

УДК 621.646.94

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ОБРАТНОГО КЛАПАНА С ЗАМЕДЛЕННЫМ ЗАКРЫТИЕМ КАК СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УДАРОВ

Оверко В.М., Овсянников В.П., канд-ты техн. наук, доценты  
Донецкий национальный технический университет

*Исследована работоспособность обратного клапана с замедленным закрытием как средства защиты от гидравлических ударов шахтного водоотлива*

*The capacity of reverse valve is investigational with the slow closing as facilities of protecting from the hydraulic shots of the mine pumping*

**Проблема и ее связь с научными или практическими задачами.** Очень старая проблема борьбы с гидравлическими ударами на шахтных водоотливных установках (см. рисунок 1) к настоящему

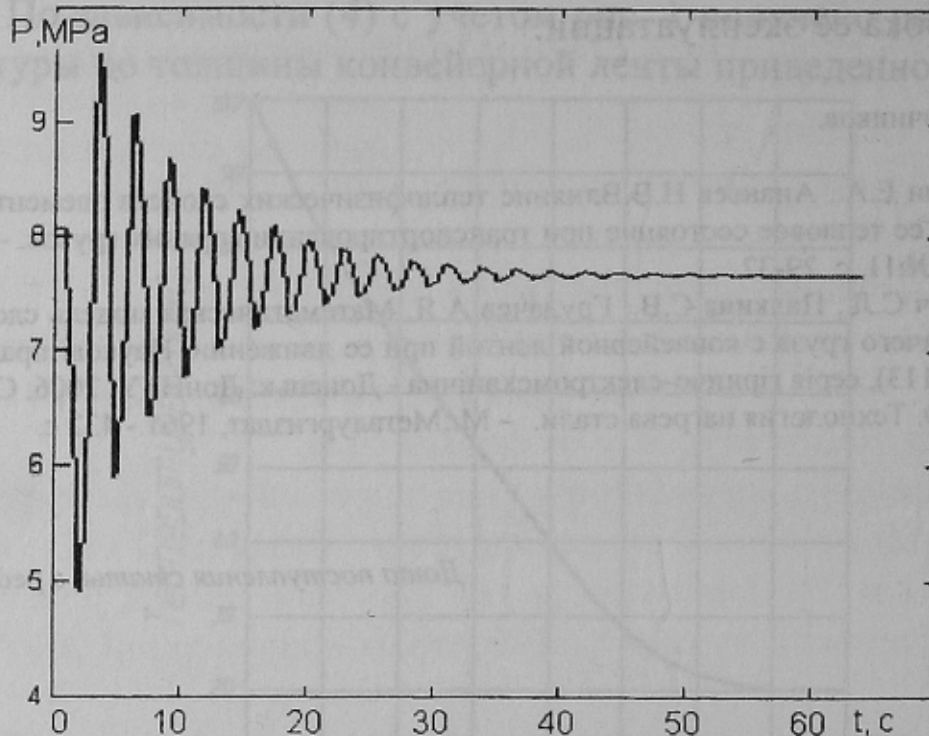


Рисунок 1. Гидравлический удар в незащищенной водоотливной установке

времени не имеет общепринятого решения и актуальности не потеряла [1,2]. При этом обеспечение надежной работы водоотливной установки — остается главным вопросом на закрывающихся шахтах. Необходимым условием полноценной надежности является защита оборудования от опасных колебаний и повышений давления, которыми

сопровожаются переходные процессы. В настоящее время в рассматриваемых установках широко применяются погружные насосы, что позволяет обеспечить техническое обслуживание насосных агрегатов с поверхности. Это экономически обосновано в том случае, если проводятся только плановые мероприятия по ремонту и обслуживанию. В случае же непредвиденных отказов и, связанных с этим, подъемом на поверхность насосного агрегата, стоимость чего достигает миллиона гривен, весь смысл в данной схеме водоотлива пропадает.

**Анализ исследований и публикаций.** Для защиты от гидравлических ударов водоотливных установок с погружными насосами начинают применять обратные клапаны с замедленным закрытием, как это сделано, например, на шахте «Черноморка».

Рассматриваемый клапан относится к средствам защиты, работающим со сбросом части транспортируемой среды. Защита водоотливных установок этим способом применялась на шахтах более 50 лет, однако сброс жидкости проводился по отдельному трубопроводу в водоприемный колодец или в водоотливную канавку. Современные схемы водоотливов с погружными насосами не имеют приемного клапана во всасывающем трубопроводе, поэтому появилась возможность производить сброс воды через насос. Таким образом, упрощается схема защиты и сохраняется очевидная возможность гашения гидравлического удара.

**Постановка задачи.** Целью исследований является проверка целесообразности применения обратных клапанов с замедленной посадкой запорного органа для защиты шахтных водоотливных установок с погружными насосами от гидравлических ударов.

**Изложение материала и результаты.** Подтвердим вышесказанное моделированием процесса на ПК.

Математическая модель динамических процессов в водоотливных установках с погружными насосами приведена в [4]. При моделировании динамических процессов в водоотливной установке с замедленной посадкой запорного органа изменяется выражение для напорной характеристики насоса. Ее нужно рассматривать в виде:

$$P_n = \rho g \left( H_0 \left( \frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 z + B \frac{\omega}{\omega_h} z Q_n - (Cz + A_k(t)) Q_n^2 \right),$$

где  $\rho$  – плотность жидкости,  $g$  – ускорение свободного падения,  $z$  – количество колес,  $H_0, B, C$  – коэффициенты полинома, аппроксими-



мирующего напорную характеристику насоса,  $P_n, Q_n$  давление и расход насоса,  $A_k(t)$  – текущее гидравлическое сопротивление обратного клапана на линии нагнетания. Кроме того, при моделировании динамических процессов в данном случае необходимо рассматривать работу насоса во втором квадранте напорной характеристики, то есть при  $Q_n < 0$ . При этом будем считать, что

$$P_n = \rho g \left( H_o \left( \frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 z + (3 \cdot Cz + A_k(t)) Q_n^2 \right).$$

Поскольку, в настоящей работе не ставилась задача поиска оптимального закона изменения сопротивления обратного клапана и поэтому принимался наиболее естественный - линейный закон изменения его гидравлического сопротивления, то есть

$$A_k(t) = A_o + (A_u - A_o) \cdot t \cdot (n \cdot T_f)^{-1},$$

где  $A_o, A_u$  – соответственно минимальное сопротивление клапана и сопротивление, обусловленное утечками,  $t$  – текущее время,  $T_f$  – длительность фазы гидравлического удара,  $n$  – количество фаз за которое закрывается обратный клапан.

Результаты моделирования, представленные на рисунке 2, показывают эффективность замедленной посадкой запорного органа как средства защиты от гидравлических ударов. Но анализ преимуществ и недостатков рассматриваемого способа защиты лучше осуществлять при помощи графо-аналитических расчетов.

Как видно из графического анализа [3], такое управление переходным процессом приводит к более глубокому снижению давления и обратному течению воды – точка В1 на рисунке 3. Это в свою очередь обуславливает достаточно высокое повышение давления (точка D1) через время  $2L/c$  при прямом гидравлическом ударе (здесь  $L$  – длина трубопровода,  $c$  – скорость распространения ударной волны). Следует отметить, что погружные насосные агрегаты имеют сравнительно небольшой момент инерции, что всегда обуславливает прямой гидроудар и крутой фронт повышения давления в указанное выше время. Последнее обстоятельство является причиной жесткого удара жидкости по элементам насосного агрегата, величина которого для условий шахты «Черноморка» (насос PN 122-11a) достигает 10 тонн. Это первый недостаток рассматриваемого метода.

Второй связан с возможной потерей герметичности клапана. Дело в том, что запорный элемент рассматриваемого клапана должен

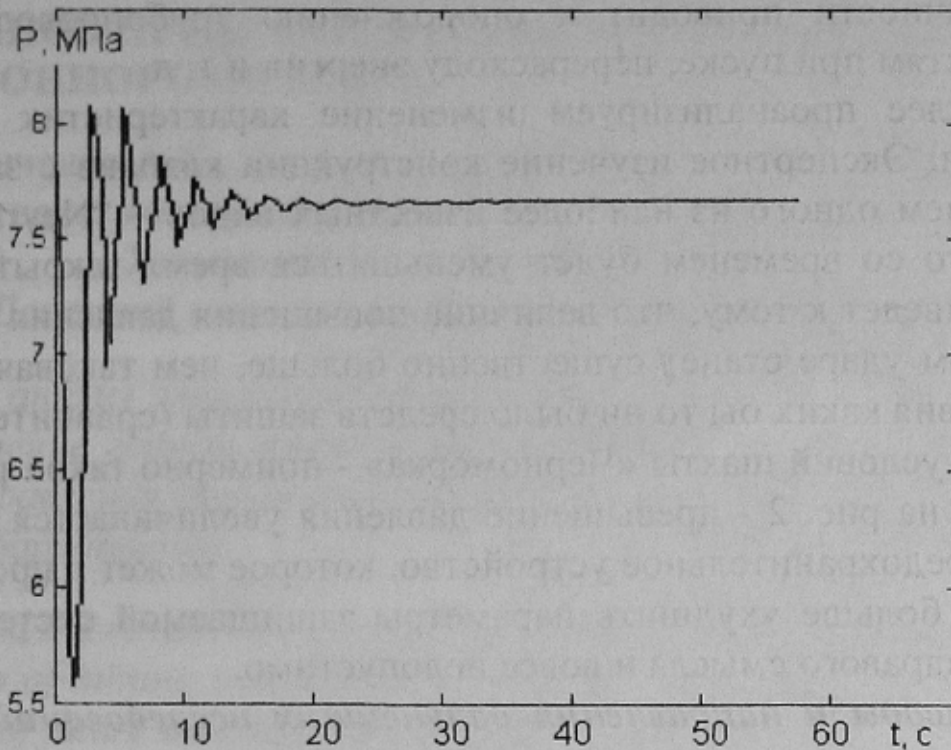


Рисунок 2. Переходный процесс в защищенной водоотливной установке (клапан закрывается за время 20 фаз гидравлического удара)

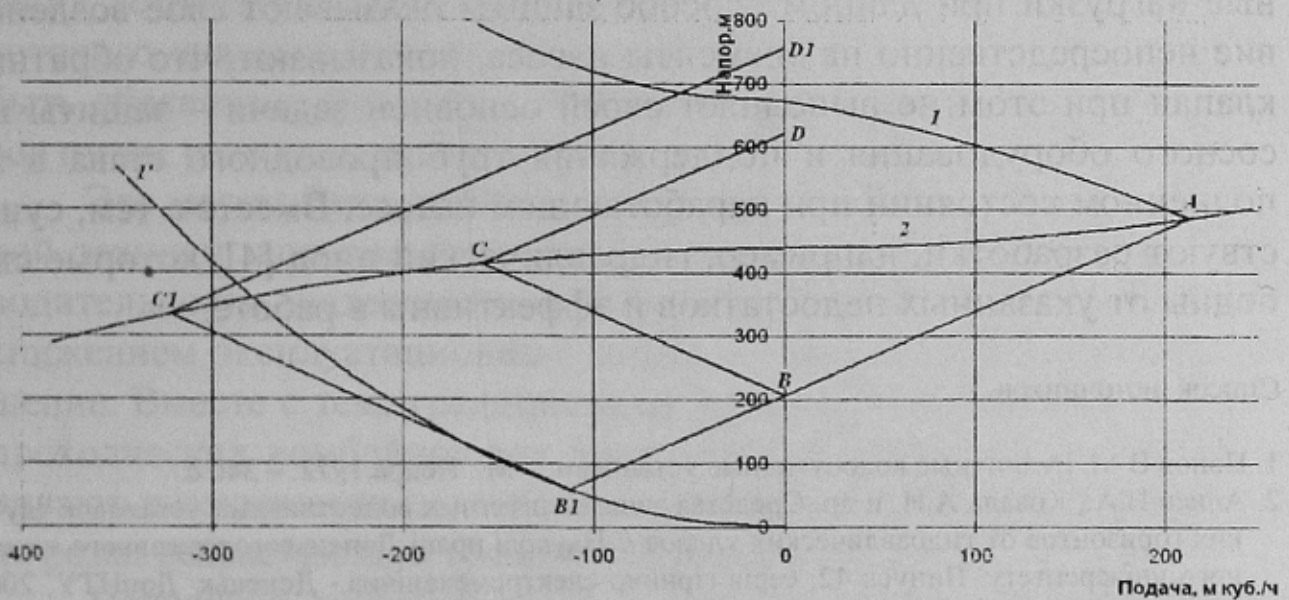


Рисунок 3 - Графический анализ переходного процесса:  
 1, 1' - характеристики насоса; 2 - характеристика трубопровода;  
 АВ, ВС и т.д. - волновые характеристики трубопровода.

обеспечить плавное изменение скорости потока и полную герметичность в закрытом состоянии. Насколько известно авторам, такое не удастся сделать на чистой жидкости, а для загрязненной и агрессив-



ной шахтной воды это представляется весьма маловероятным. Потеря герметичности приводит к опорожнению трубопроводного става, трудностям при пуске, перерасходу энергии и т. д.

Далее проанализируем изменение характеристик клапана во времени. Экспертное изучение конструкции клапана с замедленным закрытием одного из наиболее известных видов – "Neurtec" показывает, что со временем будет уменьшаться время закрытия клапана. Это приведет к тому, что величина повышения давления при гидравлическом ударе станет существенно больше, чем таковая в условиях отсутствия каких бы то ни было средств защиты (сравните точки D1 и D). Для условий шахты «Черноморка» - примерно такой расчет представлен на рис. 2 - превышение давления увеличивается почти в два раза. Предохранительное устройство, которое может в процессе работы еще больше ухудшить параметры защищаемой системы с точки зрения здравого смысла и вовсе недопустимо.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Применение обратных клапанов с замедленным закрытием позволяет в некоторых случаях упростить схему защиты и позволяют существенно снизить величину гидравлического удара. Однако, недостатки, связанные с его низкой надежностью и с тем обстоятельством, что ударные нагрузки при данном способе защиты оказывают свое воздействие непосредственно на элементы насоса, показывают, что обратный клапан при этом не выполняет своей основной задачи – защиты насосного оборудования и поддержания трубопроводного става в заполненном состоянии при неработающем насосе. Вместе с тем, существуют разработки, например, гидравлический диод [4], которые свободны от указанных недостатков и эффективны в работе.

Список источников.

1. Попов В.М. Рудничные водоотливные установки. – М.: Недра, 1972. – 340 с.
2. Алиев Н.А., Коваль А.Н. и др. Средства защиты шахтных водоотливных установок глубоких горизонтов от гидравлических ударов // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Випуск 42, серія гірничо-електромеханічна. - Донецьк: ДонНТУ, 2002. С 3 – 17.
3. Бержерон Л. От гидравлического удара в трубах до разряда в электрической сети. – М.: Машгиз, 1962. – 348 с.
4. Оверко В.М., Овсянников В.П., Папаяни А.Ф. Защита от гидравлических ударов водоотливных установок с погружными насосами // Разработка рудных месторождений. Научно-технический сборник. Выпуск № 1 (90) Кривой Рог, 2006 г. С 158-162.

Дата поступления статьи в редакцию: 24.04.07