

УДК 621.646.94 ГРНТИ 52.01.84

В.М. Оверко, канд. техн. наук, доц.**В.П. Овсянников**, канд. техн. наук, доц.

Донецкий национальный технический университет

УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ СИСТЕМОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ШАХТНЫХ ВОДООТЛИВНЫХ УСТАНОВОК

Рассмотрена возможность изменений в системах управления водоотливных установок с целью их защиты от гидравлических ударов.

водоотливная установка, гидравлический удар, задвижка с гидроприводом

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами. Проблема защиты водоотливных установок шахт от гидравлических ударов остается актуальной. Ее острота даже возрастает в связи с закрытием шахт и необходимостью откачивать воду на неработающих предприятиях при ограниченном финансировании [1]. Вместе с тем получают все большее распространение водоотливные установки, оснащенные современными насосами и средствами автоматизации которые включают в себя маслостанцию и задвижки с гидроприводом на линиях нагнетания насосов. В связи с этим, возникает идея - использовать эти устройства для управления динамическими процессами с целью защиты водоотливных установок от гидравлических ударов, возникающих при внезапном отключении электроэнергии.

Анализ исследований и публикаций. Маслостанции любого типа [2] имеют гидропневмоаккумулятор, в котором может накапливаться энергия достаточная для того чтобы достаточно быстро закрыть задвижку на линии нагнетания насоса при внезапном отключении электроэнергии. Проблемы заключаются, во-первых, в том, чтобы создать систему управления гидроприводом задвижки, работающую только при аварийном отключении электроэнергии за счет энергии гидропневмоаккумулятора маслостанции, во-вторых, в определении требуемого закона изменения гидравлического сопротивления задвижки на линии нагнетания насоса, обеспечивающего предотвращение гидравлического удара при внезапном отключении электроэнергии. Решение второй задачи и будет рассмотрено в данной статье.

Изложение материала и результаты. В качестве примера рассмотрим динамические процессы в напорном трубопроводе водоот-

ливной установки с насосом ЦНС 300-600, суммарная длина напорного трубопровода – 700 метров, геометрическая высота - 600 метров, диаметр трубопровода – 0,2 метра. На рисунке 1 показаны расчетные [4] графики изменения давления и расхода в начале напорного трубопровода при внезапном отключении насоса.

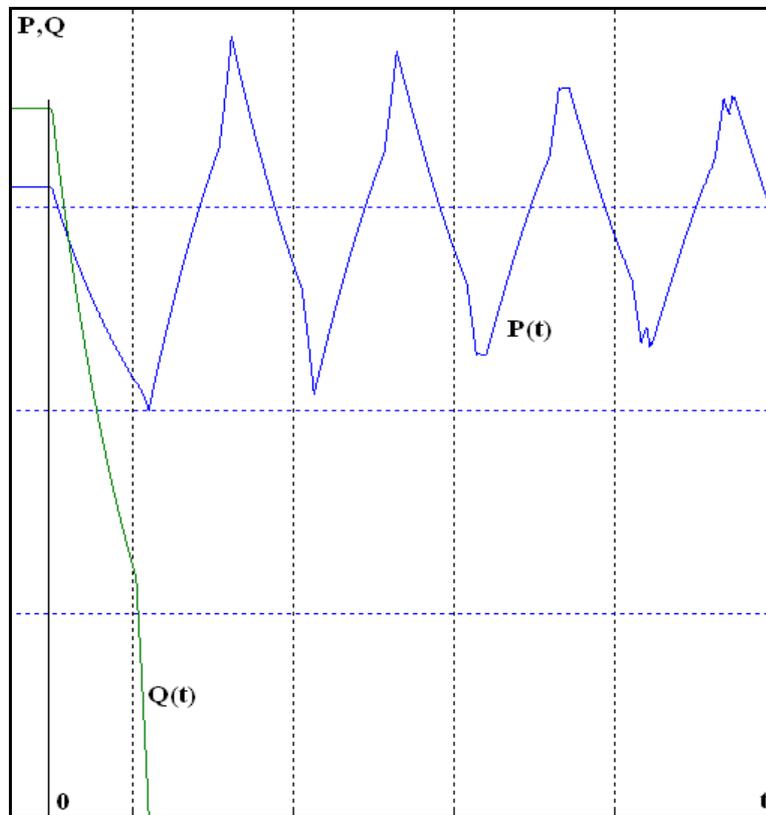


Рис. 1 - Графики изменения давления и расхода в рассматриваемой водоотливной установке при внезапном отключении насосного агрегата

Как видно из этих графиков, при внезапном отключении насоса в напорном трубопроводе возникает гидравлический удар и, следовательно, эта водоотливная установка требует применения средств защиты.

На рисунке 2 приведен графоаналитический анализ [2] начала переходного процесса в напорном трубопроводе водоотливной установки в том случае если в момент времени $t=0_+$ (то есть в момент отключения насоса) задвижка на его линии нагнетания будет прикрыта настолько, что формируемые при этом параметры потока жидкости в начале трубопровода - P_1, Q_1 (рис. 2) будут такими, что отраженная от начала трубопровода волна будет иметь параметры установившегося состояния потока - $P_g, 0$. В этом случае процессы изменения параметров потока жидкости в трубопроводе должны носить аperiодический характер, а давление будет изменяться в пределах допустимых значе-

ний. Этот тезис подтверждается графиками, полученными в результате моделирования процесса на ПК, которые приведены на рисунке 3.

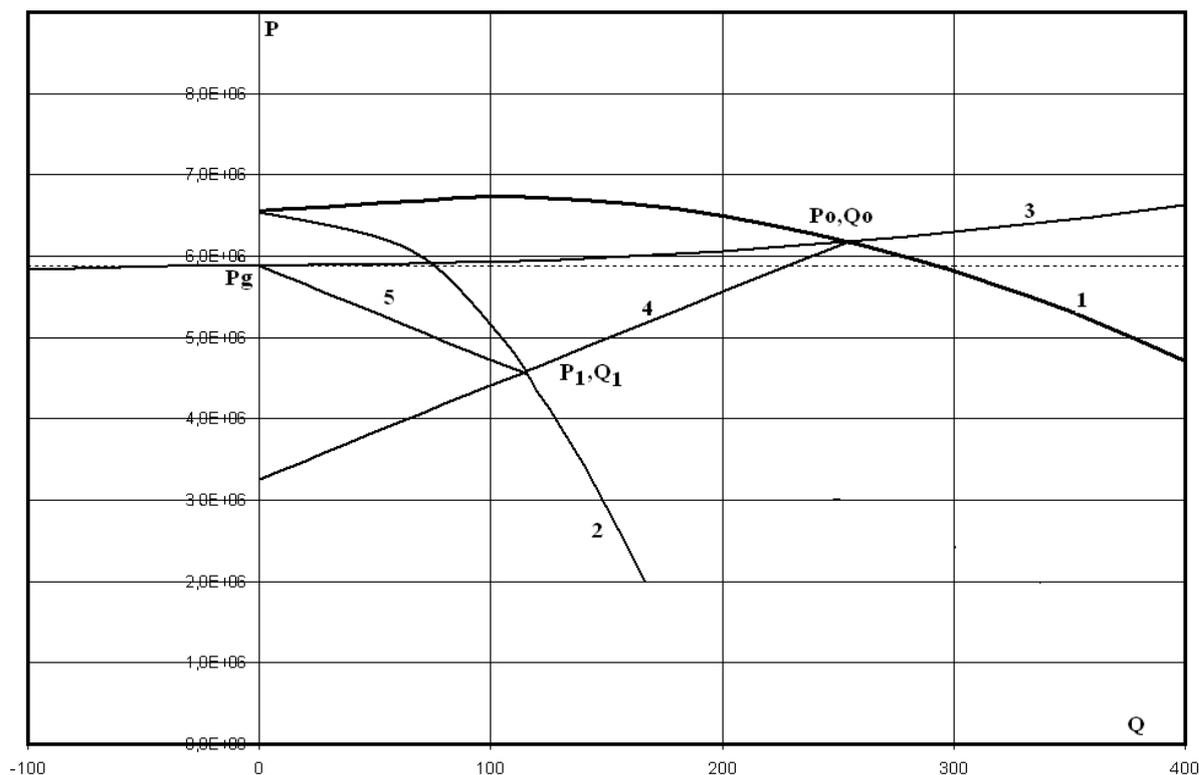


Рис. 2 - Анализ управления динамическими процессами в водоотливной установке: 1 - напорная характеристика насоса, 2 - напорная характеристика насоса с прикрытой задвижкой на линии нагнетания, 3 - расходная характеристика сети, 5,4 - волновые характеристики нагнетательного трубопровода [5], P_g - давление, соответствующее геометрическому напору, Па.

Найдем величину гидравлического сопротивления, которое должна иметь задвижка на линии нагнетания насоса в момент внезапного отключения электроэнергии с тем, чтобы обеспечить требуемое качество переходного процесса.

Уравнения волновых характеристик нагнетательного трубопровода 4, 5 (рис. 2) описываются соответственно уравнениями вида:

$$P = mQ + (P_o - mQ_o) \quad (1)$$

$$P = -mQ + Pg \quad (2)$$

где $m = \rho \cdot c \cdot S_T^{-1}$, ρ - плотность жидкости, c - скорость распространения ударной волны, S_T - площадь поперечного сечения трубопровода, P_o, Q_o - давление и расход в начале трубопровода в установившемся режиме работы водоотливной установки.

Совместное решение системы уравнений (1), (2) даёт искомые величины P_1, Q_1 :

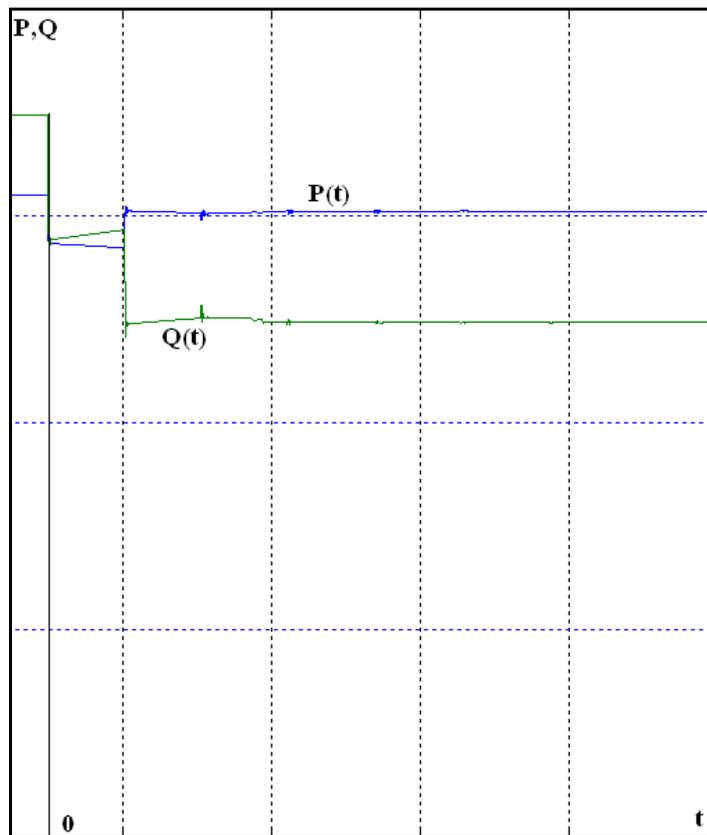


Рис. 3 - Графики изменения давления и расхода в водоотливной установке при увеличении сопротивления задвижки на линии нагнетания до оптимального

$$\begin{cases} P_1 = (P_o - P_g - mQ_o) \cdot 0.5 \\ Q_1 = (P_g - P_1) \cdot m^{-1} \end{cases} \quad (3)$$

Приведенная напорная характеристика насоса с учетом сопротивления задвижки на линии нагнетания аппроксимируется уравнением вида:

$$P(Q, \omega, t) = \rho g \left(H_0 \left(\frac{\omega(t)}{\omega_o} \right)^2 - B \left(\frac{\omega(t)}{\omega_o} \right) Q - (C + A_z(t) Q^2) \right) z \quad (4)$$

где $P(Q, \omega, t)$ – текущее давление создаваемое насосом при расходе Q и частоте вращения ротора ω ,

g – ускорение свободного падения,

H_o, B, C – коэффициенты, аппроксимирующие напорную характеристику насоса при номинальной скорости вращения ротора ω_o ,

$A_z(t)$ – текущее гидравлическое сопротивление задвижки на линии нагнетания.

Поскольку, согласно сделанному выше допущению, в момент времени $t=0_+$ приведенная напорная характеристика насоса должна проходить через точку с координатами P_1, Q_1 то величину A_z можно найти из выражения:

$$A_z = \frac{\rho g (H_o - BQ_1 - CQ_1^2)z - P_1}{Q_1^2}. \quad (5)$$

Выражение (5) получено исходя из допущения: $\omega \approx \omega_o$ то есть для насосного агрегата, инерционные свойства которого достаточно высокие и частота вращения практически не изменяется за время маневра задвижки. Уточнить величину A_z можно используя более полную модель динамических процессов в трубопроводе водоотливной установки учитывающую распределение вдоль длины гидравлическое сопротивление, инерционные свойства насосного агрегата и т.д. [4].

Текущие состояние потока жидкости и частоту вращения ротора насосного агрегата могут быть найдены, если выражение (4) рассматривать совместно с системой уравнений:

во-первых, уравнением движения ротора:

$$J\omega(t) \frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{P(0,t) \cdot Q(0,t)}{\eta(Q(0,t), \omega(t))}, \quad (6)$$

где J – момент инерции ротора насосного агрегата;

$P(0,t) \cdot Q(0,t)$ – соответственно, давление и расход жидкости;

$\eta(Q(0,t), \omega(t))$ – коэффициент полезного действия насоса;

во-вторых, связью между изменением давления и расхода на обратной характеристике в начале трубопровода [5]:

$$(P(0,t) - P(\Delta x, t - \Delta t)) - m \cdot (Q(0,t) - Q(\Delta x, t - \Delta t)) - (n|(Q(0,t) + Q(\Delta x, t - \Delta t))| \cdot (Q(0,t) + Q(\Delta x, t - \Delta t) - \rho g k) \cdot \Delta x = 0, \quad (7)$$

где $P(\Delta x, t - \Delta t), Q(\Delta x, t - \Delta t)$ - известные из результатов предыдущего расчета давление и расход во второй точке сетки характеристик на расстоянии Δx от начала трубопровода; причем, в соответствии с принципом построения сетки характеристики [5] $\Delta x = c\Delta t$, Δt – шаг по времени;

n – удельное гидравлическое сопротивление трубопровода;

k – тангенс угла наклона участка трубопровода.

При численном решении системы уравнений (4), (6), (7) необходимо учитывать то обстоятельство, что необходимо анализировать процессы, происходящие в трубопроводе при быстром изменении

приведенной характеристики насоса, в связи с резким изменением сопротивления задвижки на линии нагнетания насоса с момент внезапного отключения электроэнергии. Простейшим способом решения этой проблемы является значительное уменьшение величины Δt , хотя это связано с резким ростом объёма и времени расчетов.

Таким образом, были выполнены расчеты, которые показывают, что фактическая величина A_z должна быть примерно в два раза больше чем та, что следует из (5). С учетом этого проведены соответствующие расчеты, результаты которых представлены на рисунке 4.

Из этих графиков видно, что правильно управляя задвижкой, установленной на линии нагнетания насоса, и зная её оптимальное гидравлическое сопротивление можно получить переходный процесс в напорном трубопроводе водоотливной установки при внезапном отключении насосного агрегата, удовлетворяющий требованиям правил безопасности, то есть защитить трубопровод от гидравлического удара.

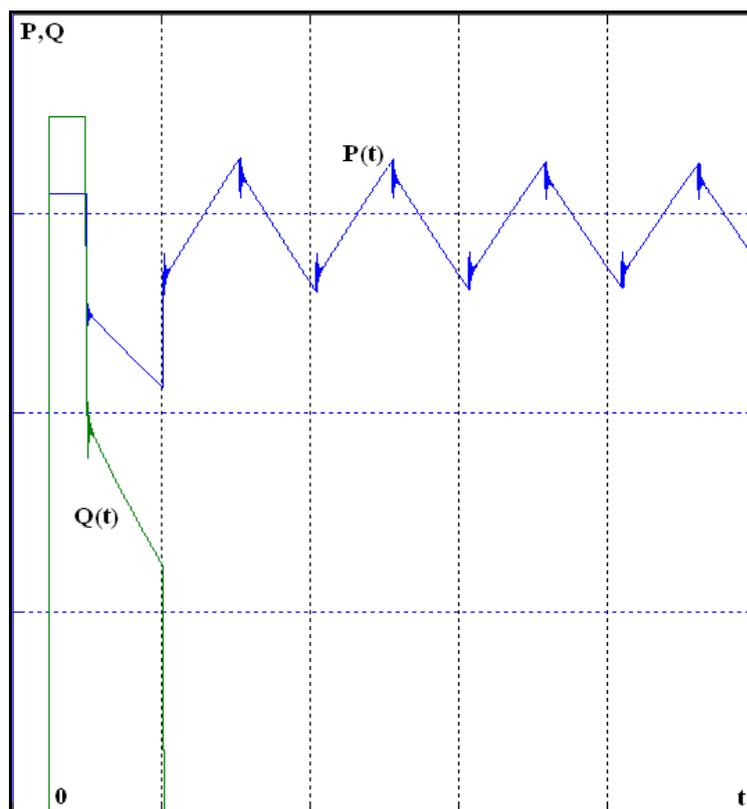


Рис. 4 - Графики изменения давления и расхода в водоотливной установке при внезапном отключении насосного агрегата при оптимальном сопротивлении задвижки на линии нагнетания в момент отключения.

Выводы и направления дальнейших исследований.

1. Задвижка с гидроприводом, установленная на линии нагнетания, может служить средством предотвращения гидравлических уда-

ров, возникающих при внезапном отключении насоса.

2. Существующие системы автоматизации работы водоотливных установок шахт могут быть дополнены элементами управления, работающими за счет энергии накопленной в гидропневмоаккумуляторе маслостанции, и способными закрыть задвижку в условиях отсутствия электроэнергии.

3. Дальнейшие исследования целесообразно провести в плане оценки влияния длительности процесса закрытия задвижки и нелинейного характера зависимости её гидравлического сопротивления от хода штока на качество переходного процесса. Заслуживает также внимания проблема синтеза дополнительной системы управления и изучение её динамических характеристик.

Список источников:

1. Алиев П.Н. Техника и технология обеспечения надежности и безопасности водоотливных комплексов закрывающихся шахт / П.Н. Алиев // Збірник наукових праць «Проблеми експлуатації обладнання шахтних стаціонарних установок». – 2007. – № 101.
2. Бержерон Л. От гидравлического удара в трубах до разряда в электрической сети / Л. Бержерон. – М.: Машгиз, 1962. – 348 с.
3. Абрамов А.П. Стационарные машины. Расчет водоотливных установок горнодобывающих предприятий: учеб. пособие / А.П. Абрамов, В.Л. Бизенков; ГУ КузГТУ.- Кемерово, 2003.- 143 с.
4. Оверко В.М. Защита от гидравлических ударов водоотливных установок с погружными насосами / В.М. Оверко, В.П. Овсянников, А.Ф. Папаяни // «Разработка рудных месторождений». Научно технический сборник. – 2006. – Вып. № 1 (90). – С 158-162.
5. Фокс Д.А. Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах / Д.А. Фокс. - М.: Энергоиздат, 1981. - 248 с, ил.

Стаття надійшла до редколегії 21.04.2011

Рецензент: зав. каф. «Енергомеханічні системи», д-р техн. наук, проф. М.Г. Бойко

В.М. Оверко. В.П. Овсянников. Управління динамічними процесами в трубопроводах високого тиску системою автоматизації шахтних водовідливних установок. Розглянута можливість змін в системах управління водовідливних установок з метою їх захисту від гідравлічних ударів.

водовідливна установка, гідравлічний удар, засувка з гідроприводом

V. Overko. V. Ovsyannikov. A management dynamic processes is in pipeline of high-pressure of automation system of mine pumping options. Possibility of changes is considered in control system of pumping options with the purpose of their protecting from hydraulic shots

pumping setting, water-hammer, bolt fluid-operated