

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аветисян В.Г., Симонян Р.Н. и др. Амплифазометр 3-см диапазона длин волн для антенных измерений // Метрологическое обеспечение антенных измерений. ВКАИ-3: Тез. докл. Всесоюз. конф. / ВНИИРИ. - Ереван, 1984. - С. 363-364.
2. А.с. 1493959 СССР, МКИ GO1R 29/10. Устройство для измерения распределения поля в раскрыте антенны / В.Г. Аветисян (СССР). № 4308517/24-09; Заявл. 06.07.87; Оpubл. 05.07.89. Бюл. № 26. - 5 с.
3. Пат. 2017164 РФ, МКИ GO1R 29/08. Устройство для измерения распределения поля в раскрыте антенны. / В.Г. Аветисян (РА). - № 4952810/09; Заявл. 30.04.91; Оpubл. 30.07.94. Бюл. №14. Приоритет 30.04.91. - 8 с.
4. Bled Y., Bresson A., Papoulet R., Wegrove Y.G. Nouvelles techniques d'utilisation des ondes millimetriques et submillimetriques // L'Onde Electrique. - janvier, 1964 - T. 44, N 442. - p. 26-35.
5. Федосев Л.И., Куликов Ю.Ю. Супергетеродинные радиометры миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн // Радиотехника и электроника. - 1971. - Т. 16, № 4. - С. 554-560.
6. Дрягин Ю.А., Кукин Л.М., Лубяко Л.В. К вопросу о подавлении шумов гетеродина в супергетеродинных приемниках с высокой промежуточной частотой // Там же. - 1974. - Т. 19, № 8. - С. 1779-1780.

Ереванский НИИ "Комета"

10.IV. 1994

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. XLIX, №2, 1995, с. 116-120.

УДК 532.542

ГИДРАВЛИКА

Э.П. АЦИЯНЦ

### АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ВОЗДУШНЫХ КОЛПАКОВ-ГАСИТЕЛЕЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА

Առաջարկվում են օգտին խցան-մարիչների ուղղաթիվի վերլուծական բախաներ, որոնց օգնությամբ գնահատվում է արագակախաններում օդային խոց օգտագործելու արդյունավետությունը:

Рекомендуются аналитические зависимости для расчета воздушных колпаков-гасителей гидравлического удара. С помощью полученных зависимостей оценивается эффективность использования воздушных колпаков на насосных станциях.

Ил.2. Библиогр.: 6 назв.

Analytical dependencies for designing air cap-quenchers of hydraulic shock are recommended. By means of these dependencies obtained the effectiveness of using air caps at pump stations is evaluated.

Ил. 2. Ref. 6.

Одним из способов гашения гидравлического удара в напорных трубопроводах насосных станций является установка воздушного колпака в начале трубопровода. Задачей расчета является определение объема воздуха в колпаке, который обеспечивает требуемое гашение

гидравлического удара. Для определения параметров гидравлического удара при установке воздушного колпака рекомендуются различные диаграммы и формулы, имеющие определенные недостатки [1-3]. При аналитическом решении задачи, как правило, рассматривается гидравлический удар, начинающийся с повышения давления, а между тем, в нагнетательных трубопроводах насосных станций он начинается с понижения давления.

Целью настоящей работы является уточнение и упрощение аналитических методов расчета гидравлического удара в трубопроводах насосных станций при установке воздушного колпака. Для практических расчетов рекомендуются зависимости, получаемые из допущения изотермического процесса сжатия воздуха в колпаке; что характерно для длинных напорных трубопроводов, где гашение гидравлического удара наиболее актуально.

Расчетная схема насосной установки (рис. 1) включает насосный агрегат 1, напорный трубопровод 2, воздушно-гидравлический колпак 3, обратный клапан 4 и резервуар 5. Вода с помощью насоса по трубопроводу 2 подается в резервуар 5, расположенный на высоте  $H_c$  от оси насоса.

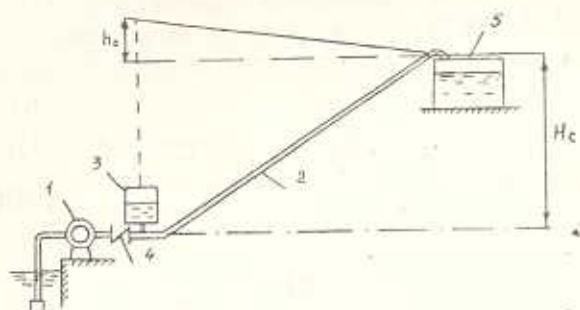


Рис 1. Схема насосной установки

При остановке насоса давление в трубопроводе вначале уменьшается, обратный клапан закрывается, из воздушного колпака вытекает некоторый объем воды. Через некоторый промежуток времени возникает обратное течение жидкости в трубопроводе, и колпак начинает заполняться водой. При этом давление в трубопроводе увеличивается до определенного максимального значения. Используя методику, рекомендуемую в [4], предлагается формула, определяющая величину объема воздуха в колпаке, обеспечивающую заданное понижение напора относительно абсолютного статического уровня:

$$W_{\text{в}} = \frac{f l (V_0^2 + g^2 \Delta H_{\text{н}}^2 / c^2)}{2g(H_c + H_{\text{н}} + h_{\text{н}}) \left[ \frac{\Delta H_{\text{н}}}{H_{\text{мин}}} - \ln \frac{(H_c + H_{\text{н}})}{H_{\text{мин}}} \right]} \quad (1)$$

где  $f$  - площадь сечения трубопровода;  $l$  - длина напорного трубопровода;  $V_0$  - скорость при установившемся движении воды в трубопроводе;  $\Delta H_{\text{н}}$  - максимальное понижение напора относительно абсолютного гидростатического уровня;  $g$  - ускорение силы тяжести;  $c$  - скорость распространения волны гидравлического удара;  $H_c$  - статический

напор установки:  $H_0$  - напор воды, соответствующий атмосферному давлению;  $h_n$  - потери напора на преодоление гидравлических сопротивлений при установившемся движении;  $H_{\min}$  - минимальное значение напора в начале трубопровода.

Объем жидкости, вытекшей из колпака при понижении давления, определяется по формуле

$$\Delta W = f S_1 \quad (2)$$

где  $S_1$  - путь, пройденный колонной жидкости при уменьшении скорости от начального значения  $V_0$  до нуля. В первом приближении  $S_1$  определяется из зависимости для изотермического расширения воздуха в колпаке при заданном значении минимального напора:

$$S_1 = \frac{W_0}{f} \left[ \frac{(H_c + H_n)}{H_{\min}} - 1 \right] \quad (3)$$

При учете влияния гидравлических сопротивлений величина  $S_1$  определяется из уравнения вида

$$V_0^2 e^{-pS} + \frac{2gh_T}{pl} (1 - e^{-pS}) - \frac{2g(H_c + H_n + h_n)f}{lp^2 W_0} (e^{-pS} + pS - 1) = 0 \quad (4)$$

которое получено в результате интегрирования уравнения Бернулли для неустановившегося движения, где в качестве независимой переменной принята величина  $S$ .

В уравнении (4):

$$h_T = (\xi_{\max} + \xi_{\min} + \lambda l / d) \cdot V_0^2 / 2g; \quad p = (\xi_{\max} + \xi_{\min} + \lambda l / d) / l.$$

где  $\lambda$  - коэффициент гидравлических сопротивлений по длине трубопровода;  $d$  - диаметр трубопровода, а  $\xi_{\max}$  и  $\xi_{\min}$  - коэффициенты местных гидравлических сопротивлений при выходе воды из колпака и ее входе в напорный трубопровод.

После остановки колонны жидкости вода начинает с возрастающей скоростью двигаться в обратном направлении. Как и ранее, параметры обратного течения колонны жидкости определяются путем интегрирования уравнения Бернулли вида

$$-\frac{1}{2g} \cdot \frac{d(v^2)}{dS} + \sum \xi \frac{v^2}{2g} = (H_c + H_n) - \frac{H_{\min}}{(1 - aS)} \quad (5)$$

где  $a = f / (W_0 + \Delta W)$ ;  $S$  - путь, пройденный колонной жидкости в обратном направлении.

Для упрощения расчетов при интегрировании выражение  $H_{\min} / (1 - aS)$  заменяем его приближенным значением  $H_{\min} (1 + \beta S^2)$ , где  $\beta = f^2 / W \cdot \Delta W$ .

Зависимость для определения обратной скорости движения воды имеет вид

$$v = \sqrt{[Ap^2 - B(p^2 S^2 - 2Sp + 2) + (2B - Ap^2)e^{-pS}] / p^3} \quad (6)$$

где  $A = \frac{2g}{f} (H_c + H_n - H_{\min})$ ;  $p = \sum \xi / l$ ;  $B = \frac{2g\beta H_{\min}}{1} \sum \xi$  - сумма коэффициентов гидравлических сопротивлений. Анализ формулы (6)

показывает, что при отсутствии гидравлических сопротивлений максимальное значение скорости обратного течения равно  $V_0$ .

Расчет величины максимального повышения давления в трубопроводе целесообразно проводить, используя систему дифференциальных уравнений упругого гидравлического удара, рекомендуемую в [5]. В [6] приводится зависимость, определяющая изменение скорости течения жидкости в трубопроводе при сжатии воздуха в колпаке.

Используя эту зависимость и систему дифференциальных уравнений (5), с некоторым упрощением получена зависимость для определения изменения напора в трубопроводе, которая имеет вид

$$H(x, t) = \frac{c e^{-m t}}{g} \sum_{n=1}^{\infty} (-C_1 \sin \mu c t + C_2 \cos \mu c t) \sin \mu x + \frac{H_c x}{l} \quad (7)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  - коэффициенты, рассчитанные из начальных условий;  $\mu$  - значение собственной функции, определяемое путем решения трансцендентного уравнения вида

$$\operatorname{ctg} \mu l = \mu h \quad (8)$$

$m = \lambda V_m / 4d$ , где  $V_m$  определяется из (6);  $h = c^2 W_0 / g f (H_c + H_a)$ .

Для рассматриваемого случая коэффициент  $C_2 = 0$ , а коэффициент  $C_1$  равен:

$$C_1 = 2V_m (1 + h_2 \mu^2) \sin \mu l / [h + l(1 + \mu^2 h^2)] \mu.$$

В начале трубопровода ( $x = l$ ) изменение напора определяется формулой

$$H(t) = \frac{c V_m}{g} e^{-m t} \sum_{n=1}^{\infty} 2 \sin \mu c t / [h + l(1 + \mu^2 h^2)] \mu + H_c \quad (9)$$

Гашение гидравлического удара с помощью воздушного колпака достигается за счет того, что продолжительность гашения скорости в трубопроводе до нуля, как правило, превышает фазу удара, т.е. имеет место явление непрямого гидравлического удара. Если исходить из дифференциальных уравнений "жесткого" гидравлического удара, то продолжительность повышения напора в колпаке от значения  $(H_c + H_a)$  до максимального значения определяется по формуле [2]:

$$T = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{l W_0}{g f (H_c + H_a)}} \quad (10)$$

При учете упругих свойств трубопровода это время определяется из (9):

$$T = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{l}{\mu c} \quad (11)$$

Разница между значениями  $T$ , вычисленными по (10) и (11), незначительная.

В формуле (9) множитель  $k = \sum_{n=1}^{\infty} 2 \sin \mu c t / [h + l(1 + \mu^2 h^2)] \mu$  определяет степень гашения гидравлического удара при наличии воздушного колпака.

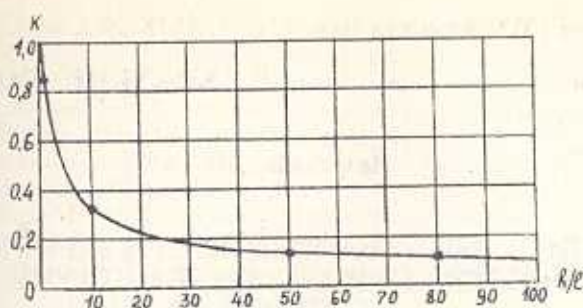


Рис. 2. Расчетная кривая зависимости степени гашения гидравлического удара  $k$  от отношения  $h/l$ .

Приняв значение  $\sin \alpha_{ct} = 1$  и задаваясь различными значениями отношения  $h/l$ , получена зависимость  $k = F(h/l)$ , которая представлена на рис. 2. Из графика видно, что эффективное гашение гидравлического удара достигается при значениях  $h/l > 20$ . Таким образом, если параметры трубопровода  $H$ ,  $l$ ,  $f$ ,  $c$  таковы, что при значении отношения  $h/l > 20$  обеспечивается рациональный объем воздушного колпака, то его использование в качестве гасителя будет эффективным.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дикаревский В.С., Татура А.Е., Злеуалин В.А. Расчет емкости воздушно-гидравлических колпаков // Гидравлика сооружений оросительных систем: Сб. НИМИ. Новочеркасск, 1975. - Т. 17, Вып. 5. - С. 188-190.
2. Алышев В.М., Живоронков Е.Г., Савостьянов А.Ф. Диаграммы для расчета воздушно-гидравлических колпаков - гасителей гидравлического удара // Вопросы проектирования оросительных систем: Сб. науч. тр. "Союзводпроект". - М., 1983. - С. 202-209.
3. Махарадзе Л.И., Кирмелашвили Г.И. Нестационарные процессы в напорных гидротранспортных системах и защита от гидравлических ударов. - Тбилиси, 1986. - 152 с.
4. Мостовский А.Ф. Исследование гидравлического удара в трубах при малых напорах // Тр. Моск. и-та инж. трансп. - М.: - Л., 1929. - Вып. II. - С. 263-304.
5. Чарный И.А. Неустойчивое движение реальной жидкости в трубах. - М.: - Л., 1951. - 223 с.
6. Бергерон Л. От гидравлического удара в трубах до разряда в электрической сети. - М., 1962. - 348 с.