

Подобие струеформирующих устройств генератора импульсов

Бойко Н.Г., Коломиец В.С., Малеев В.Б., Зуйков А.Л.

Донецкий национальный технический университет

Источник: Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Гірнично-електромеханічна», випуск 12 (113). Донецьк: ДонНТУ 2006, - с 119-122.

Рассмотрены определяющие факторы, влияющие на эффективность гидроотбойки импульсными струями, и получены, с помощью теории размерностей, критерии подобия струеформирующих стволов.

Determinatives influencing on efficiency of hydrodestruction by impulsive streams are considered, and got, by the theory of dimension, criteria of similarity of the stream of forming trunks.

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами. История развития гидравлической добычи угля на шахтах Украины и стран ближнего и дальнего зарубежья берет свое начало с 30 - х годов прошлого столетия [1]. За этот период времени было отмечено, что применение жидкостной струи импульсного характера позволяет значительно снизить влажность разрушаемой горной массы до 9 % [2], что вполне приемлемо для действующих угольных шахт Украины. Кроме того, применение импульсной струи в качестве органа разрушения позволяет добиться повышения эффективной дальности струи и производительности гидроотбойки в 1,6 - 1,8 и 1,5 - 2,5 раза соответственно в сравнении со стационарной тех же параметров, а также обеспечить эффективное пылеподавление и высокую безопасность работ, что является одним из основных требований при разработке современного горного оборудования.

При этом одним из определяющих факторов, влияющим на показатели гидроотбойки угля импульсными струями является достаточно качественное их формирование в проточном канале ствола. Последнее возможно, как за счет выбора оптимальных конструктивных параметров, струеформирования, так и за счет гидродинамических свойств рабочей жидкости. Достаточно точное их установление возможно посредством экспериментальных исследований проводимых на моделях стволов с изменением гидродинамических свойств рабочей жидкости. Однако это связано с рядом

трудностей, одна из которых состоит в большом объеме экспериментального материала.

Поэтому с целью решения поставленной задачи, а также для установления зоны более широкого применения результатов исследований, проводимых в различных направлениях струеформирования, и возможности распространения их на весь класс используемых на практике стволов, необходимо определить их критерии подобия.

Анализ исследований и публикаций. До настоящего времени вопросу изучения критериального подобия струеформирующих стволов не было уделено должного внимания. Поэтому разрешение его на данном этапе развития гидроимпульсной техники является весьма актуальным.

Постановка задачи. Согласно проведенным исследованиям известно, что важнейшим параметром, определяющим эффективность гидроотбойки гидроимпульсными струями, является амплитуда всплеска давления в импульсе p_n [3]. Поэтому это значение должно использоваться в качестве параметра для сравнения различных режимов струеформирования. В соответствии с π – теоремой [4] число независимых критериев равно $N-k$, где N - число фундаментальных переменных, описывающих процесс; k - число основных единиц, используемых для выражения размерностей фундаментальных переменных.

Рассмотренная рядом работ [2, 3, 5] сущность протекающих процессов в струеформирующих устройствах свидетельствует, что амплитуда всплеска давления перед насадком p_n является функцией давления при стационарном истечении p_0 внутреннего диаметра $d_{\text{ств}}$ и длины $L_{\text{ств}}$ ствола, диаметра насадка $d_{\text{нас}}$, скорости распространения ударной волны c , плотности ρ и вязкости μ рабочей жидкости, а также потерь давления в запорном устройстве проточной части клапана Δp_n .

При заданных значениях p_0 и $d_{\text{нас}}$ легко определить расход Q_0 при стационарном истечении. Это позволяет вместо диаметра $d_{\text{нас}}$ в число факторов включить расход Q_0 . Таким образом, процесс в рассматриваемом струеформирующем устройстве можно описать девятью фундаментальными переменными $p_n, p_0, L_{\text{ств}}, d_{\text{ств}}, Q_0, c, \rho, \mu, \Delta p_n$.

При выражении их размерностей основными единицами: масса M_0 время T и длина L получим число независимых критериев подобия $N-k=9-3=6$.

Изложение материала и результаты. Так как между критериями и фундаментальными переменными существует связь, то можем записать:

$$\Pi_1 \cdot \Pi_2 \cdot \Pi_3 \cdot \Pi_4 \cdot \Pi_5 \cdot \Pi_6 = p_n^f \cdot p_0^h \cdot \Delta p_n^r \cdot L_{\text{см}}^s \cdot d_{\text{см}}^u \cdot Q_0^v \cdot c^x \cdot \rho^y \cdot \mu^z, \quad (1)$$

где $\Pi_1 \dots \Pi_6$ - критерии подобия;

$f, h, r, s, u, v, x, y, z$ - показатели степени фундаментальных переменных.

Подставив в выражение (1) вместо переменных их размерности получим:

$$M^0 L^0 T^0 = (ML^{-1}T^{-2})^f \cdot (ML^{-1}T^2)^h \cdot (ML^{-1}T^2)^r \cdot L^s \cdot L^u \cdot (L^3T^{-1})^v \cdot (LT^{-1})^x \cdot (ML^{-3})^y \cdot (ML^{-1}T^1)^z.$$

Эта зависимость выполняется при условиях:

$$\text{для } M: \quad 0 = f + h + r + y + z, \quad (2)$$

$$\text{для } T: \quad 0 = -2f - 2h - 2r - v - x - z, \quad (3)$$

$$\text{для } L: \quad 0 = -f - h - r + s + u + 3v + x - 3y - z \quad (4)$$

Уравнения (2) – (4) имеют девять переменных. Выразив переменные h, u, x через остальные f, r, s, v, y, z , получим:

$$\text{из зависимости (2): } h = -f - r - y - z \quad (5)$$

$$\text{из зависимостей (3) и (5): } x = 2y + z - v \quad (6)$$

Совместное решение уравнений (4), (5) и (6) относительно показателя степени u , позволяет установить, что

$$u = -2v - s - z \quad (7)$$

Подставив в выражение (1) соответствующие показатели степеней

$$\Pi_1 \cdot \Pi_2 \cdot \Pi_3 \cdot \Pi_4 \cdot \Pi_5 \cdot \Pi_6 = p_n^f \cdot p_0^{-f-r-y-z} \cdot \Delta p_n^r \cdot L_{\text{см}}^s \cdot d_{\text{см}}^{-2v-s-z} \cdot Q_0^v \cdot c^{2y+z-v} \cdot \rho^y \cdot \mu^z$$

объединив в комплексы переменные с одинаковыми показателями степеней, получим: $\Pi_1^* \Pi_2^* \Pi_3^* \Pi_4^* \Pi_5^* \Pi_6^* =$

$$\left(\frac{p_n}{p_0}\right)^f \cdot \left(\frac{\Delta p_n}{p_0}\right)^r \cdot \left(\frac{L_{\text{стг}}}{d_{\text{стг}}}\right)^z \cdot \left(\frac{Q_0}{c \cdot d_{\text{стг}}^2}\right)^v \cdot \left(\frac{\rho \cdot c^2}{p_0}\right)^x \cdot \left(\frac{\mu \cdot c}{p_0 \cdot d_{\text{стг}}}\right)^z$$

Устанавливаем, что критериями подобия для струеформирующих устройств являются:

$$\Pi_1 = \frac{p_n}{p_0}; \quad \Pi_2 = \frac{\Delta p_n}{p_0}; \quad \Pi_3 = \frac{L_{\text{стг}}}{p_{\text{стг}}};$$

$$\Pi_4 = \frac{Q_0}{c \cdot d_{\text{стг}}^2}; \quad \Pi_5 = \frac{\rho \cdot c^2}{p_0}; \quad \Pi_6 = \frac{\mu \cdot c}{p_0 \cdot d_{\text{стг}}}.$$

Из теории подобия [4] следует, что произведение, частное и т. п. двух или нескольких критериев, также является критерием подобия. На основании этого найдем критерий:

$$\Pi_7 = \Pi_4 \cdot \Pi_5 = \frac{Q_0}{c \cdot d_{\text{стг}}^2} \cdot \frac{\rho \cdot c^2}{p_0} = \frac{\rho \cdot c \cdot Q_0}{p_0 \cdot d_{\text{стг}}^2} = m$$

$$\Pi_8 = \frac{\sqrt{\Pi_5}}{\Pi_6} = \frac{\rho^{0,5} \cdot c \cdot p_0 \cdot d_{\text{стг}}}{p_0^{0,5} \cdot \mu \cdot c} = \frac{d_{\text{стг}} \cdot \sqrt{p_0 / \rho}}{\mu / \rho} = Re$$

Это позволяет вместо критерия Π_4 использовать m - критерий струеформирующего ствола, а вместо Π_5 - число Рейнольдса.

Кроме того, обозначив критерии Π_1 и Π_2 как безразмерный параметр всплеска давления в импульсе qn и безразмерное сопротивление проточной части ствола, соответственно, устанавливаем, что процесс в рассматриваемом объекте в критериальном виде описывается уравнением:

$$f\left(q_n, n, \frac{L_{\text{стг}}}{d_{\text{стг}}}, m, \frac{\rho \cdot c^2}{p_0}, Re\right) = 0$$

Необходимо иметь в виду, что рабочий процесс генератора импульсов осуществляется при режимах движения потоков, подчиняющихся автомодельной зоне. Поэтому, при решении задач подобия, удовлетворение условия $Re = idem$ является необязательным. Кроме того, при моделировании струеформирующих стволов, где рабочей жидкостью является вода, плотность ρ и скорость ударной волны c являются известными.

Следовательно, соблюдение условия равенства критерия $\frac{\rho \cdot c^2}{p_0}$ сводится к равенству по давлению p_0 .

Выводы. Установленные, с помощью теории размерностей, критерии подобия струеформирующих стволов, позволяют достаточно точно и всесторонне описать весь класс их конструкций используемых на практике. Полученный результат позволяет определить область исследований струеформирования, при этом значительно сократив объём экспериментального материала.

Литература

Мучник В. С, Голланд Э. Б., Маркус М. Н. Подземная гидравлическая добыча угля. - М.: Недра, 1986. - 223 с.

Тимошенко Г.М., Бугрик В.А. Гидроимпульсная отбойка - перспективный способ выемки угля на шахтах с обычной технологией // Уголь Украины. 1986, № 6. - с. 13-14.

Тимошенко В. Г., Кравец В. Г. Пульсирующий гидромонитор с импульсным повышением давления // Уголь Украины. - 1985. — № 5. - С. 24-25.

Тимошенко Г.М., Зима П.Ф. Теория инженерного эксперимента: Учеб. пособие - К.: УМК ВО, 1991. -124 с.

Адамов В. Г. Создание и выбор рациональных параметров импульсных гидромониторов с ударным трубопроводам: Дис... канд. техн. наук.: 05.05.06. -Донецк, 1989. - 273