

УДК 621.646.94 ГРНТИ 52.01.84

В.М. Оверко, В.П. Овсянников – кандидаты техн. наук, доценты, Донецкий Национальный технический университет, г. Донецк, Украина;

А.Ф. Папаяни – инж., АОЗТ НПО «Хаймек», г. Донецк, Украина.

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ПАРАМЕТРОВ И ПРИНЦИПОВ УПРАВЛЕНИЯ СБРОСНЫМИ КЛАПАНАМИ ГАСИТЕЛЕЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УДАРОВ.

Приведена новая методика выбору параметров скидных клапанів гасителів гідравлічних ударів, розглянуто вплив принципів управління цими пристроями на динамічні процеси в трубопроводах, що захищаються, показані результати досліджень гідравлічних ударів у водовідливних установках.

Приведена новая методика выбора параметров сбросных клапанов гасителей гидравлических ударов, рассмотрено влияние принципов управления этими устройствами на динамические процессы в защищаемых трубопроводах, показаны результаты исследований гидравлических ударов в водоотливных установках.

The new method of choice of parameters of up casts valves of extinguishers of water-hammers is resulted, influence of principles of management by these devices is considered on dynamic processes in the protected pipelines, the results of researches of water-hammers are rotined in pumping options.

Как известно, универсальным способом защиты трубопроводов является сброс части транспортируемой жидкости при помощи гасителей гидравлических ударов [1]. Главными элементами таких устройств являются сбросной клапан и система управления, основные требования к этим устройствам рассмотрены в [1], причем, при выборе их параметров в качестве критериев принимались универсальность и адаптивность. Однако, как показал опыт производства и эксплуатации гасителей гидравлических ударов, с параметрами, которые определялись таким образом, не удается достичь технологичности при изготовлении, а главное надежности в работе и простоты в эксплуатации.

Известен способ защиты трубопроводов от гидравлических ударов, который заключается в изменении параметров отраженной волны таким образом, что после ее прохождения по трубопроводу состояние потока жидкости в нем оказывается максимально приближенным к установившемуся [2,3]. Рассмотрим возможность реализации этого способа защиты трубопроводов от гидравлических ударов гасителем со сбросом части транспортируемого потока жидкости. При этом за счет соответствующего выбора параметров сбросного клапана такой гаситель должен воздействовать на состояние потока за счет формирования отраженной волны с оптимальными параметрами. Поясним это при помощи графо-аналитического расчета гидравлического удара

[2] на конкретной водоотливной установке (см. рисунок 1).

Определим основные характеристики насосной установки и напорного трубопровода этого водоотлива:

- насос – ЦНС 300 -600
- $\delta = 15 \text{ mm.}$ - толщина стенок трубопровода;
- $d = 300 \text{ mm.}$ - диаметр трубопровода;
- длина трубопровода $L_T = 600 \text{ м.}$
- геометрическая высота 500м.

На рисунке 1 показаны:

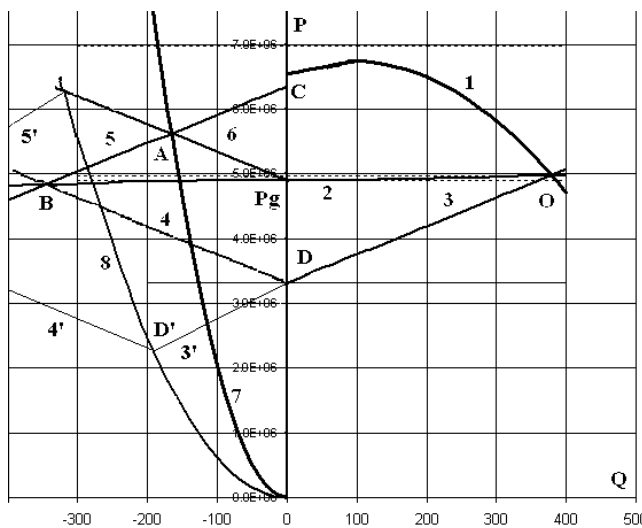


Рис.1 Графо-аналитический расчет гидравлического удара в водоотливной установке.

кривая 1 – характеристика насоса;
 кривая 2 – характеристика сети;
 параболы 7,8 – характеристики сбросного клапана при различных гидравлических сопротивлениях:

$$P_s = A_s \cdot Q_s^2, \quad (1)$$

где P_s, Q_s – давление и расход в точке установки сбросного клапана; A_s – сопротивление сбросного клапана;

прямые с индексами $i=3,3',5,5'$ определяются уравнениями:

$$P = m \cdot Q + k_i, \text{ а прямые с индексами } i=4,4',6 \text{ определяются уравнениями } P = -m \cdot Q + k_i, \quad (2)$$

где $m = \rho \cdot C \cdot S^{-1}$, ρ – плотность жидкости; C – скорость распространения ударной волны

$$C = \sqrt{\frac{E_v}{\rho}} \cdot \left(1 + \frac{dE_v}{\delta E_{ct}}\right)^{-0,5}, \text{ } E_v \text{ - объемный модуль упругости жидкости; } E_{ct} \text{ - модуль упругости}$$

материала стенок трубопровода, $S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ – площадь сечения трубопровода;

k_i – ордината точки пересечения соответствующей прямой с осью P (см. рисунок 1).

Поскольку, для реализации рассматриваемого способа защиты, волновые процессы в трубопроводе должны быть такими, что, параметры отраженной от сбросного клапана волны, которые зависят от его сопротивления A_s , и отображаются прямой 6 на рисунке 1, и уравнение которой будет иметь вид:

$$P = -m \cdot Q + \rho \cdot g \cdot H_g, \quad (3)$$

где g – ускорение свободного падения; H_g – геометрическая высота. То есть, в результате прохождения отраженной волны параметры потока в этом случае оказываются близкими к установившемуся после отключения насоса состоянию [4,5,6].

Параболе 7 соответствует напорная характеристика сбросного клапана гасителя, реагирующего на волну повышения давления. В этом случае система управления гасителя обеспечивает открытие сбросного клапана при подходе волны с параметрами точки А (см. рисунок 1) P_a, Q_a . После аналитического описания прохождения волн через точки О, D, В, А легко получить уравнение для определения A_{AS}^{nos} требуемого

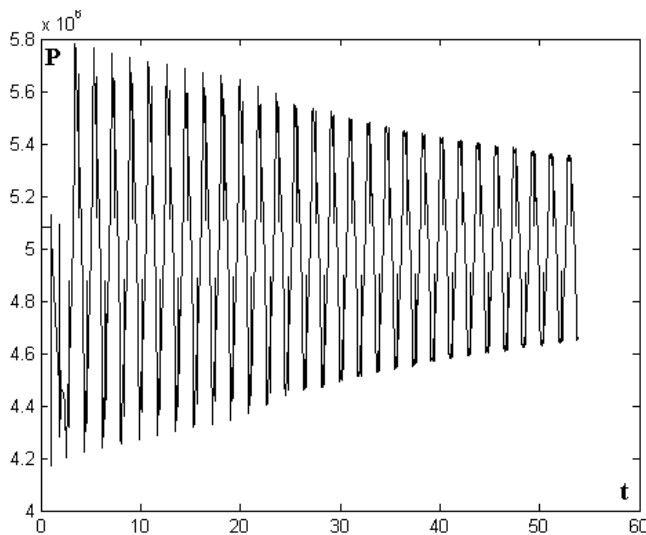


Рис 2 Изменение давления у сбросного клапана (незащищенный трубопровод).

сопротивления сбросного клапана гасителя гидравлических ударов, реагирующего на волну повышения давления и обеспечивающего защиту за счет формирования отраженной волны с оптимальными параметрами:

$$f_{P_0, Q_0, d, \delta}^{nos}(A_{AS}^{nos}) = 0, \quad (4)$$

где P_0, Q_0 – давление и расход в начале трубопровода в стационарном режиме работы.

Парабола 8 определяется напорной характеристикой сбросного клапана гасителя, реагирующего на волну понижения давления. В этом случае система управления гасителя обеспечивает открытие сбросного клапана при формировании волны с параметрами точки D' (см. рисунок 1) $P_{D'}, Q_{D'}$. В отличие от предыдущего случая характеристика сбросного клапана обеспечивает формирование двух волн – первой с параметрами $P_{D'}, Q_{D'}$ и второй с параметрами $P_{A'}, Q_{A'}$. Причем прямая 6 проходящая через эту точку должна пересекать ось ординат как можно ближе к точке P_g , что и обеспечивает работу гасителя в требуемом рассматриваемым способом защиты трубопроводов режиме. Таким образом, получим условие для определения A_{AS}^{non} – сопротивления сбросного клапана гасителя гидравлических ударов, реагирующего на волну по-

нижения давления и обеспечивающего защиту за счет формирования отраженной волны с оптимальными параметрами:

$$\left| f_{P_0, Q_0, d, \delta}^{non}(A_{AS}^{non}) - P_g \right| \xrightarrow{A_{AS}^{non}} = \min, \quad (5)$$

С целью проверки правильности предложенных выше подходов к определению сопротивления сбросного клапана гасителя гидравлических ударов, реагирующего или на волну понижения давления или на волну повышения давления и обеспечивающего защиту за счет формирования отраженной волны с оптимальными параметрами, были проведены расчеты динамических процессов в водоотливной установке с приведенными выше параметрами.

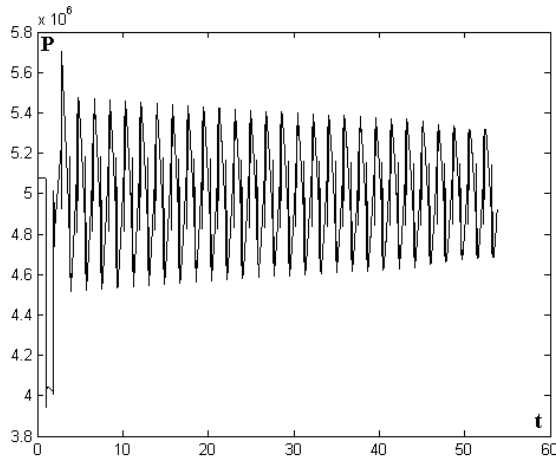


Рис 3 Изменение давления у сбросного клапана $T_{\max}=4 T_f$, (гаситель на повышение давления).

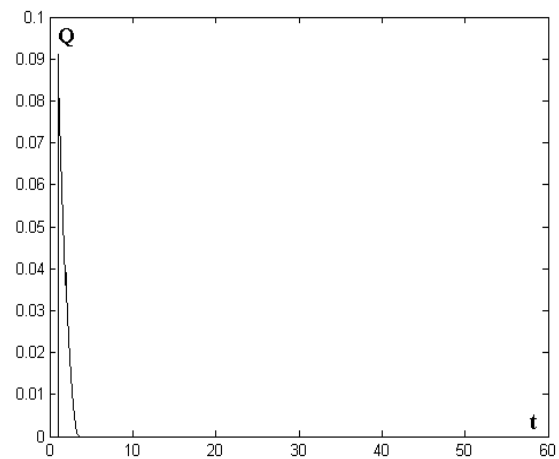


Рис 4 Изменение расхода через сбросной клапан $T_{\max} = 4 T_f$, (гаситель на повышение давления).

На рисунке 2 приведен график изменение давления у сбросного клапана в незащищенной водоотливной установке в течение 1 минуты после внезапного отключения насоса в момент времени $t = 1$ с. При расчете учитывались - инерционные свойства ротора насосного агрегата, распределенное сопротивление трубопровода и его упругие свойства, упругость жидкости, инерционные свойства подвижных элементов клапанов на всасывающем и нагнетательном трубопроводах, то есть использовалась максимально полная адекватная имитационная модель динамических процессов [3].

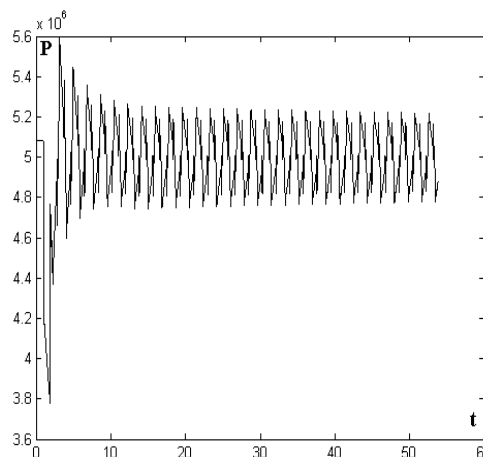


Рис 5 Изменение давления у сбросного клапана $T_{\max}=10 T_f$, (гаситель на повышение давления).

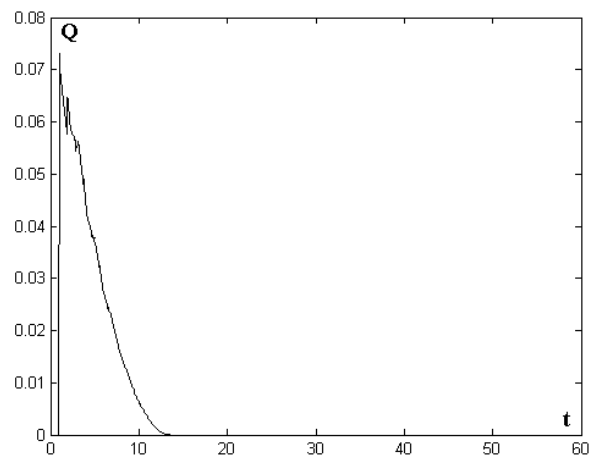


Рис 6 Изменение расхода через сбросной клапан $T_{\max}=10 T_f$ (гаситель на повышение давления).

Вначале рассматривались динамические процессы в водоотливной установке, защищенной гасителем гидравлических ударов, работающим на волну повышения давления с оптимальным сопротивлением сбросного клапана $A_{AS}^{nog} = 2.653E + 09$, то есть диаметр клапана ≈ 35

мм. На рисунках 3,4 показаны соответствующие графики изменения давления у сбросного клапана и расхода через него.

При расчетах динамических процессов, графики которых показаны на рисунках 3,4 принималась $T_{\max}=4T_f$, где T_f - длительность фазы гидравлического удара $T_f = \frac{2 \cdot L_T}{C}$.

Аналогичные расчеты и соответствующие графики при $T_{\max}=10 T_f$, показаны на рисунках 5, 6, а при расчетах, результаты которых приведены на рисунках 7,8 T_{\max} , было увеличено до $20 T_f$

На рисунках 9,10 показаны графики изменения давления у сбросного клапана водоотливной установки защищенной гасителем гидравлических ударов, работающим на волну понижения давления с $A_{AS}^{non} = 8.020E + 08$, то есть диаметр клапана ≈ 45 мм. и соответственно $T_{\max}=10 T_f$ и $T_{\max} = 20 T_f$.

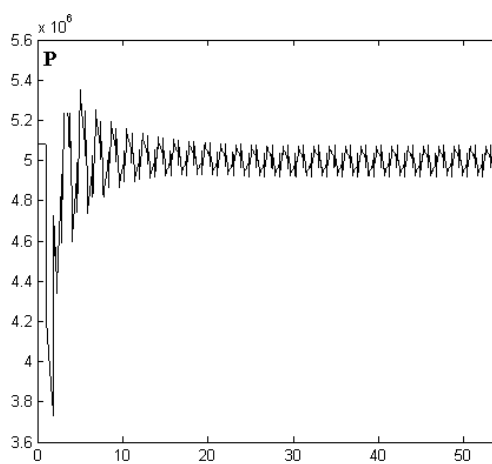


Рис 7 Изменение давления у сбросного клапана $T_{\max}=20 T_f$ (гаситель на повышение давления).

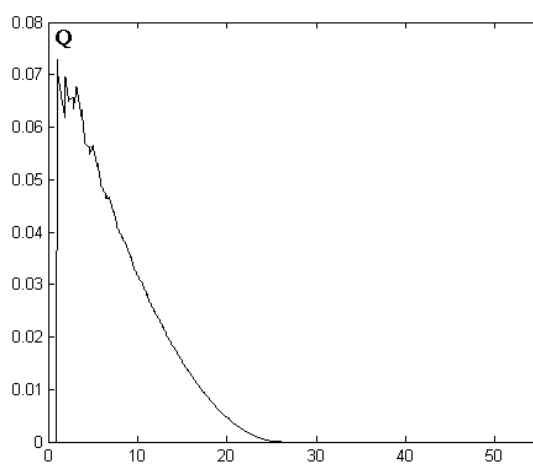


Рис 8 Изменение расхода через сбросной клапан $T_{\max}=20 T_f$ (гаситель на повышение давления).

Как видно из графиков на рисунках 3.5.7.9.10 характер переходных процессов показанных на них отличается от тех, что дает рассматриваемый способ защиты трубопроводов при использовании в качестве устройств формирования отраженной волны с требуемыми параметрами обратного клапана с отверстием в тарели [3,4] или гидропневмоаккумулятора с оптимальным давлением закачки воздуха и дросселем на подводящем трубопроводе [5]. Очевидно что в этом случае не удастся достичь аperiodического характера изменения параметров потока жидкости. Это объясняется тем, что после срабатывания системы управления открывающей сливной клапан, поток через него должен быть остановлен за конечный, желательный малый, промежуток времени, что и вызывает дополнительные колебания давления и расхода жидкости в трубопроводе. Увеличение времени закрытия сбросного клапана в 5 раз с $T_{\max} = 4 T_f$, до $T_{\max} = 20 T_f$, уменьшает амплитуду остаточных колебаний втрое, но не подавляет их окончательно.

Конечно, универсальные гасители гидроударов [1] с эквивалентным сопротивлением сбросного клапана ≈ 75 мм. и временем закрытия более $200 T_f$, дают аperiodический характер переходного процесса. Однако такие устройства недостаточно надежны, при их работе неизбежны значительные дополнительные потери энергии.

Если сравнить гасители с оптимальным сопротивлением сбросного клапана, срабатывающим на волну повышения давления и тем, что срабатывает на волну пониженного давления, то для последнего требуется сбросной клапан с большим диаметром. С этой точки зрения гаситель, реагирующий на повышение давления, лучше. Основной недостаток такого устройства – возможность возникновения автоколебаний, при использовании сбросного клапана с оптимальным сопротивлением не представляется существенным, так как эквивалентный диаметр такого клапана должен быть менее 40 мм., что позволяет обеспечить достаточную надежность устройства.

Выводы:

- Гаситель с оптимальным значением сопротивления проходного отверстия обеспечивает снижение давления при гидравлическом ударе до допустимого уровня.
- В реальных условиях даже расчетное оптимальное значение сопротивления проходного отверстия гасителя не обеспечивает бесколебательного переходного режима Гаситель,

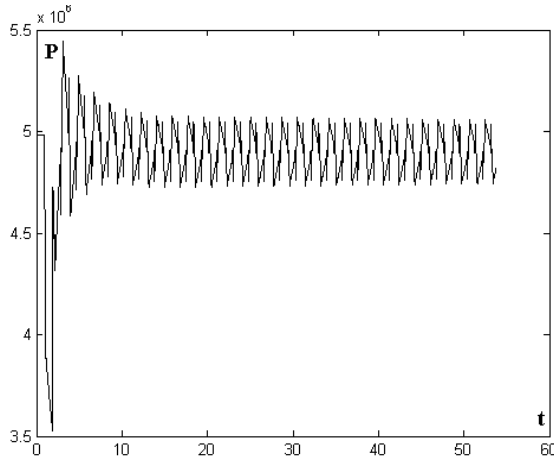


Рис.9 Изменение давления у сбросного клапана на $T_{\max}=20 T_f$ (гаситель на понижения давления).

реагирующий на повышение давления, имеет меньшее проходное отверстие, а, следовательно, и меньшие размеры, вес и т. д. При этом с таким гасителем меньшая амплитуда колебаний давления.

- Оптимизация проходного сечения клапана в теоретическом процессе не предполагает сколько-нибудь существенного сокращения времени колебательного режима или уменьшения амплитуды колебаний в реальных условиях.

Список источников:

1 Гейер В.Г., Тимошенко Г.М. Шахтные вентиляторные и водоотливные установки: Учебник для вузов М. Недра, 1987. – 270с.

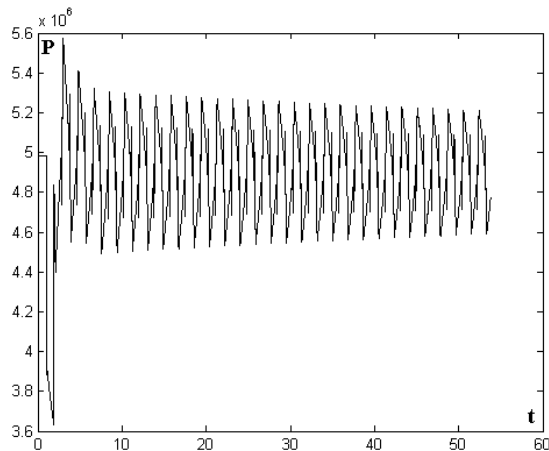


Рис 10 Изменение давления у сбросного клапана $T_{\max}=10 T_f$ (гаситель на понижения давления).

2 Андрияшев М.М. Графические расчеты гидравлического удара в трубопроводах. – М.: Стройиздат, 1969. – 64 с.

3 Фокс Д.А. Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах. - М.: Энергоиздат, 1981. – 248 с.

4 Г.М. Тимошенко, В.М. Оверко, В.П. Овсянников, Ю.А. Артамонов О возможности предотвращения гидравлических ударов в шахтных водоотливных установках с помощью обратных кланов. Деп. в УКРНИИНТИ 21стр. 27.05.85 № 11329

5 В.М. Оверко, В.П. Овсянников – кандидаты техн. наук, доценты, Донецкий Национальный технический университет, г. Донецк, Украина;

А.Ф. Папаяни – инж., АОЗТ НПО «Хаймек», г. Донецк, Украина. ЗАЩИТА ОТ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УДАРОВ ВОДООТЛИВНЫХ УСТАНОВОК С ПОГРУЖНЫМИ НАСОСАМИ Министерство образования и науки Украины. Криворожский технический университет, Разработка рудных месторождений. Научно технический сборник. Выпуск № 1 (90) Кривой Рог, 2006 г. С.158-162.

6 Г.М.Тимошенко, Н.А Марков, В.П. Овсянников Защита напорных трубопроводов водоотливных установок от гидравлических ударов. ГРУЗИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. В. И. ЛЕНИНА ИНСТИТУТ ГОРНОЙ МЕХАНИКИ им. Г.А.ЦУЛУКИДЗЕ АН ГССР Первая Всесоюзная конференция «ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ГОРНЫХ МАШИНАХ И СТАЦИОНАРНЫХ УСТАНОВКАХ» (24—27 октября 1989 г. — Тбилиси) с 7-9.