

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Р. Ф. ГАНИЕВ, Г. Р. АВETИСЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА
 В ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ С НИЗКОЧАСТОТНЫМ
 СТАБИЛИЗАТОРОМ КОЛЕБАНИЙ ДАВЛЕНИЯ

Для уменьшения гидравлического удара в трубопроводных системах предлагается применять низкочастотный стабилизатор колебаний давления [1], конструктивная схема которого (без Г-образных пружин) приведена на рис. 1. В исходном положении жидкость заполняет корпус 1, центральный перфорированный трубопровод 2 и сильфоны 3. Вес груза уравнивается по номинальному давлению в трубопроводной системе так, чтобы сильфоны были в недеформируемом положении. Возникшее в гидравлической системе повышенное давление проходит через перфорацию трубопровода 2 в корпус 1 и сильфоны 3, вызывая растяжение сильфонов по осевому направлению и поднятие груза. Энергия ударного давления расходуется на трение в перфорациях центральной трубы и на потенциальную энергию поднятого груза. Потенциальная энергия упругости жидкости в стабилизаторе не учитывается.

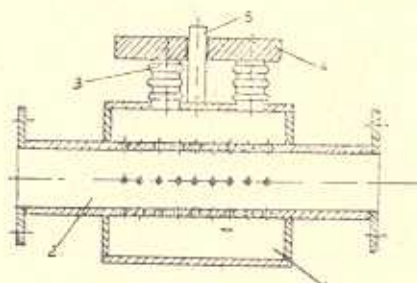


Рис. 1.

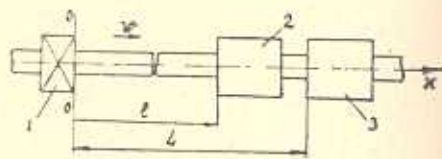


Рис. 2.

Расчетная схема представлена на рис. 2 в виде трубопровода, на одном конце которого подключен насос 1, после насоса установлен стабилизатор 2 и на конце трубопровода стоит клапан 3.

Для капельной жидкости волновые уравнения в отношении нашей системы имеют следующий вид [2]:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + 2a w \right); \quad -\frac{\partial p}{\partial t} = \rho c^2 \frac{\partial w}{\partial x}, \quad (1)$$

где p — давление; w , ρ — скорость течения и плотность жидкости; c — скорость звука в данной жидкости; $a = 16\nu/D^2$; ν — кинематическая вязкость жидкости; D — диаметр трубопровода. Определим граничные условия. При $x = 0$ должно быть $w = w_0 = \text{const}$ ($t \geq 0$), а второе граничное условие при $x = l$ получим из баланса расхода жидкости, протекающей через стабилизатор.

Прирост объема стабилизатора в единицу времени равен

$$\frac{\partial v}{\partial t} = f w - Q, \quad (2)$$

где $v = NFZ$, (3)

f — площадь поперечного сечения трубопровода; Q — расход жидкости, вытекшей из стабилизатора; N — количество сильфонов; F — эффективная площадь поперечного сечения сильфона; Z — деформация сильфонов по осевому направлению или смещение груза.

Кинетическая энергия жидкости до удара должна равняться диссипации энергии на перфорациях центральной трубы плюс потенциальная энергия груза, смещенного вертикально вверх на Z :

$$E_k = E_s + E_n, \quad (4)$$

где $E_k = 0,5 f L \rho w_0^2$; (5)

$$E_n = hp; \quad (6)$$

$$h = \frac{2\delta w_0 f^2 L}{dnS_{\Sigma} K} \sqrt{4\pi\mu \frac{c}{L}}; \quad (7)$$

d — диаметр перфорации; μ — динамическая вязкость жидкости; δ — толщина стенки центральной перфорированной трубы; n — количество отверстий перфораций; K — модуль упругости жидкости;

$$E_n = MgZ; \quad (8)$$

M — масса груза.

Совместно решая (4), (5), (7) и (8), получаем:

$$Z = \frac{1}{Mg} (0,5 f \rho w_0^2 - hp). \quad (9)$$

Из (9) и (3), имея ввиду (2) и второе уравнение (1), можно записать

$$w - \tau \frac{\partial w}{\partial x} = f(t), \quad (10)$$

где

$$\tau = 4NFhc^2/\pi MgD^2.$$

При гидравлическом ударе, когда клапан закрывается мгновенно ($f(t) = 0$), второе граничное условие будет

$$w - \tau \frac{\partial w}{\partial x} \Big|_{x=l} = 0. \quad (11)$$

Решая систему (1) при вышеуказанных граничных условиях по методу Фурье [3], для определения давления получаем следующее выражение:

$$p = 2\tau a \rho \omega_0 (e^{x/l} - 1) - 4a \rho l \omega_0 e^{-at} \sum_{k=1}^{\infty} \left(\operatorname{ch} n_k t + \frac{a}{n_k} \operatorname{sh} n_k t \right) \times \\ \times \frac{\tau^2 \cos \frac{k\pi x}{l}}{l^2 - \tau^2 k^2 \pi^2} - 2\rho \omega_0 c^2 \frac{1}{l} e^{-at} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\tau^2 \cos \frac{k\pi x}{l}}{l^2 - \tau^2 k^2 \pi^2} \left(\frac{a^2 - n_k^2}{n_k} \right) \operatorname{sh} n_k t, \quad (12)$$

где $k = 1, 2, 3 \dots$; $n_k = \frac{1}{l} \sqrt{l^2 a^2 - c^2 k^2 \pi^2}$.

Испытание опытной конструкции стабилизатора проводилось на стенде, работающем на воде. При помощи дроссельных шайб устанавливали необходимый расход воды, начальное давление $p = 0,15$ МПа и начальную скорость $\omega_0 = 1$ м/с. Ударная волна в трубопроводе после стабилизатора измерялась датчиком давления типа ЛХ-415. Число отверстий перфорации оставалось постоянным — $n = 20$.

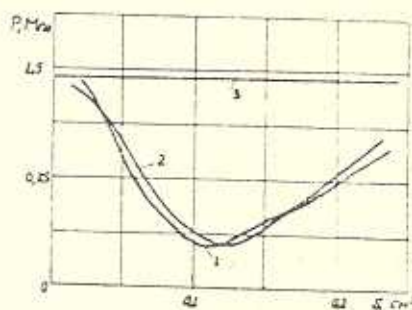


Рис. 3.

На рис. 3 приведены зависимости давления гидроудара от площади перфорации, измеряемое после стабилизатора (1 — экспериментальная; 2 — теоретическая, рассчитанная по формуле (12), 3 — уровень давления без стабилизатора). Из зависимостей видно, что расхождения между теоретической и экспериментальной кривыми меньше 10%. Максимальное гашение гидроудара для данного стабилизатора получается при перфорации площадью $S = 0,125 \cdot 10^{-4}$ м².

Предложенный стабилизатор можно применять в магистральных трубопроводах нефти и нефтепродуктов, установках слива-налива топ-

лива в танкерные емкости, мелиорации, трубопроводных системах энергетики и машиностроении.

ИМАШ АН СССР

28. VII, 1984

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А. с. 1087738 (СССР). Стабилизатор низкочастотных колебаний давления/*Р. Ф. Таниев, Г. Р. Аветисян, Х. Н. Назамов.*—Опубл. в Б.И., 1984, № 15.
2. *Чарный И. А.* Неустойчивое движение реальной жидкости в трубах.—М.: Недра, 1975.—296 с.
3. *Крылов А. Н.* О некоторых дифференциальных уравнениях математической физики.—М.: Изд-во АН СССР, 1933.—472 с.