

**А. П. КОНОНЕНКО**, д-р техн. наук, проф., ДонНТУ, Донецк;  
**В. П. ОВСЯННИКОВ**, канд. техн. наук, доц., ДонНТУ, Донецк;  
**М. В. ОВЕРКО**, аспирант, ДонНТУ, Донецк

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГИДРОИМПУЛЬСАТОРОВ ИЗМЕНЕНИЕМ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УДАРНОГО ТРУБОПРОВОДА**

Предложено совершенствование рабочего процесса гидроимпульсатора путем изменения параметров ударного трубопровода с помощью струйного диода. Показана полученная эффективность графическим методом и методом численного моделирования в среде пакета MatLab. Представлена оценка полученных результатов и направления дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** гидроимпульсатор, вихревой диод, ударный трубопровод, импульс давления, аккумулятор, таранность.

**Введение.** Использование струйных диодов в элементах автоматического управления давно подтвердило их высокую эффективность. В последнее время крупномасштабные струйные диоды все чаще используются как исполнительные элементы в различных технологических схемах. Известно их применение в деривационных водоводах ГЭС, на атомных электростанциях, тепловых насосах, на гидросистемах для защиты от гидроударов и т. д. И во всех случаях они способствуют повышению эффективности процесса, увеличивают долговечность данной установки, ее надежность. Весьма многообещающим может оказаться использование струйных диодов, в частности, вихревого типа, на гидроимпульсаторах [1].

**Анализ последних исследований.** Гидроимпульсаторы находят свое применение в теплоэнергетике (для чистки рекуперативных теплообменных аппаратов) в угольной промышленности, особенно на крутопадающих пластах, в лесной промышленности. Исследования и разработки, выполненные Тимошенко Г.М., Лененко С.А., Коломийцем В.С., Войцеховским Б.В., Поляниным И. А. и др. [1 – 3], показали, что дальнейшее увеличение давления в импульсе, связанное с повышением таранности, приводит к необходимости увеличения объема гидропневмоаккумулятора, который в некотором смысле является звеном, определяющим габарит всей машины, что особенно важно в условиях маломощных пластов Донбасса.

Сказанное иллюстрируется графическим анализом [4] рабочего процесса гидроимпульсатора, представленным на рис. 1. Здесь фактором, определяющим объем аккумулятора, при прочих равных условиях, является величина отрицательного расхода (точка *b*). Очевидно, что с увеличением давления в импульсе (точка *a*) этот расход будет расти, что повлечет увеличение объема аккумулятора.

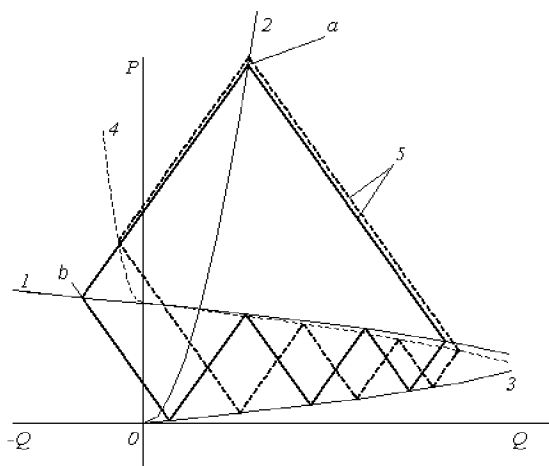


Рис. 1 – Графический анализ рабочего процесса: 1 – совместная расходная характеристика аккумулятора и ударного трубопровода; 2 – характеристика насадки; 3 – расходная характеристика сбросного отверстия; 4 – совместная расходная характеристика аккумулятора, ударного трубопровода и струйного диода; 5 – волновые характеристики ударного трубопровода.

Из изложенного вытекает цель проведенных исследований, которая заключается в совершенствовании рабочего процесса гидроимпульсатора путем изменения расходной характеристики ударного трубопровода для снижения величины отрицательного расхода.

**Постановка задачи.** При включении в состав ударного трубопровода струйного диода совместная гидравлическая характеристика ударного трубопровода и аккумулятора приобретает вид кривой 4. Графический метод исследований, который дает хорошую качественную оценку процесса, показывает, что в результате имеет место существенное снижение обратного расхода при сохранении или даже некотором повышении давления в импульсе. Давление, создаваемое гидроимпульсатором, является определяющим параметром, характеризующим работу машины в целом, и его снижение нежелательно. Графический метод анализа колебательных процессов, однако, не позволяет достаточно точно рассчитать рабочий процесс из-за ряда принимаемых при этом допущений, основным из которых считается концентрация распределенных по длине гидравлических сопротивлений в одной точке. Более надежно подтвердить правильность принятых решений можно, исследовав рабочий процесс численными методами. На данном этапе это и является задачей исследований.

**Математическая модель.** Рассмотрим ключевые моменты математической модели гидроимпульсатора с крупномасштабным струйным диодом в



Рис. 2 – Зависимость коэффициента обратного сопротивления диода от скорости воды.

определенной точке ударного трубопровода. Для моделирования динамических процессов в трубопроводах, которые сопровождаются гидравлическими ударами, как правило, используются уравнения, представленные, например, в [5], решение которых определяется на прямоугольной сетке характеристик. Набор соответствующих модулей в среде пакета MatLab рассмотрен в работе [6]. Для их использования при решении поставленной в настоящей работе задачи необходимо рассмотреть описание состояния потока жидкости в точке установки крупномасштабного струйного диода.

да.

Уравнение, связывающие изменение давления и расхода на прямой  $C_+$  и обратной  $C_-$  характеристиках имеет вид  $\pm dp + mdQ + nQ \cdot |Q| \cdot dx|_{C_{\pm}}^{C_{\pm}}$  [5]. После перехода от дифференциалов к конечным приращениям получим:

$$(p^L + p_1) + m(Q - Q_1) + n(Q - Q_1) \cdot |Q - Q_1| \cdot dx \Rightarrow C_+, \quad (1)$$

$$(p^P + p_2) - m(Q - Q_2) - n(Q - Q_2) \cdot |Q - Q_2| \cdot dx \Rightarrow C_-, \quad (2)$$

$$p^L = p^P + a_k(v(t)) \cdot Q \cdot |Q|, \quad (3)$$

где  $v(t) = Q/S$  – скорость течения жидкости через струйный диод;  $Q$  – расход в точке установки струйного диода;  $p^L$ ,  $p^P$  – давления слева и справа от точки установки струйного диода (если за направление отсчета принять направление течения жидкости в установившемся режиме работы);  $S$  – площадь поперечного сечения ударного трубопровода;  $m = \rho c/S$ ;  $\rho$  – плотность жидкости;  $c$  – скорость распространение ударной волны;  $a_k(v(t))$  – текущее гидравлическое сопротивление струйного диода, зависящее от скорости течения жидкости через диод,

$$a_k(v(t)) = \begin{cases} \rho \zeta_{np} / 2S^2, & \text{при } v(t) \geq 0 \\ \rho \zeta(v(t)) / 2S^2, & \text{при } v(t) < 0 \end{cases}. \quad (4)$$

Здесь  $\zeta_{np}$  – коэффициент местного сопротивления при положительном расходе,  $\zeta_{np} = 1$ . Текущее значение коэффициента гидравлического сопротивления  $\zeta(v(t))$  при  $v(t) > 0$  определяется по графику, показанному на рис. 2. При определении  $\zeta(v(t))$  применяется интерполяция (программа `interp1` из пакета MatLab).

Система уравнений (1) – (3) с учетом (4) решается *методом итераций*.

При этом нужно отметить, что величины  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$  – известны из начальных условий или результатов расчета в момент времени  $t - \Delta t$ , где  $t$  – текущий момент времени,  $\Delta t = c\Delta x$  [5],  $\Delta x$  – величина пространственного шага сетки характеристик, направленного вдоль ударного трубопровода.

На основании изложенного выше алгоритма и была построена *m-функция* в пакете MatLab, что совместно с представленными в [6] модулями позволило рассчитать рабочие процессы в гидроимпульсаторе с вихревым диодом.

**Результат работы программы.** На рис. 3 для визуального сравнения представлены графики рабочего процесса гидроимпульсатора со струйным диодом и гидроимпульсатора, выполненного по традиционной схеме, рассчитанные с помощью описанной программы.

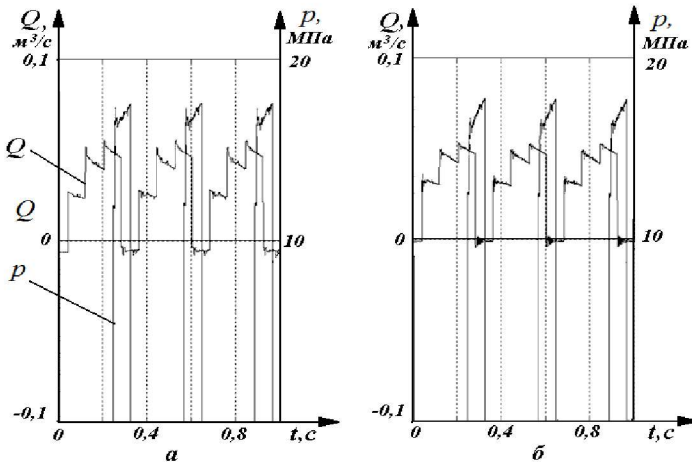


Рис. 3 – Изменения давления  $p$  перед насадком и расхода  $Q$  на выходе из аккумулятора для гидроимпульсатора: а – традиционной схемы; б – со струйным диодом на ударном трубопроводе.

Расчеты проведены для гидроимпульсатора, имеющего длину ударного трубопровода 40 м, внутренний диаметр 75 мм и диаметр насадка 20 мм. Как видно из графиков, применение данного струйного диода позволяет снизить отрицательный расход примерно в 5 раз и, по крайней мере, сохранить максимальное давление в импульсе. Форма импульса высокого давления (рабочего импульса) изменилась в сторону некоторого снижения начального фронта, что можно считать отрицательным моментом, связанным, повидимому, с определенным увеличением прямого сопротивления комплекса ударного трубопровода и струйного диода.

**Перспективы дальнейших исследований.** Выполненные исследования базировались на случайных, в известной степени, параметрах гидроимпульсатора и струйного вихревого диода и носили в первую очередь ка-

чественный характер. Сам вихревой диод проектировался как средство защиты от гидравлических ударов. Авторы считают перспективными направления исследования, связанных с созданием такого диода, чтобы он в системе гидроимпульсатора позволял не только снижать объем аккумулятора, но и существенно повышать энергию импульса высокого давления. Здесь стоит в первую очередь обратить внимание на снижение прямого сопротивления вихревого диода. Другим важным направлением будет совершенствование динамических свойств струйного диода, которые не учитывались в настоящей работе.

**Выводы.** Таким образом, в данной работе создан алгоритм расчета рабочего процесса гидроимпульсатора с вихревым диодом на ударном трубопроводе, который подтвердил эффективность его применения для уменьшения объема гидропневмоаккумулятора и некоторого повышения максимального давления в рабочем импульсе.

Так же проведенные исследования позволили выявить определенные проблемы, которые следует решить до стадии практического применения.

**Список литературы:** 1. *Лененко С.А., Оперчук В.Н., Баев Л.Ф.* Графоаналитический метод расчета параметров гидроимпульсатора при таранных режимах // Разработка месторождений полезных ископаемых. Республиканский межведомственный научно-технический сборник – 1979. – № 52 – С. 60 – 65. 2. *Тимошенко Г.М., Зима П.Ф., Лененко С.А.* Энергетические характеристики системы гидроимпульсатор – гидроударник – насадка // Разработка месторождений полезных ископаемых. Республиканский межведомственный научно-технический сборник – 1979. – № 52 – С. 79 – 85. 3. *Полянин И.А.* Очистка пней древесины импульсными гидравлическими струями // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2006. – № 91. С. 8. 4. *Бержерон Л.* От гидравлического удара в трубах до разряда в электрической сети. – М.: Машгиз, 1962. – 348 с. 5. *Фокс Д.* Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах. – М.: Энергоиздат, 1981. – 247 с. 6. *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.

*Поступила в редколлегию 18.02.2013*

---

УДК 622.271.3: 532.517.6

**Совершенствование гидроимпульсаторов гидравлических параметров ударного трубопровода / А. П. Кононенко, В. П. Овсянников, М. В. Оверко // Вісник НТУ «ХП».** Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХП», 2013. – №5 (979). – С. 119-123. Бібліогр.: 6 назв.

Запропоновано вдосконалення робочого процесу гідроімпульсатора шляхом зміни параметрів ударного трубопроводу за допомогою струмінного діода. Показано отриману ефективність графічним методом і методом чисельного моделювання в середовищі пакета MatLab. Представлено оцінку отриманих результатів і напрямки подальших досліджень.

**Ключові слова:** гідроімпульсатор, вихровий діод, ударний трубопровід, імпульс тиску, акумулятор, таранність.

Perfection of working process of the hydraulic impulsator by change of parameters of the shock pipeline by means of the jet diode is offered. The received efficiency by a graphic method and a method of numerical modelling in the environment of package MatLab is shown. The estimation of the received results and a direction of the further researches is presented.

**Key words:** hydraulic impulsator, diode vortex, shock pipeline, pressure impulse, accumulator.