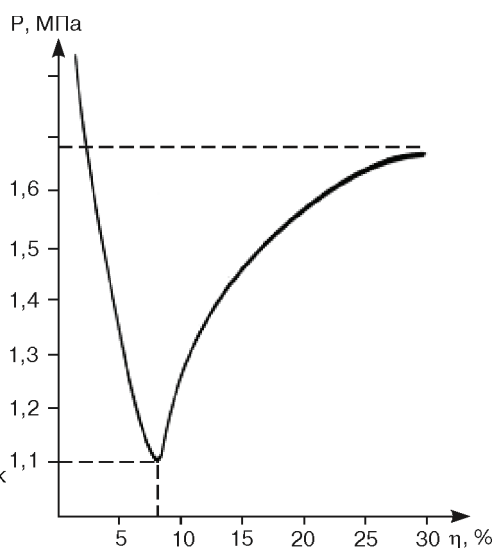


Рис. 6. График зависимости максимального давления от процента перфорирования

Вывод: Правильный подбор площади перфорированных отверстий может снизить гидроудар до 30% при колпаке заданного объема, что приводит к значительному экономическому эффекту.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лямаев Б.Ф., Небольсин Г.П., Нелюбов В.А. Стационарные и переходные процессы в сложных гидросистемах. — Ленинград: Машиностроение, 1978.
- [2] Фокс Д.А. Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах / Пер. с англ. — М.: Энергоиздат, 1981.
- [3] Рекач Ф.В. Расчет колебаний в круговых цилиндрических оболочках со стабилизатором давления методом характеристик // Строительная механика строительных конструкций и сооружений. — 2010. — № 1. — С. 60—65.
- [4] Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. — М.: Машиностроение, 1975.

DETERMINATION OF OPTIMAL PERFORATION SQUARE IN A CAP UNDER WATER HAMMER IN PRESSURE WATER LINES

F.V. Rekach, E.K. Sinichenko

Peoples' Friendship University of Russia
Mikluho-Maklaja str., 6, Moscow, Russia, 117198

Pressure oscillations in water lines with air cap (pressure stabilizer) under water hammer are considered. Method of characteristics is used. Problem of optimal perforation square in a cap is investigated. A problem of optimal perforation square in an air cap is considered.

Key words: air cap, perforation, water hammer.