

Э.П. АЦИЯНЦ

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА В ТРУБОПРОВОДЕ МХЧЯНСКОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Ключевые слова: гидравлический удар, методика, анализ, гидравлический удар, методика, анализ, гидравлический удар, методика, анализ.

Приводится методика аналитического расчета величины максимального давления, возникающего в трубопроводе Мхчянской насосной станции при внезапном отключении электропитания двигателей насосов.

Ил. 1. Табл. 1 Библиогр. 6 назв.

Analytical design methods of maximum pressure quantity arising in Mkrtchyan pumping station pipeline in case of sudden pump engine power supply switching-off are considered.

Ил. 1. Табл. 1. Ref. 6.

Как известно, Мхчянская насосная станция эксплуатируется с 1969 г. За годы эксплуатации напорный трубопровод этой станции в результате коррозии металла подвергся существенному износу, что уменьшило степень надежности его эксплуатации. В последние годы насосная станция эксплуатируется без гасителей гидравлического удара. В связи с этим актуальным является расчет величин давления, возникающих в трубопроводе при внезапном отключении электропитания двигателей насосов.

Трубопровод Мхчянской насосной станции (рис.) имеет два арочных перехода (через железную и автомобильную дороги), что несколько усложняет расчет переходных процессов.

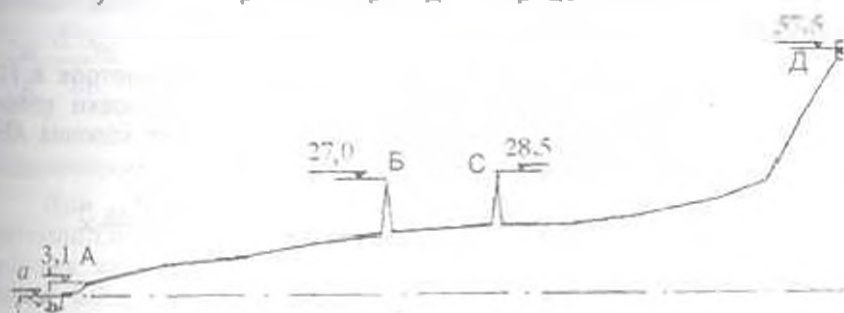


Рис.

В настоящее время разработаны различные аналитические и численные методы расчета гидравлического удара в трубопроводах насосных станций [1-3]. Численные методы позволяют решать задачи в тех случаях, когда их нельзя решить аналитически. Если же

имеется возможность аналитического решения, то отказываться от него не следует.

В настоящей статье приводится методика аналитического определения изменения давлений в трубопроводе Мхчанской насосной станции при потере привода насосов.

Общая длина магистрального трубопровода составляет 5450 м, высота подъема воды - 57,5 м. При подаче воды в трубопровод тремя насосами марки 24НДс рабочий напор насоса составляет $H_0 = 76$ м, расход воды, подаваемой насосом, - $Q_0 = 1.9$ м³/с. Вода к насосам подается самозаливом с отрицательной высотой всаса, равной 3 м. При потере привода насосами переходной процесс в трубопроводе начинается с понижения давления, которое может опуститься ниже атмосферного, что создает условия для образования разрывов сплошности течения на участках А, Б и С (рис.). При образовании разрывов колонна жидкости расчленяется на отдельные участки, движение которых можно описать с помощью зависимостей, приведенных в [4, 5]. Например, при образовании разрыва сплошности течения на участках А и Б движение колонны АВ описывается зависимостью

$$V(x,t) = \left[V_0 - \frac{(H_A^0 + h_B)g}{a} \right] e^{-\frac{g(H_A - h_B)t}{a}} - \frac{g(H_A - h_B)(1 - e^{-2mt})}{\ell_{AB} 2m} - \frac{2g(H_A^0 - h_B)}{a\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos n\pi}{n} \sin \frac{n\pi a t}{\ell_{AB}} \cos \frac{n\pi x}{\ell_{AB}}, \quad (1)$$

где x - продольная координата оси трубопровода; t - текущее время; V_0 - скорость установившегося движения жидкости в трубопроводе, $V_0 = 2.24$ м/с; h_B - статический напор в точке Б; a - скорость распространения волны гидравлического удара, $a = 850$ м/с; g - ускорение силы тяжести, $g = 9.81$ м/с²; $2m = \lambda V_0 / 2d$, где λ - коэффициент сопротивления по длине трубопровода, $\lambda = 0.014$; d - диаметр трубопровода, $d = 1.8$ м, $\pi = 3.14$, ℓ_{AB} - длина участка АВ, $\ell_{AB} = 2170$ м.

Подставляя численные значения расчетных параметров в (1) и приравняв его нулю, можно определить время остановки колонны АВ, которое равно 9 с. Расстояние, которое проходит колонна АВ за этот промежуток времени, определяется в виде

$$S = \left(V_1 e^{-\frac{g(H_A - h_B)t}{a}} + k_1 \right) \frac{(1 - e^{-2mt})}{2m} - k_1 t - \frac{2g(H_A^0 - h_B)\ell_{AB}}{\pi^2 a^2} \times \times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos n\pi}{n^2} \left(\cos \frac{n\pi a t}{\ell_{AB}} - 1 \right), \quad (2)$$

где $V_1 = V_0 - \frac{(H_A^0 + h_B)g}{a}$, $k_1 = \frac{g(H_A - h_B)}{\ell_{AB}}$.

При $t = 9$ с имеем $S = 7.5$ м.

Используя совместно зависимости между понижением напора в трубопроводе и изменением расхода при прямом гидравлическом

ударе [1] и учитывая напорную характеристику насоса в насосном режиме, можно определить расход воды, подаваемой насосом в трубопровод, в зависимости от относительного числа оборотов $\beta = n/n_0$, где n_0 - номинальное число оборотов двигателя насоса, $n_0 = 750$ об/мин.

Подставляя полученную зависимость $Q = f(\beta)$ в уравнение движения агрегата [5], определяется $\beta = f(t)$ (табл.)

Таблица

β	1,0	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05
Q м ³ /с	1,9	1,57	1,4	1,3	1,02	0,77	0,55	0,44
Н, м	76	32,5	11,7	4,52	-1,0	-4,5	-4,5	-4,5
t , с	0	1,0	2,04	3,16	3,9	5,18	8,04	12,1

Полученные данные (табл.) позволяют определить объем жидкости, подаваемой в трубопровод одним насосом, после понижения в нем давления ниже атмосферного в течение 9 с, равный 7,06 м³. Соответственно три насоса подают объем воды, равный 21,18 м³. Так как площадь сечения магистрального трубопровода равна $A = 2,54$ м², то указанный объем заполнит трубопровод на длине 8,35 м. Следовательно, на участке А возможные разрывы сплошности течения заполняются водой, подаваемой насосами.

После остановки колонны АБ обратные клапаны закрываются, не допуская опорожнения воды из трубопровода. При этом внутри колонны АБ возникают колебания напора, не превышающие 30 м, которые создают перемещения частиц жидкости в трубопроводе со скоростью $V' = 0,35$ м/с.

При понижении давления на участках Б и С (рис.) до предельного значения вакуума, принимаемого 7 м, и образовании на этих участках разрывов сплошности течения расстояние, пройденное колонной ВС при замедленном движении, определяется из уравнения

$$\frac{l_{BC}}{g} \frac{d^2 S_{BC}}{dt^2} = -(Z_B - Z_C) - R(1 - \cos \frac{S_{BC} - [V_0 t - g(H_A - h_C)t^2/2]_{1/2}}{R}) \quad (3)$$

где l_{BC} - длина колонны ВС, $l_{BC} = 650$ м; $Z_B - Z_C$ - разности геодезических точек Б и С, $Z_B - Z_C = 1,5$ м; R - радиус арки, $R = 13$ м.

При составлении дифференциального уравнения (3) учитывается влияние поступления расхода воды на участок ВС со стороны колонны АБ. Анализ уравнений движения расчлененных колонн ВС и СД показывает, что их последующее соединение при замедленном движении происходит примерно через 7 с после образования разрыва сплошности течения на участке С. В результате колонны ВС и СД соединяются. Замедленное движение колонны БД описывается уравнением

$$\frac{r_{\text{БД}} \cdot t^2 \cdot S_{\text{БД}}}{g \cdot dt^2} =$$

$$= -(Z_{\text{Б}} + h_{\text{в}} - Z_{\text{БД}}) - R \left(1 - \cos \frac{S_0 + S_{\text{БД}} - (0.66 \cdot t - 0.065 t^2)}{R} \right) \quad (4)$$

где $r_{\text{БД}} = 3260$ м, $S_{\text{БД}}$ - длина разрыва на участке Б, $S_0 = 5.5$ м при $t = 7$ с, $Z_{\text{Б}} - Z_{\text{БД}} = 29$ м, $R = 13$ м.

Интегрирование уравнения (4) при соответствующих начальных условиях показывает, что через 5 с колонна БД останавливается и максимальная длина разрыва на участке Б равна 5,7 м.

После остановки колонны БД начинается ее обратное ускоренное движение по направлению к точке Б. Скорость, развиваемая колонной при обратном движении, определяется по формуле [4]

$$V_{\text{БД}} = \frac{g(H_{\text{Б}} + h_{\text{в}})(1 - e^{-2nt})}{r_{\text{БД}} \cdot 2m} + \frac{2g(H_{\text{Б}} + h_{\text{в}})e^{-nt}}{\pi a} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin \frac{n\pi a t}{r_{\text{БД}}} \quad (5)$$

а путь, проходимый этой колонной, равен

$$S(t) = \frac{g(H_{\text{Б}} + h_{\text{в}})}{2m r_{\text{БД}}} \left[t - \frac{(1 - e^{-2nt})}{2n} \right] + \frac{2g(H_{\text{Б}} + h_{\text{в}})e^{-nt}}{\pi^2 a^2} \times$$

$$\times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} (1 - \cos \frac{n\pi a t}{r_{\text{БД}}}) \quad (6)$$

и $r_{\text{БД}} = 3260$ м.

Известно, что $S = 5.7$ м, из (6) определяется время ускоренного движения колонны БД до столкновения с колонной АБ $t = 2$ с. Подставляя это значение времени в (5), определяется скорость колонны БД при столкновении с колонной АБ $V_{\text{БД}} = 1.26$ м/с. После столкновения колонны максимальная скорость течения, развиваемая к началу водовода, равна [1] $V = 0.8$ м/с.

На основании указанных скорости u обратных клапанов максимальное повышение напора составил

$$H_{\text{макс}} = 187.6 \text{ м}$$

в настоящее время средняя толщина стенок трубопровода в магистральном отводе составляет 11 мм. При такой толщине стенок трубопровод способен выдержать давление, равное

$$P = 2\delta[\sigma]/d, \quad (7)$$

где $[\sigma]$ - допускаемое напряжение на растяжение, принятое равным 200 МПа , δ - толщина стенок трубопровода.

Подставляя известные значения указанных величин в (7) получим $P = 2.44 \text{ МПа}$.

Таким образом, трубопровод магистрального отвода способен выдержать давление, развиваемое в течение времени после начала разрыва трубопровода. Однако следует иметь в виду, что при возникновении аварии перед установкой самозакрывающегося предохранительного клапана

рекомендована также установка по длине трубопровода клапана для выпуска и заземления воздуха. Проведенные расчеты показывают, что при переходных процессах разрыва сплошности потока образуются только у вершины первой арки. В остальных частях трубопровода кратковременные разрывы устраняются в процессе замедленного движения колонны жидкости. Поэтому клапан для выпуска и заземления воздуха целесообразно установить только в вершине первой арки. Следует также отметить, что в трубопроводах с большими диаметрами со статическими напорами, большими 30 м, такой способ гашения гидравлического удара малоэффективен. Наиболее эффективным является установка гасителей в начале водовода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Указания по защите водоводов от гидравлического удара. - М.: Гостройиздат, 1961. - 227 с.
2. Руководство по применению гидротехнической трубопроводной арматуры на внутрихозяйственной оросительной сети / В/О "Союзводпроект". - М.: 1983. - 171 с.
3. Махарадзе Л.И., Кирмелашвили Г.И. Нестационарные процессы в явпорных гидротранспортных системах и защита от гидравлических ударов. - Тбилиси: Мецниереба, 1986. - 152 с.
4. Ащиянц Э.П. К вопросу об отрицательном гидравлическом ударе в магнетательном трубопроводе насосной станции // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. - 1974. - Т. 27, № 1. - С. 48-54.
5. Ащиянц Э.П. Гидравлический удар в простом магнетательном трубопроводе при понижении давления // Мат. науч.-техн. конф. молодых науч. работников и специалистов Минводхоза АрмССР. - Ереван: Айастан, 1977. - С. 138-141.
6. Ащиянц Э.П. Аналитический метод определения понижения давления в трубопроводе насосной установки при потере привода насосом // Изв. РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1999. - Т. 52, № 1. - С. 119-123.

НПО водных проблем
и гидротехники РА

02.03.1998

Изв. НАН и ГИУА Армении (сер. ТН), т. 51, № 2, 1998, с. 239-240.

УДК 669.33

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Г.Б. ГРИГОРЯН, Г.Г. ТРИГОРЯН

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРЯМОГО ПОЛУЧЕНИЯ МЕДИ ИЗ СУЛЬФИДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Известно, что медь является одним из самых распространенных металлов в природе. Она входит в состав многих минеральных соединений, которые используются в промышленности и сельском хозяйстве. Медь имеет ряд ценных свойств, которые делают ее незаменимым материалом в различных областях техники и науки.