

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

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ ВОДООТЛИВНЫХ УСТАНОВОК, ЗАЩИЩЕННЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ ДИОДАМИ

*Предложен критерий оптимальности управления гидродинамическими процессами в напорных трубопроводах. Определены оптимальные параметры гидравлических диодов для защиты трубопроводов водоотливных установок от гидравлических ударов.*

**водоотливная установка, гидравлический удар, оптимальность управления, гидравлический диод**

### *Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.*

Как известно, увеличивая обратное сопротивление напорного трубопровода насосной установки, можно достигнуть существенного снижения величины приращения давления при гидравлическом ударе (рисунок 1).

**Анализ исследований и публикаций.** Как показано в работах [1,2] реальное воплощение этой идеи связано с применением концентрированных сопротивлений в виде гидравлических диодов, описание которых дано в работах [3, 4].

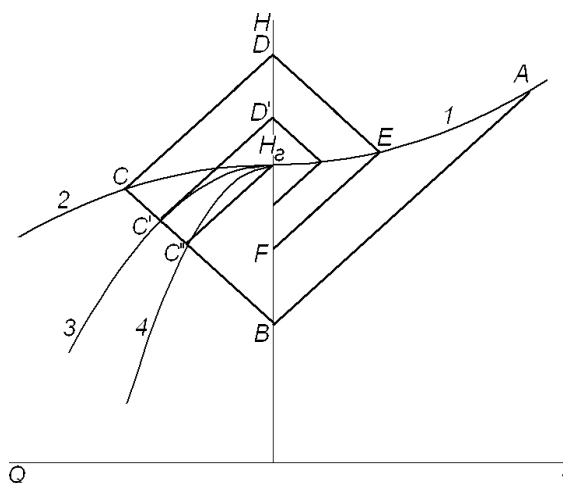


Рисунок 1. К выбору параметров гидравлического диода

**Постановка задачи.** Под гидравлическим диодом понимается устройство, имеющее разное гидравлическое сопротивление потоку при его движении в прямом и обратном направлениях. Оно устанавливается в напорном трубопроводе, причем для защиты шахтных водоотливных установок его монтаж должен осуществляться в стволе шахты. При использовании гидравлического диода для защиты напорного трубопровода водоотливной установки от гидравлических ударов необходимо найти оптимальное значение двух величин – обратное гидравлическое сопротивление диода или эквивалентный диаметр

отверстия в тарели обратного клапана и координату точки, в которой необходимо установить это устройство. В связи в этой конкретной задачей возникает общая проблема выбора критерия, которые характеризуют оптимальность работы устройств, предназначенных для управления гидродинамическими процессами в напорных трубопроводах, в частности, оптимизации параметров средств защиты от гидравлических ударов.

### ***Изложение материала и результаты.***

В Донецком национальном техническом университете в течении длительного времени ведутся работы по разработке способов и средств защиты напорных трубопроводов мощных насосных установок от гидравлических ударов [3]. Эту задачу можно рассматривать как составную, хотя и важную, часть общей проблемы создания средств управления гидродинамическими процессами в трубопроводных системах. Эти системы представляют собой объекты с распределенными параметрами, управление которыми осуществляется двумя основными способами:

во-первых, управление путем изменения распределенных вдоль длины трубопровода параметров, например изменением скорости распространения ударной волны  $c = \sqrt{\frac{E_{ж}}{\rho} \cdot \left(1 + \frac{d}{\delta} \frac{E_{жс}}{E_T}\right)^{-0.5}}$ , где:  $E_{ж}$  – модуль упругости воды;  $E_T$  – приведенный модуль упругости трубопровода;  $\rho$  – плотность жидкости;  $d$  – внутренний диаметр труб;  $\delta$  – толщина стенки трубы, эффект достигается за счет уменьшения  $E_T$ ;

во-вторых, управление путем точечного воздействия на поток жидкости в какой-либо точке трубопровода, то есть формирование управляющего граничного условия. К устройствам этого типа относятся гасители гидравлических ударов различных конструкций, гидропневмоаккумуляторы а также гидравлические диоды на базе специальных обратных клапанов и целый ряд подобных устройств.

***Целью работы*** является определение критерия оптимальности качества управления гидродинамическими процессами при точечном воздействии на поток жидкости в трубопроводе и выбор на этой основе параметров специальных обратных клапанов, предназначенных для защиты напорных трубопроводов шахтных водоотливных установок от гидравлических ударов.

Расчетная схема водоотливной установки (рисунок 2) включает: 1 - всасывающий трубопровод длиной  $l_0$ ; 2 - центробежный насос; 3 - обратный клапан на линии нагнетания насоса; 4 - первый участок

трубопровода длиной  $l_1$ ; 5 - гидравлический диод; 6 - второй участок трубопровода длиной  $l_2$ ; 7 - третий участок трубопровода длиной  $l_3$ ; 8 - четвертый участок трубопровода длиной  $l_4$ ; 9 - участок трубопровода на поверхности длиной  $l_5$ .

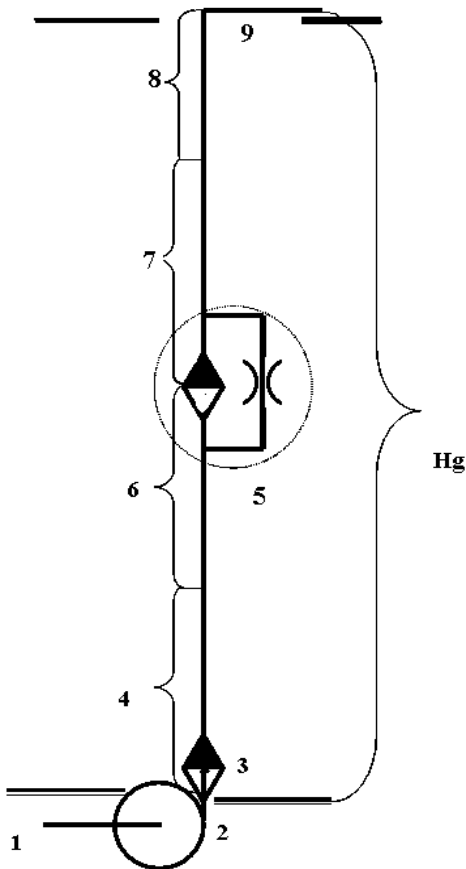


Рисунок 2. Расчетная схема водоотливной установки

Как правило, в качестве критерия выбора параметров устройств управления гидродинамическими процессами (например, гасителя гидравлического удара) используется условие:

$$\max \left( \frac{\bar{p}_{gas} p(t, x)}{p_p} \right) \leq 1.4, \quad (1)$$

где  $p(t, x)$  – давление в трубопроводе при переходном процессе за время  $t$  в точках с координатами  $x$ ;  $p_p$  – рабочее давление на которое рассчитана водоотливная установка;  $\bar{p}_{gas}$  - вектор параметров устройства управления гидродинамическими процессами. Этот критерий определяет необходимые, но не достаточные требо-

вания для выбора оптимальных параметров средств защиты трубопроводов от гидравлических ударов.

Это можно пояснить следующим образом. На рисунке 3 показаны два принципиально разных типа переходных процессов: рисунок 3 а - аperiodичный переходный процесс; 3 б - колебательный переходный процесс.

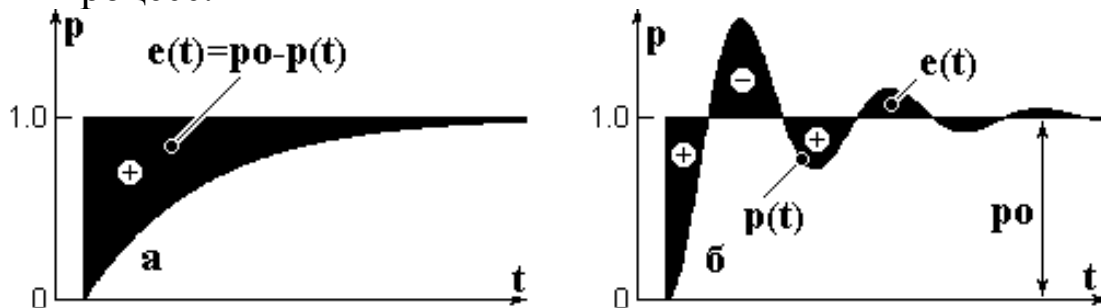


Рисунок 3. Аperiodичный и колебательный переходные процессы

Поскольку при гидравлическом ударе опасность представляет не только величина давления, но и динамические процессы, связан-

ные с изменением его величины, то при проектировании средств управления вектор параметров устройства  $\bar{p}_{gas}$  необходимо выбирать таким образом, чтобы характер переходных процессов в защищенном трубопроводе был близок к тому, что показан на рисунке 3а. А в качестве критерия степени колебательности с нашей точки зрения можно использовать величину которая определяется количеством изменения знака функции  $e(t)$ . Эту величину можно обозначить  $\Delta signe$ . Для того чтобы использовать критерий  $\Delta signe$  для определения оптимального вектора параметров  $\bar{p}_{gas}$  необходимо уточнить способ его вычисления для гидродинамических процессов в трубопроводе при использовании для расчета метода характеристик. Необходимо учесть, во-первых – то, что оптимизируется переходный процесс в системе с распределенными параметрами и функция  $e(t)$  зависит от двух параметров – времени  $t$  и координаты  $x$  направленной вдоль длины трубопровода то есть необходимо рассматривать функцию  $e(t, x)$ ; во-вторых – при моделировании гидродинамических процессов в трубопроводе методом характеристик величина шага по времени  $\Delta t$  связана с величиной шага вдоль длины трубопровода  $\Delta x$  соотношением:  $\Delta x = c\Delta t$ ,  $c$  - скорость распространения ударной волны в трубопроводе. Таким образом, количество точек, в которых определяется состояние потока жидкости и количество временных слоёв при расчете взаимосвязаны; третье – величина  $p_o$  определяется тем, что при оптимизации параметров устройств защиты водоотливных установок от гидравлических ударов конечное состояние потока жидкости - это состояние с нулевым расходом, при этом распределение давления определяется геометрическими размерами участков и их геометрической высотой.

Для расчетной схемы, показанной на рисунке 2  $p_o(x)$  определяется выражением:

$$p_o(x) = \begin{cases} \rho g(l_2 + l_3 + l_3) & \text{при } 0 \leq x \leq l_1 \\ \rho g((l_2 + l_3 + l_4) - x) & \text{при } l_1 \leq x \leq l_1 + l_2 + l_3 + l_4 \\ p_o(l_1 + l_2 + l_3 + l_4) - \rho g x & \text{при } l_1 + l_2 + l_3 + l_4 \leq x \leq l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 \end{cases}$$

Очевидно что:

$$e(t, x) = p(t, x) - p_o(x), \quad (2)$$

где  $p(t, x)$  изменение давления, которое определяется путем расчета гидравлического удара в напорном трубопроводе водоотливной уста-

новки методом характеристик [3].

Признак изменения знака функции  $e(t, x)$  при расчете гидравлического удара методом характеристик определяется следующим образом:

$$\mu(t, x) = \begin{cases} 1 & \text{если } e(t - \Delta t, x) \cdot e(t + \Delta t, x) < 0 \\ 0 & \text{если } e(t - \Delta t, x) \cdot e(t + \Delta t, x) \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

Можно показать что:

$$\Delta \text{signe} = \sum_{i=1}^{K_t} \sum_j^{K_x} \mu(i \cdot \Delta t, j \cdot \Delta x), \quad (4)$$

где  $K_x$ ,  $K_t$ , соответственно, количество участков, на которые разбивается трубопровод при расчете и количество временных слоёв на которые разбивается интервал времени в течении которого происходит гидравлический удар.

Однако можно заметить что выражение (2) является общим способом вычисления функции ошибок при определении степени колебательности динамического процесса в трубопроводе, которое не учитывает особенностей требования к качеству переходного процесса в напорном трубопроводе водоотливной установки. Например, участок на поверхности, как правило, не нуждается в защите от гидравлического удара, хотя изменения давления на этом участке формально может вносить значительный вклад при вычислении величины  $\Delta \text{signe}$  в соответствии с (2), (3), (4). Изменим выражение (2) таким образом, чтобы в нём можно было учесть дополнительные требования к характеристикам переходного процесса в трубопроводе водоотливной установки защищенной от гидравлического удара:

$$e(t, x) = (p(t, x) - p_o(x)) \cdot \lambda, \quad (2')$$

где  $\lambda$  - коэффициент принимающий два значения – 0 или 1 в зависимости от того удовлетворяют или нет характеристики переходных процессов в трубопроводе водоотливной установки защищенной от гидравлического удара дополнительным требованиям.

Если  $\lambda=0$  при  $x > l_1 + l_2 + l_3 + l_4$  и  $x < l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5$  то на искомый критерий колебательности не будут влиять особенности динамических процессов на участке трубопровода водоотливной установки на поверхности. Кроме того  $\lambda=0$  если  $p(t, x) < \rho g H_g$  то есть не учитывается влияние на искомый критерий колебательности той части динамического процесса при котором давления меньше чем давление созда-

ваемое за счет геометрической высоты водоотливной установки  $\rho g H_g$ . Точно таким же образом можно учесть и любые другие дополнительные требования к критерию оптимальности работы средств защиты от гидравлических ударов.

Применим полученный критерий оптимальности параметров средств защиты трубопровода от гидравлических ударов для определения характеристик гидравлического диода, предназначенного для защиты водоотлива шахты им. Челюскинцев ПО «Донецкуголь». В качестве вектора искомых параметров  $\bar{P}_{gas}$  необходимо использовать диаметр отверстия в тарелке обратного клапана на базе которого создаётся гидравлический диод  $D_o$  и координата точки установки этого клапана  $x_o$ . Результаты соответствующего расчета показаны на рисунке 4 а.

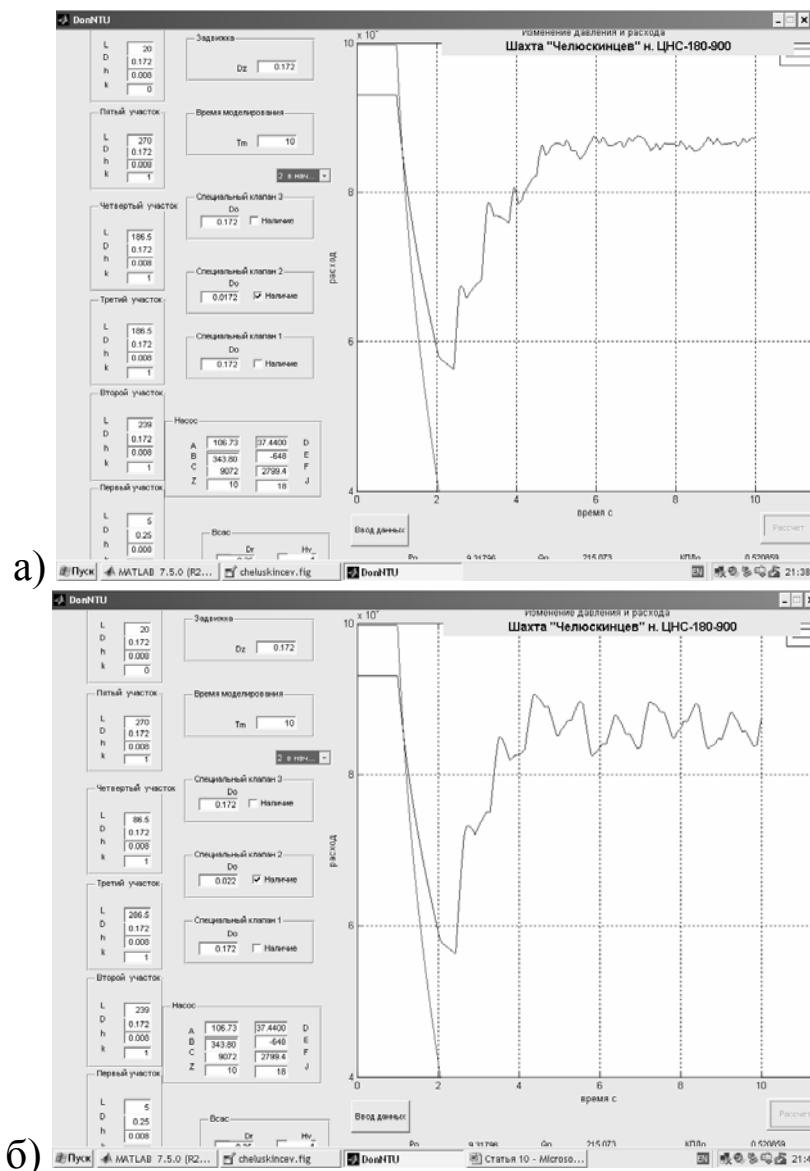


Рисунок 4. Динамические процессы в водоотливной установке шахты им. Челюскинцев

Как видно из приведенных на рисунке 4 а данных искомое оптимальное значение параметров соответственно равно  $D_0 = 0.017$  мм.,  $x_{0.} = (l_1 + l_2 + l_3 + l_4) / 2$  таким образом гидравлический диод целесообразно устанавливать в середине трубопровода (без учета участка трубопровода на поверхности), причем переходный процесс в этом случае носит аperiодической характер то есть  $\Delta \text{signe} = 0$ . На рисунке 4 б показаны результаты оптимизации только одного параметра -  $D_0$  в то время как второй параметр – координата точки установки гидравлического диода фиксирована. Такая ситуация создается в том случае когда требуется защитить действующую водоотливную установку максимально используя существующие выработки. Результаты оптимизации показаны на рисунке 4 б. В этом случае  $D_0 = 0,022$  мм., однако, обеспечить аperiодичность переходного процесса не удастся, хотя качество переходного процесса в защищённом трубопроводе остаётся удовлетворительны.

#### ***Выводы и направления дальнейших исследований.***

Таким образом, предложен критерий оптимальности при управлении гидродинамическими процессами в напорных трубопроводах. Доказана эффективность его использования при расчетах оптимальных параметров гидравлических диодов. Определены оптимальные параметры гидравлического диода для водоотлива шахты им. Челюскинцев, во-первых, в случае если место установки гидравлического диода не определено, во-вторых, в случае если это место заранее известно. В обоих случаях использование предложенного критерия оптимальности и способа его вычисления при использовании для расчета динамического процесса метода характеристик позволило доказать его эффективность.

Кроме того применение предложенного подхода для оптимизации параметров устройств для защиты от гидравлических ударов различных типов позволяет обосновано выбрать способ защиты и параметры соответствующего устройства.

#### Список источников:

1. А.с. №1183770 «Устройство для гашения гидравлического удара» / Тимошенко Г.М., Оверко В.М. и др-опубл. БИ № 37, 1985.
2. Оверко В.М. Овсянников В.П. Оптимизация параметров гасителей гидравлических ударов в шахтных гидросистемах / Разработка месторождения полезных ископаемых. Респ. межвед. науч.-техн. сб. Киев, Техника, 1986, вып. 75, с. 25-30
3. Защита от гидравлических ударов водоотливных установок с погружными насосами Оверко В.М., Овсянников В.П., Папаяни. О.Ф. /Разработка рудных месторождений науч. - техн. сб. Министерство образования и науки Украины. Криворожский технический университет. Кривой Рог 2006, вып №1 (90) с. 158-162.

4. Г.М. Тимошенко, В.П. Овсянников О возможности предотвращения гидравлических ударов в шахтных водоотливных установках с помощью специальных клапанов. Дел. в УКРНИИИТИ 21стр. 27.05.85 № 1132

***В.М.Оверко, В.П.Овсянников. Оптимізація параметрів гідродинамічних процесів в трубопроводах високого тиску водовідливних установок які захищенні гідравлічними діодами. Запропонований критерій оптимальності управління гідродинамічними процесами в трубопроводах високого тиску. Визначені оптимальні параметри гідравлічних діодів для захисту трубопроводів водовідливних установок від гідравлічних ударів.***

**водовідливна установка, гідравлічний удар, оптимальність управління, гідравлічний діод**

***V.M.Overko, V.P.Ovsyannikov. Optimization of parameters of hydrodynamic processes pipelines of high-pressure of pumping options which defense hydraulic diodes. The offered criterion of optimality of management hydrodynamic processes is in the pipelines of high-pressure. Certain optimal parameters of hydraulic diodes are for protecting of pipelines of pumping options from hydraulic shots.***

**the pumping setting, is a water-hammer, management optimality, hydraulic diode**

*Стаття надійшла до редколегії 10.09.2010*

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. Н.Г. Бойко*

© В.М. Оверко, В.П. Овсянников, 2010