

УДК 621.646.9

## ВПУСК ВОДЫ – КАК СРЕДСТВО ЗАЩИТЫ ВОДООТЛИВНЫХ УСТАНОВОК ОТ ГИДРОУДАРОВ

Оверко В.М., Овсянников В.П., к-ты техн. наук, доценты,  
Ивануна С.В., студент,  
Донецкий национальный технический университет

*Исследована возможность впуска воды для защиты шахтных водоотливных установок от гидравлического удара.*

*Possibility of water-in for protection of mine drainage plants from eater hammer was studied.*

Исследования гидравлических ударов на шахтных водоотливных установках проводятся около пятидесяти лет, но окончательной, однозначной концепции защиты этих трубопроводов от повышенных давления при этом нет.

В настоящее время на Украине, в связи с закрытием многих нерентабельных шахт, увеличивается нагрузка на водоотливы действующих шахт, например, главная водоотливная установка шахты "Шахтерская – Глубокая" будет откачивать приток примерно в два раза больший из-за закрытия соседней шахты "Фоминская". Это приводит к увеличению мощности и длин действующих водоотливных установок, что обуславливает увеличение опасности гидравлических ударов, величина которых, в связи с возрастанием скоростей потоков в трубах, имеет тенденцию к росту. При этом гидравлические удары и сопровождающие их волновые процессы часто становятся причиной разрушения трубопроводов или других нарушений нормальной эксплуатации установок. В то же время проблема защиты от гидравлического удара во многих случаях решается нерационально, путем повышения запаса прочности труб. Сказанное в значительной мере объясняется несовершенной конструкцией устройств, предложенных для защиты трубопроводов от периодических повышений давления и объективными трудностями по их надежной герметизации [1].

Вместе с тем, шахтный водоотлив является звеном многогранного технологического комплекса горного производства, от эффективности работы которого прямо или косвенно зависят результаты работы предприятия в целом.

Защиту гидравлических систем от гидравлических ударов в общем случае можно осуществить двумя путями: непосредственным воздействием на устройство, вызывающее изменение скорости потока в переходном процессе, и применением специальных устройств, которые включаются в работу после начала переходного процесса и, воздействуя на его параметры, не допускают возникновения опасного колебательного процесса в трубопроводах.

Первый путь, как профилактический, следует считать предпочтительным при разработке защитных мероприятий, однако он применим только при плановых переходных режимах.

Защита от гидравлического удара трубопроводов путем сброса части транспортируемой жидкости является самым распространенным и универсальным приемом, однако, трудности по созданию герметичной и надежной клапанной пары для агрессивной шахтной воды к настоящему времени не преодолены.

Воздушно-гидравлические колпаки в качестве средства борьбы с гидравлическими ударами получили широкое распространение в инженерной гидравлике, особенно, в системах гидротранспорта, где клапанные устройства надежно работать не могут в связи с наличием в потоке твердой фракции. Колпаки отличаются простотой конструкции и надежной (при соответствии объема сжатого воздуха параметрам гидросистем) защитой от колебаний давления, в том числе и высокочастотных.

Расчеты показывают, что для условий шахтного водоотлива емкость колпака может составлять до  $10 \text{ м}^3$  и более воздуха, сжатого до статического давления в месте установки. В стесненных условиях горных выработок, а так же созданных ранее насосных камер, такой колпак применять нерационально или просто невозможно.

Анализ недостатков существующих противоударных средств позволяет сформулировать задачу создания системы защиты от гидроударов, совмещающей в себе достоинство клапанных устройств – компактность и воздушных колпаков – высокую надежность.

В теории гидравлического удара известен способ защиты от гидроударов, заключающийся во впуске воды в водовод. Такой метод используется в случае начала гидроудара с волны понижения давления. В шахтных водоотливных установках именно такой удар, вызванный внезапным отключением привода насоса, представляет опасность.



Предложение состоит в том, что бы осуществлять впуск воды в трубопровод для снижения пиковых давлений при переходных режимах работы. Для достижения этого у места возникновения изменения скорости потока устанавливается устройство впуска воды, емкость которого достаточна для эффективного гашения колебательного процесса (рисунок 1).

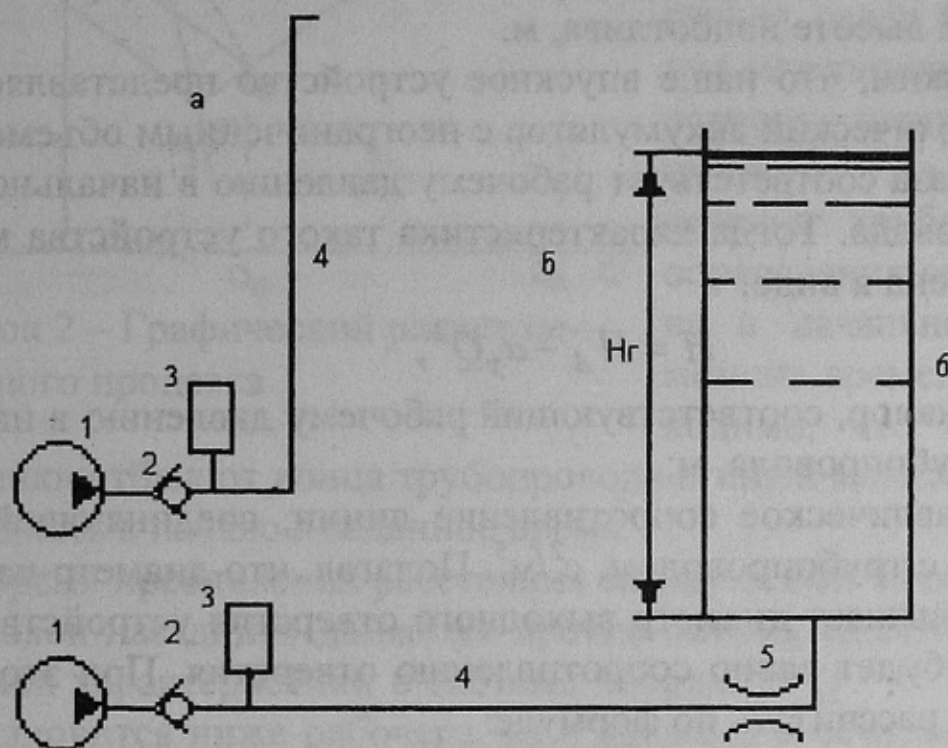


Рисунок – 1 – Водоотливная установка:

а – схема; б – расчетная модель. 1 – насос, 2 – обратный клапан, 3 – впускное устройство, 4 - трубопровод, 5 – гидравлическое сопротивление трубопровода, 6 - резервуар.

Наглядно проанализировать процесс в случае мгновенного отключения насоса можно графо-аналитическим способом [3,4], концентрируя условно распределенное по длине гидравлическое сопротивление в одной точке в конце трубопровода.

Схема водоотливной установки с впускным устройством, установленным в начале трубопровода, приведена на рисунке 1а, а эквивалентная расчетная схема – на рисунке 1б. Величина сопротивления для простого длинного трубопровода определяется по формуле [2]:

$$a = \frac{\lambda L}{2gdS^2}, \quad (1)$$

где:  $\lambda$  - коэффициент Дарси;

$L$  – длина трубопровода, м;

$g$  – ускорение свободного падения м/с<sup>2</sup>;

$d$  – внутрішній діаметр трубопровода, м;

$S$  – площа поперечного сечення трубопровода,  $\text{м}^2$ .

Величина коефіцієнта Дарси може бути определена по формуле Шевелева [2]:

$$\lambda = 0,021d^{-0,3} . \quad (2)$$

Напор, создаваемый резервуаром 6 (см. рисунок 1б) равен  $H_2$  – геометрической высоте водоотлива, м.

Предположим, что наше впускное устройство представляет собой газо-гидравлический аккумулятор с неограниченным объемом газа и давление газа соответствует рабочему давлению в начальном сечении трубопровода. Тогда характеристика такого устройства может быть представлена в виде:

$$H = H_A - a_y Q^2, \quad (3)$$

где:  $H_A$  – напор, соответствующий рабочему давлению в начальном сечении трубопровода, м;

$a_y$  – гидравлическое сопротивление линии, соединяющей устройство впуска с трубопроводом,  $\text{с}^2/\text{м}^5$ . Полагая, что диаметр патрубка намного превышает диаметр выходного отверстия устройства, это сопротивление будет равно сопротивлению отверстия. При этом его диаметр можно рассчитать по формуле:

$$d_k = \sqrt[4]{8/(\mu^2 \pi^2 g a_y)}, \quad (4)$$

здесь  $\mu$  – коэффициент расхода отверстия.

Предположим так же, что сбросное устройство срабатывает мгновенно, и что прямое сопротивление обратного клапана 2 пренебрежимо мало.

С учетом сделанных выше допущений, в системе координат расход – напор ( $Q - H$ ) построим кривые, характеризующие граничные условия для трубопровода.

На рисунке 2 кривая 1 – индивидуальная характеристика насоса, а кривая 2 характеризует граничное условие в конце трубопровода и определяется уравнением:

$$H = H_2 + a Q |Q|. \quad (5)$$

Граничное условие в начале трубопровода при давлении меньшем, чем рабочее определяется уравнением впускного устройства (3) – кривая 3 на рис. 2.

Через время  $2L/c$  устройство впуска закрывается и характеристика в начальном сечении характеризуется тождеством:

$$Q = 0. \quad (6)$$



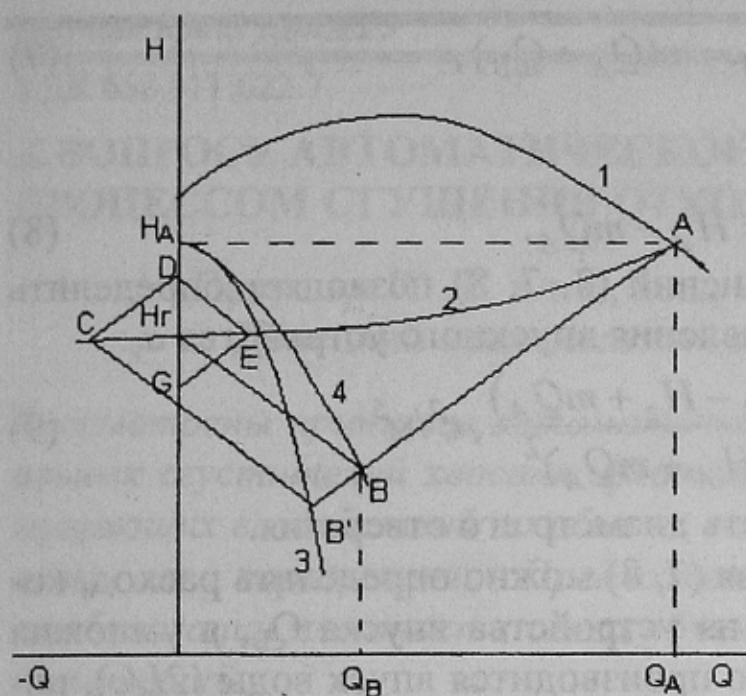


Рисунок 2 – Графічний розрахунок переходного процесу

Описание графических построений произведено по принятой в [3] системе. В момент времени  $t = 0$ , состояние потока определяется точкой пересечения кривых 1 и 2, то есть, стационарный напор в системе равен  $H_A$ , а расход равен  $Q_A$  и происходит мгновенное закрытие обратного клапана, расположенного в начальном сечении трубопровода. Для определения состояния потока в начальном сечении в момент времени  $t = 0$ , необходимо, чтобы «волновой

наездник» отбыл от конца трубопровода в такой момент времени, чтобы прибыть в начало в заданное время.

Время преодоления расстояния между этими точками равно  $L/c$ . «Волновой наездник» движется против потока, следовательно, вдоль обратной характеристики в системе координат  $Q - H$ . Так как давление становится ниже рабочего, то в начальном сечении он встречает характеристику устройства впуска. Таким образом, в момент времени  $t = 0,0$  состояние потока в начале трубопровода определяется точкой  $B'$ .

Далее «волновой наездник» движется по потоку (прямая характеристика), и прибывает в конечное сечение с параметрами точки  $C$ .

Затем «волновой наездник» движется против потока, и через время  $2L/c$  от начала процесса прибывает в начальное сечение. К тому времени граничным условием в начальном сечении становится уравнение (6), а параметры режима определяются точкой  $D$ . Дальнейшими аналогичными построениями определяются точки  $E, G$  и т. д. Очевидно, что если через время  $2L/c$  «волновой наездник» придет в начальное сечение с параметрами точки  $H_2$ , то колебательный процесс прекратится, что можно считать оптимальным вариантом. При этом характеристика впускного устройства соответствует кривой 4 на рис. 2. Запишем уравнения волновых характеристик для этого случая. Линия  $A - B$ :

$$H_A - H_B = m(Q_A - Q_B), \quad (7)$$

где:  $m = \frac{c}{gS}$ . Линия  $B - H_2$ :

$$H_B = H_A - mQ_A. \quad (8)$$

Совместное решение уравнений (3, 7, 8) позволяет определить оптимальную величину сопротивления впускного устройства  $a_y$ :

$$a_y = \frac{2m^2(H_A - H_2 + mQ_A)}{(H_2 - H_A + mQ_A)^2}, \text{ с}^2/\text{м}^5 \quad (9)$$

и затем по формуле (4) рассчитать диаметр его отверстия.

Решив совместно уравнения (7, 8) можно определить расход, который должен быть обеспечен из устройства впуска  $Q_B$ , а умножив его на время, в течение которого производится впуск воды ( $2L/c$ ), получить требуемый объем ( $W$ ) по воде:

$$W = \frac{L(H_2 - H_A + mQ_A)}{cm}, \text{ м}^3. \quad (10)$$

Анализ графического расчета показывает, что если допустить некоторое повышение напора в системе, например, до величины  $H_A$  (то есть  $H_D = H_A$ ), то сопротивление впускного устройства станет большим, диаметр клапана и количество впускаемой воды – меньшим.

Расчеты показывают, что для главной водоотливной установки шахты "Шахтерская – Глубокая" (горизонт 1294м) при условии установки насосов – ЦНС 300 – 660 диаметр клапана должен быть 73,6 мм, а объем впускаемой воды – 0,037 м<sup>3</sup>. Такие величины представляются приемлемыми, как исходные при инженерном проектировании впускающего устройства.

Список источников.

1. Попов В.М. Рудничные водоотливные установки. – М.: Недра, 1972. – 340 с.
2. Гейер В.Г., Дулин В.С., Заря А.Н. Гидравлика и гидропривод: Учеб. для вузов.-М.: Недра, 1991. – 331 с.
3. Бержерон Л. От гидравлического удара в трубах до разряда в электрической сети. – М.: Машгиз, 1962. – 348 с.
4. Андрияшев М.М. Графические расчеты гидравлического удара в трубопроводах. – М.: Стройиздат, 1969. – 64 с.