

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

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВОДООТЛИВНЫХ УСТАНОВОК ШАХТ В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Определены оптимальные параметры струйных гидравлических диодов для защиты трубопроводов водоотливных установок от гидравлических ударов.

водоотливная установка, гидравлический удар, струйный гидравлический диод

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами. К настоящему времени не вызывает сомнения целесообразность применения так называемых гидравлических диодов для защиты оборудования шахтных водоотливных установок от опасных колебаний давления в переходных режимах [1]. Известно так же, что ремонтные работы в установках, где используются погружные насосы, а это, как правило, водоотливы закрытых шахт, стоят чрезвычайно дорого. Поэтому исследования, направленные на повышение надежности эксплуатации данных установок представляются актуальными и своевременными.

Анализ исследований и публикаций. Гидравлические диоды, (fluid diodes – по европейской и американской терминологии) предлагаемые для защиты трубопроводов водоотливных установок, например, [2] имеют подвижный элемент, который в определенной мере является слабым звеном, неисправность которого это единственная возможная причина выхода из строя такого диода. Очевидным приемом повышения надежности в этих условиях могли бы стать диоды, не содержащие подвижных элементов. По определению [3] – это струйные диоды, которые имеют «проточные элементы, не содержащие подвижных механических частей и отличающиеся тем, что при различных направлениях течения через них жидкости ее расход при одинаковой потере напора оказывается существенно различным». Подобные струйные диоды находят все более широкое применение в самых различных отраслях. Например, для тепловых насосов [4]. Вместе с тем, струйные диоды имеют заметное сопротивление потоку в прямом направлении и ограниченную величину диодности, под ко-

торой подразумевается отношение обратного гидравлического сопротивления к прямому.

Постановка задачи. Произвести качественный и, по возможности, количественный анализ целесообразности применения струйных диодов для защиты от гидравлического удара оборудования водоотливных установок.

Изложение материала и результаты. Так как диодность струйных диодов по литературным данным не превышает 43, необходимо оценить вначале общую возможность применения этих диодов в данных условиях. Предлагаемая схема монтажа диодов приведена в [1] и означает их равномерное расположение по длине напорного трубопровода. Следовательно, прямое сопротивление струйного диода оказывает влияние на параметры, как рабочего, то есть установившегося режима, так и переходного процесса.

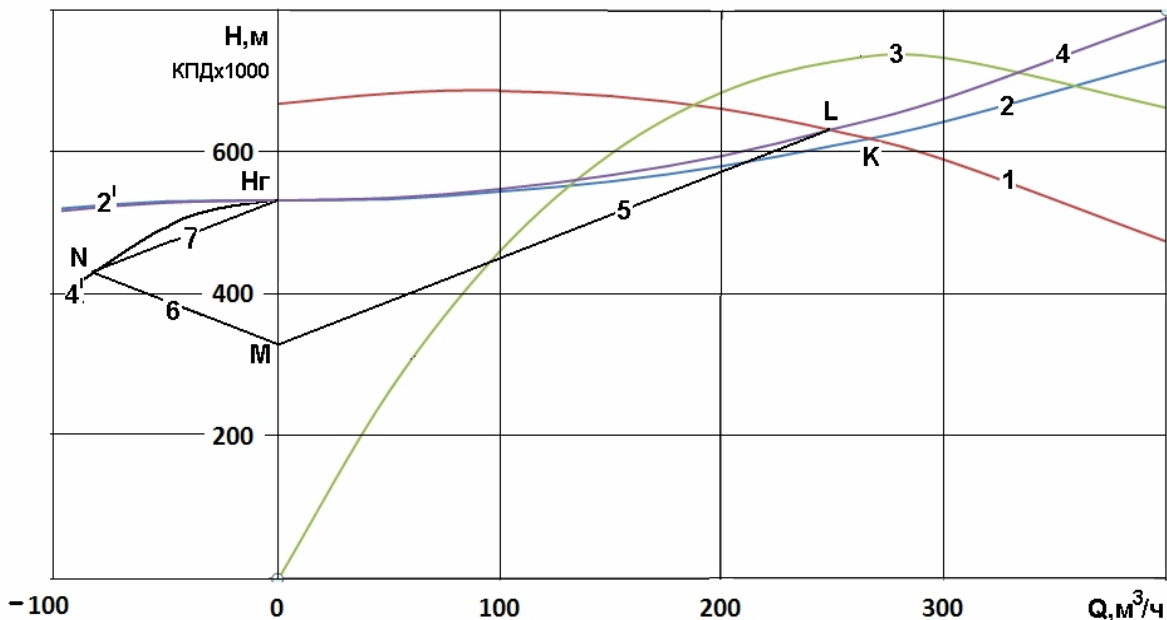


Рисунок 1 - К анализу различных режимов в водоотливной установке. Обозначения: 1 – напорная характеристика насоса, 2 - расходная характеристика сети при положительных расходах (2' - при отрицательных), 3 – характеристика КПД, 4 - расходная характеристика сети со струйными диодами при положительных расходах (4' - при отрицательных), 5,6,7 – волновые характеристики нагнетательной сети [5], H_{Γ} – геометрический напор.

Применительно к шахтным водоотливным установкам это значит, что рабочая подача насоса снижается: $Q_L < Q_K$, развиваемый напор растет $H_L > H_K$ (рисунок 1), при этом энергопотребление снижается. Здесь и далее принято: прописной буквой обозначен параметр (Q – подача или расход, H – напор, нижний индекс – обозначение

точки). Другие показатели, например, КПД или удельные энергозатраты однозначно не определяются.

Полагая, что параметры рабочего режима (точка L) известны, напор в точке M определим, воспользовавшись формулой Н.Е. Жуковского:

$$H_M = H_L - mQ_L. \quad (1)$$

Здесь $m = 4c/(g\pi d^2)$, где c – скорость распространения ударной волны, d – внутренний диаметр трубопровода.

Учитывая, что линии 5 и 7 параллельны, а углы LMH_Γ и NMH_Γ равны между собой, треугольник $H_\Gamma NM$ равнобедренный. Тогда

$$H_N = (H_\Gamma + H_M)/2, \quad (2)$$

$$Q_N = (H_M - H_N)/m. \quad (3)$$

Обозначим сопротивление напорного трубопровода a , диода в прямом направлении потока a_{np} и диодность струйного диода D . Тогда прямое сопротивление напорного трубопровода с диодом будет $a + a_{np}$ и обратное – $a + Da_{np}$.

С учетом уравнения кривой 4' требуемую диодность можно определить следующим образом:

$$D = \left(\frac{H_\Gamma - H_N}{Q_N^2} - a \right) \frac{1}{a_{np}}. \quad (4)$$

В качестве примера был проведен расчет гидравлического удара в напорном трубопроводе водоотливной установки со следующими характеристиками: насос ЦНС 300 – 600, $H_\Gamma = 532$ м, длина трубопровода 580 м, $d = 0,2$ м, толщина стенки трубы 10 мм. Для выполнения расчетов трубопровод разбиваем на 4 одинаковых участка [1]. В конце участков 1,2,3 устанавливаются гидравлические диоды, формирующие граничные условия, которые описываются системой уравнений вида:

$$\begin{aligned} p_{i+1}(0,t) &= p_i(L_i,t) - a_i^d(t) \cdot Q_i(L_i,t) \cdot |Q_i(L_i,t)|, \\ Q_i(L_i,t) &= Q_{i+1}(0,t) \end{aligned} \quad (5)$$

где $p_i(l_i,t)$, $Q_i(l_i,t)$ соответственно, давление и расход в точке l_i в момент времени t в пределах $i^{\text{го}}$ участка, $i=1,2,3$;

L_i – длина $i^{\text{го}}$ участка;

$a_i^d(t)$ – текущее гидравлическое сопротивление диода

$$a_i^d(t) = \begin{cases} a_{np} & \text{при } Q_i(0, t) \geq 0 \\ a_{np} \cdot D & \text{при } Q_i(0, t) < 0 \end{cases}$$

Рассмотрим динамические процессы в незащищенном трубопроводе (рисунок 2).

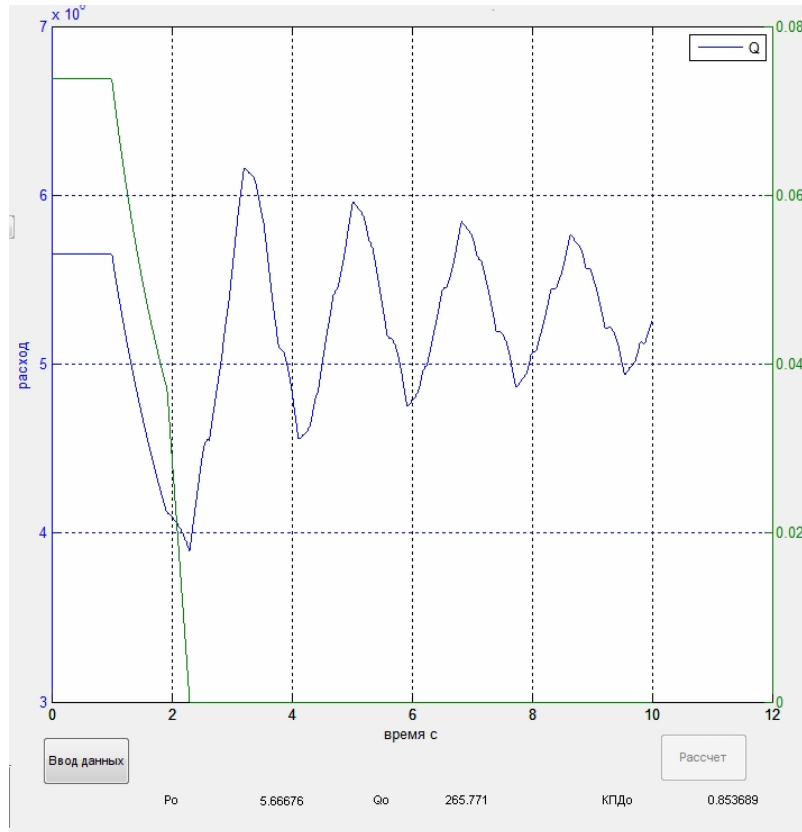


Рисунок 2 - Графики изменения давления и расхода в рассматриваемой водоотливной установке при внезапном отключении насосного агрегата

Из графиков, приведенных на рисунке 2, видно, что при внезапном отключении насоса происходит гидравлический удар, а значит, водоотливная установка нуждается в защите, которую можно осуществить гидравлическими диодами с достаточно низким уровнем диодности.

Используя формулы (1) – (4) был произведен расчет требуемой диодности гидравлических диодов для защиты рассматриваемой водоотливной установки при различных значениях их прямых сопротивлений, полученные результаты представлены на рисунке 3.

Оказывается, что при технически достижимой диодности, скажем 28, увеличение коэффициента прямого сопротивления ζ откачивающего трубопровода данной водоотливной установки до 90 не является решающим, так как удельные энергозатраты при этом возрастут всего на 2,7% (с 2,51 до 2,58 кВт.ч/м³).

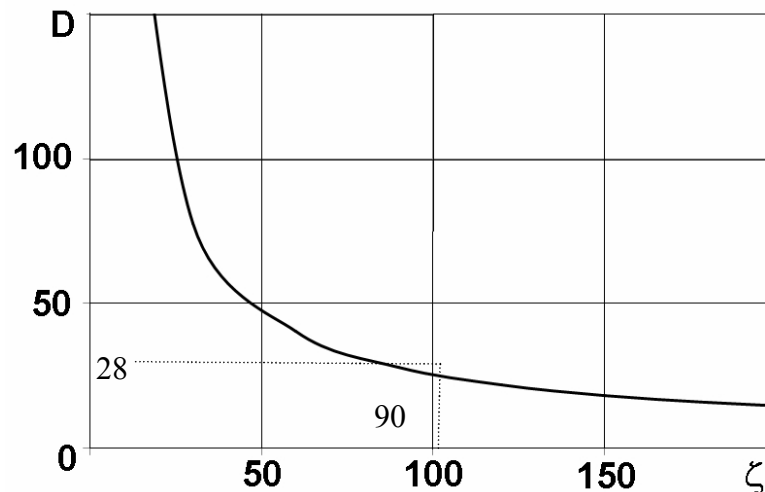


Рисунок 3 - График зависимости требуемой диодности от суммарного коэффициента прямого гидравлического сопротивления при не колебательном характере переходного процесса

Проверим, можно ли построить вихревой диод (см. рисунок 5) с коэффициентом прямого сопротивления ζ не превышающим 30 (90/3). Для этого воспользуемся методикой, приведенной в [3] для вихревого диода, схема которого представлена на рисунке 5

Данная диодность может быть достигнута при использовании лопастных ($D_{\text{макс.}} = 33$) или вихревых диодов. Теоретический же верхний предел диодности равен 220 [3].

$$\zeta = \zeta_{\text{вых}} + \zeta_{\text{рас}} + \zeta_{\text{вх}}$$

Здесь коэффициент выхода $\zeta_{\text{вых}}$ определяется по графику (см. [3] стр. 264).

Коэффициент расширения $\zeta_{\text{рас}}$ находится из выражения:

$$\zeta_{\text{рас}} = \frac{d}{16H} \left(\frac{1}{k\varepsilon} - \frac{d}{D_o} \right)^2 \quad \text{где } k - \text{коэффициент, зависящий от соотношения размеров камеры диода (его среднее значение равно 1,2),}$$

ε – коэффициент сжатия (определяется по формуле

$$\varepsilon = 0,1d/H + 0,05$$

$$\zeta_{\text{вх}} = \left[\eta \left(1 - \frac{b}{D_o} \right) - \frac{\alpha - 1}{3} \right] \left(\frac{\pi d^2}{4bH} \right)^2, \quad \text{где } \eta - \text{коэффициент, величина которого зависит от очертаний входа в камеру; } \alpha - \text{коэффициент кинетической энергии, } \alpha \approx 2 - \varepsilon.$$

того же значения, что и ε .

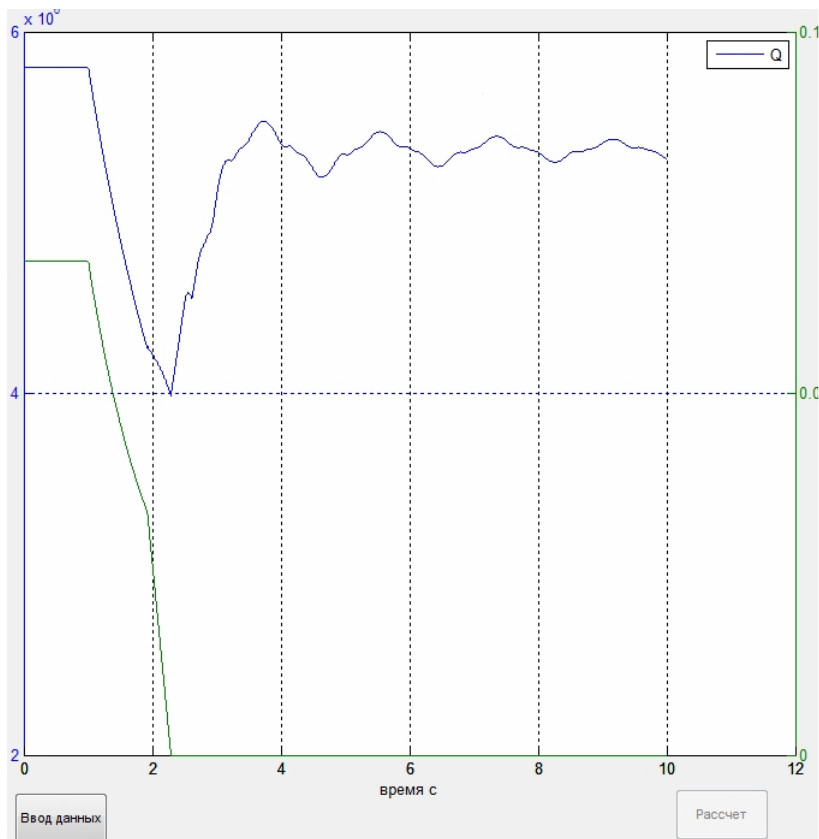


Рисунок 4 - Графіки змінення тиску та витрати в розглянутій захисній водоотливній установці при раптовому відключенні насосного агрегата ($\zeta=90/3$ з оптимальною діаметром 28)

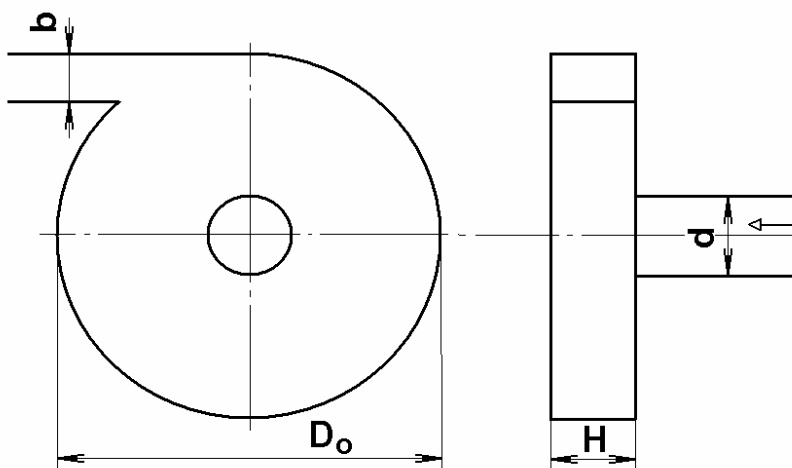


Рисунок 5 - Вихревий діод

Розрахунки, виконані за наведеними формулами показали, що величина коефіцієнта прямого гідравлічного опору струйного діода може бути значно нижче максимальної величини, наприклад, $\zeta \approx 5$. В [6] говориться, що пряме опір вихревого діода приблизно можна розглядати як суммарне опір двох колін на 90° , тобто, $\zeta \approx 4$.

Выводы и направления дальнейших исследований.

1. Струйные диоды могут быть применены для защиты водоотливной установки от гидравлических ударов. Небольшое увеличение энергозатрат компенсируется снижением объема ремонтных работ.

2. Лучше других для защиты водоотливных установок от гидравлических ударов подходят вихревые диоды.

3. Дальнейшие исследования целесообразно провести в плане экспериментальной проверки сначала практической достижимости теоретической диодности, затем – защитного эффекта на установке.

Список литературы

1. 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.
2. Зворотний клапан : патент 42008 / Оверко В.М., Терещенко Д.Г., Папаяні А.Ф. ; Бюл. № 12. - 2009.
3. Лебедев И.В. Элементы струйной автоматики / И.В.Лебедев, С.Л.Трескунов, В.С.Яковенко. - М.: «Машиностроение», 1973. - 360с.
4. 7043937 B2, USA patent. Fluid diode expansion device for heat pumps. Lifson A., Dobinler T.J., Taras M.F. May 16, 2006.
5. Бержерон Л. От гидравлического удара в трубах до разряда в электрической сети / Л. Бержерон. – М.: Машгиз, 1962. – 348 с.
6. VortexDiodeProfile. <http://www.nuvisioneng.com/uploads/VortexDiodeProfile.pdf>.

В.М. Оверко. В.П. Овсянников. Підвищення надійності водовідливної установки шахти в перехідних режимах роботи. Визначено оптимальні параметри струменевих гідравлічних діодів для захисту трубопроводів водовідливних установок від гідравлічних ударів.

водовідливна установка, гідравлічний удар, струменевий гідравлічний діод

V.M. Overko. V.P. Ovsyannikov. Improving the Reliability of the Dewatering Plant in Mines in Transient Condition. The optimum parameters of hydraulic jet diodes to protect the pipeline dewatering plants from water hammer are offered.
drainage installation, hydraulic shock, jet fluid diode

Стаття надійшла до редколегії 22.10.2010

Рецензент: зав. каф. ЕМС ДонНТУ, д-р техн. наук, проф. М.Г. Бойко

© Оверко В.М., Овсянников В.П., 2010