

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Р. М. РАФАЭЛЯН, Э. П. АЦИЯНЦ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОГО НАПОРА
 В НАГНЕТАТЕЛЬНОМ ТРУБОПРОВОДЕ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ
 ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НАСОСНОГО АГРЕГАТА

При проектировании нагнетательных трубопроводов насосных станций необходимо располагать сведениями о величинах давлений, возникающих в трубопроводах при гидравлических ударах. Характерной особенностью переходного процесса в насосной установке является то, что при отключении электропитания двигателя изменение давления в начале трубопровода начинается с понижения, величина которого существенным образом определяет последующее его повышение в трубопроводе.

Исследования показывают, что в зависимости от инерции вращающихся масс насосного агрегата, напора, скорости движения воды и других параметров, минимальное давление в трубопроводе может быть как выше, так и ниже атмосферного. В случае, когда давление опускается ниже атмосферного, возможно образование разрыва сплошности потока и последующее возникновение в трубопроводе значительного повышения давления. В связи с этим, вопрос оценки величины минимального давления имеет важное значение.

В настоящее время аналитический метод определения величины минимального напора с учетом характеристики насоса и трубопровода разработан недостаточно. Целью работы является экспериментальное и аналитическое исследование величины минимального напора и зависимости от гидромеханических параметров системы «насос—трубопровод» и получение простой расчетной формулы.

При решении задачи, в частности, используются расчетные кривые, приведенные в [1], определяющие величину понижения напора в случае потери привода насоса. Кривые откорректированы в области $\frac{\alpha v_0}{gH_0} < 1$ и представлены в координатах $\frac{H}{H_0} - \frac{\alpha v_0}{gH_0}$, где параметром является величина $\tau = \frac{t_0}{t_2}$ (рис. 1).

На графике также проведена прямая

$$\frac{H}{H_0} = 1 - \frac{\alpha v_0}{gH_0}, \quad (1)$$

выражающая теоретическое значение минимального напора при прямом гидравлическом ударе без учета инерции агрегата ($\frac{T_a}{t_\phi} = 0$) [2].

Здесь приняты следующие обозначения: H, H_0 — минимальный и статический напор в начале трубопровода; a, t_ϕ — скорость распространения волны и фаза гидравлического удара; v_0 — начальная скорость движения воды в трубопроводе; g — ускорение силы тяжести; T_a — постоянная агрегата.

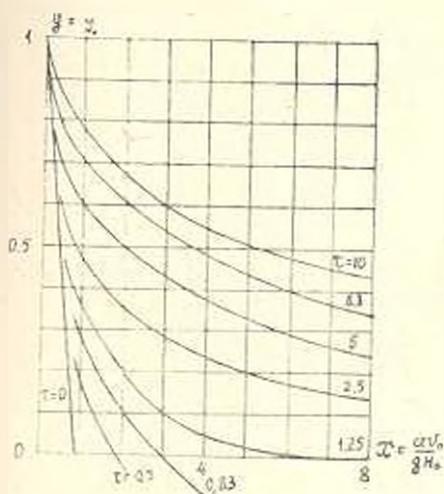


Рис. 1. Зависимость минимального напора от параметров системы насос—трубопровод.

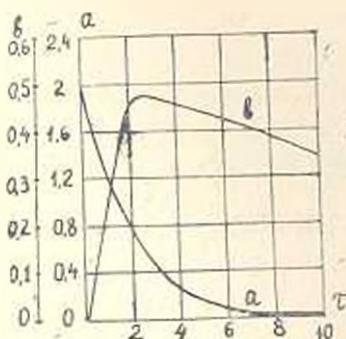


Рис. 2. Значения коэффициентов $a(\tau)$ и $b(\tau)$ в зависимости от величины $\tau = \frac{T_a}{t_\phi}$.

$$\tau = \frac{T_a}{t_\phi}$$

Как видно из графика, при всех значениях параметра $\frac{T_a}{t_\phi} > 0$ величина минимального напора, определяемая кривыми, больше соответствующих значений, вычисленных по формуле (1). Это обуславливается подачей воды в трубопровод рабочим колесом насоса, вращающимся по инерции и влиянием отраженных волн давления при непрямом гидравлическом ударе. Из графика также следует, что в зависимости от параметров $\frac{T_a}{t_\phi}$ и $\frac{av_0}{gH_0}$ при потере привода насоса минимальное давление может опускаться ниже атмосферного.

Приведенное на рис. 1 семейство кривых представлено в виде функции

$$y = 1 - \frac{x(1 + \tau)e^{-b(\tau)x}}{1 + a(\tau)x} \quad (2)$$

где $y = \frac{H}{H_0}$, $x = \frac{av_0}{gH_0}$, $\tau = \frac{T_a}{t_\phi}$, а коэффициенты $a(\tau)$ и $b(\tau)$ определяются из графика (рис. 2).

Подставляя значения x и y в выражение (2), получим:

$$H = H_0 - \frac{av_0}{g} \Phi(\tau), \quad (3)$$

которая определяет величину минимального напора в зависимости от инерции агрегата, длины трубопровода и других гидромеханических параметров.

В формуле (3) принято

$$\Phi(\tau) = \frac{(1 + \tau) e^{-k\tau}}{1 + a(\tau) \frac{av_0}{gH_0} \tau}, \quad (4)$$

где

$$0 \leq \Phi(\tau) \leq 1.$$

Из соотношений (3) и (4) следует:

а) при $\tau = 0$, что соответствует случаю прямого гидравлического удара без учета инерции агрегата, $\Phi(0) = 1$ и минимальный напор, определяемый формулой (3), равен $H = H_0 - \frac{av_0}{g}$;

б) при $\tau = \infty$ (случай агрегата большой маховой массы или короткого трубопровода), $\Phi(\infty) = 0$ и при переходном процессе в начале трубопровода поддерживается статический напор, т. е. $H = H_0$.

С целью использования формулы (3) проведены численные и экспериментальные исследования, их анализ и сопоставление результатов. Расчеты гидравлического удара выполнены методом характеристик на ЭВМ ЕС 1020 по параметрам действующих и проектируемых насосных станций (Хачикская, Гехадирская и Ахумская в Армянской ССР).

Экспериментальные исследования выполнены в лабораторных условиях и на действующих насосных станциях. В процессе экспериментов производилось отключение от сети электропитания двигателя насоса и регистрировалось изменение напора в начале трубопровода при гидравлическом ударе.

Сопоставление показало, что результаты экспериментов и расчетов на ЭВМ хорошо согласуются с расчетом по предлагаемой формуле (3). Это дает основание рекомендовать формулу (3) для определения минимального напора при отключении привода насоса.

Арм(ШИВПн)

Поступило 6. X 1981

ЛИТЕРАТУРА

1. Под ред. Г. Н. Криченко. Гидромеханические переходные процессы в гидроэнергетических установках. М., «Энергия», 1975. 366 с.
2. Указания по защите водоводов от гидравлического удара. М., Госстройиздат, 1961. 227 с.