

УДК 622.516.001.5

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СВЯЗИ КРИТЕРИЕВ ПОДОБИЯ ГИДРОЭЛЕВАТОРОВ С РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ

Яковлев В.М., к.т.н., доц., Холоша А.С., асс.
Донецкий национальный технический университет

В работе получены критерии подобия и экспериментально установлена связь между ними для гидроэлеваторов с различной геометрией проточной части

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами
Водосторуйные насосы – гидроэлеваторы находят широкое применение во многих отраслях промышленности, в том числе и угольной, где они используются для вспомогательного водоотлива и очистки водоотливных емкостей от оседающего твердого материала.

Разнообразие условий эксплуатации гидроэлеваторов зачастую существенно затрудняют расчеты по определению их геометрических и режимных параметров. Необходимо также отметить, что до настоящего времени нет общепринятой методики расчета водоструйных насосов. Поэтому моделирование и использование критериев подобия позволит существенно расширить границы применения экспериментального материала для расчета натуральных образцов гидроэлеваторов, упростит и повысит надежность расчетов.

Анализ исследований и публикаций Исследованию гидроэлеваторов посвящено множество работ [1, 2, 3, 4]. В этих работах авторами уделено внимание выявлению и анализу критериев подобия. В первую очередь это относится к геометрическому подобию и критерию Рейнольдса. Однако, режимы течения потоков жидкости в проточной части гидроэлеваторов обычно находятся в автомодельности, когда число Рейнольдса не является определяющим критерием.

Постановка задачи На основании анализа исследований вытекает следующая основная задача:

- На основании теории размерностей выявить критерии подобия и, используя экспериментальный материал, установить связь между ними.

Изложение материала Составляющие основу моделирования критерии подобия определяются либо из условия тождественных

уравнений, описывающих процессы, либо из анализа размерностей. Высокая степень турбулентности потоков и неопределенность влияния отдельных элементов проточной части на данном этапе наших знаний не представляют возможность описать процесс в гидроэлеваторе дифференциальным уравнением. Поэтому определение критериев подобия проводим на основе теории размерностей.

Зависимость между независимыми параметрами, характеризующими рабочий режим и геометрические размеры гидроэлеватора, выражаются общим функциональным уравнением:

$$f(P_2; V_1; V_2; w_n; w_k; \mu; \rho) \tag{1}$$

где P_2 - полное, с учетом гидродинамического, давление, создаваемое гидроэлеватором;

$V_1; V_2$ - скорости, соответственно, рабочего и транспортируемого потоков на входе в камеру смешения;

$w_n; w_k$ - площади сечений насадка и камеры;

μ - вязкость рабочей и транспортируемой жидкости;

ρ - плотность жидкостей.

Уравнение (1) написано для случая, когда рабочая и транспортируемая жидкости имеют одинаковые плотность и вязкость.

При анализе предполагается, в первую очередь, соблюдение геометрического подобия модели и натуре. Поэтому в уравнение не вошли параметры, выражающие геометрическое подобие, а именно соотношение площадей сечений камеры смешения и насадка, относительная длина камеры смешения и ее относительная шероховатость.

Независимые переменные величины принимаем для анализа из условия неравенства нулю определителя матрицы, составленной из их размерностей. Для нашего случая принимаем V_1 ($l^1 m^0 t^{-1}$), w ($l^2 m^0 t^0$), ρ ($l^3 m^{-1} t^0$). Определитель матрицы:

$$\Delta = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & 0 \\ -3 & 1 & 0 \end{bmatrix} = -2 \tag{2}$$

Определив по π -теореме безразмерные комплексы, запишем критериальное уравнение процесса:

$$f\left(\frac{P_2}{\rho V_1^2}; \frac{w_k}{w_n}; \frac{V_2}{V_1}; \frac{\mu}{V_1 \rho w_n^{0.5}}\right) = 0 \tag{3}$$

Первый безразмерный комплекс является критерием Эйлера, выражающим гидродинамическое подобие процессов. Скорость струи рабочей жидкости определяется по формуле

$$V_1 = \varphi_n \sqrt{\frac{2(P_1 - P_k)}{\rho}} \quad (4)$$

где $\varphi_n = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_n}}$ - коэффициент скорости;

ζ_n - коэффициент сопротивления насадка;

P_1 - полное, с учетом гидродинамического, давление в потоке рабочей жидкости перед насадком;

P_k - давление в потоке на входе в камеру смешения.

Используя уравнение (4) и выражая давление перед насадком через полный напор потока рабочей жидкости в этом сечении, а давление через полный напор, сообщаемый потоку транспортируемой жидкости, получим:

$$\frac{P_2}{\rho V_1^2} = \frac{H_2}{2\varphi_n^2 H_1 (1 - \kappa')} = \frac{\kappa}{2\varphi_n^2 (1 - \kappa')} \quad (5)$$

где H_1 - полный напор потока рабочей жидкости перед насадком;

H_2 - полный напор, сообщаемый в гидроэлеваторе потоку транспортируемой жидкости;

$\kappa = \frac{H_2}{H_1}$ - коэффициент напора гидроэлеватора;

$\kappa' = \frac{P_k}{P_1}$ - относительное давление в начале камеры смешения.

Комплекс $\frac{w_k}{w_n}$ представляет собой отношение площадей сечений камеры смешения и насадка и выражает основное условие геометрического подобия гидроэлеваторов. Этот параметр называется модулем гидроэлеватора и обозначается m .

Безразмерный комплекс $\frac{V_2}{V_1}$ является выражением кинематического подобия потоков на входе в камеру смешения. Соотношение скоростей рабочего и транспортируемого потоков определяет процесс их перемешивания в камере, а завершенность смешения потоков

влияет на потери в диффузоре. Поэтому следует ожидать, что этот критерий является одним из важнейших в оценке процессов, происходящих в гидроэлеваторе. Он может быть выражен следующим образом:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{4Q_2\pi d_n^2}{4Q_1\pi(d_k^2 - d_n^2)} = \frac{\beta}{m-1} \quad (6)$$

где Q_2 – подача гидроэлеватора;

Q_1 – расход рабочей жидкости;

$\beta = \frac{Q_2}{Q_1}$ – коэффициент подачи.

Представленный в таком виде критерий имеет вполне определенный физический смысл – это коэффициент подачи, приходящийся на единицу относительной площади (отношение площади кольцевого сечения транспортируемого потока на входе в камеру смешения к площади сечения насадка). Обозначим:

$$\bar{\beta} = \frac{\beta}{m-1} \quad (7)$$

При круглом сечении насадка параметр $\frac{\mu}{V_1 \rho w_n^{0.5}}$ можно предста-

вить в виде $\frac{V_1 d_n \sqrt{\frac{\pi}{4}}}{\nu}$, где ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости. В таком представлении комплекс является критерием Рейнольдса и выражает гидродинамическое подобие потоков рабочей жидкости на срезе насадка.

Критериальное уравнение процесса примет вид:

$$f\left(\frac{\kappa}{2\varphi_n^2(1-\kappa')}; m; \bar{\beta}; Re_n\right) = 0 \quad (8)$$

Используя свойство безразмерных комплексов (возможность их перемножения, деления, возведения в степень), можно получить достаточно большое их число. В нашем случае интерес представляет произведение первого и второго безразмерных комплексов:

$$\bar{\kappa} = \frac{m\kappa}{2\varphi_n^2(1-\kappa')} \quad (9)$$

Комплекс показує, що напор гідрозеліватора во стільки раз менше напора перед насадком, во стільки площа сечення камери сміщення більше сечення насадка.

Таким образом критериальное уравнение примет вид:

$$f(\bar{\kappa}; \bar{\beta}; Re_n) = 0 \quad (10)$$

Связь между полученными безразмерными комплексами была установлена по экспериментальным данным. Для этого исследовались односопловые гидроэлеваторы с квадратной и круглой камерами смещения и многосопловые гидроэлеваторы. Модули гидроэлеваторов изменялись от 3 до 14,8. Значение числа Рейнольдса, подсчитанного для струй рабочей воды, изменялось в эксперименте в пределах $2,5 \cdot 10^5 \leq Re \leq 6,2 \cdot 10^5$.

Обработка экспериментальных данных позволила установить функциональную связь критериев (рисунок 1):

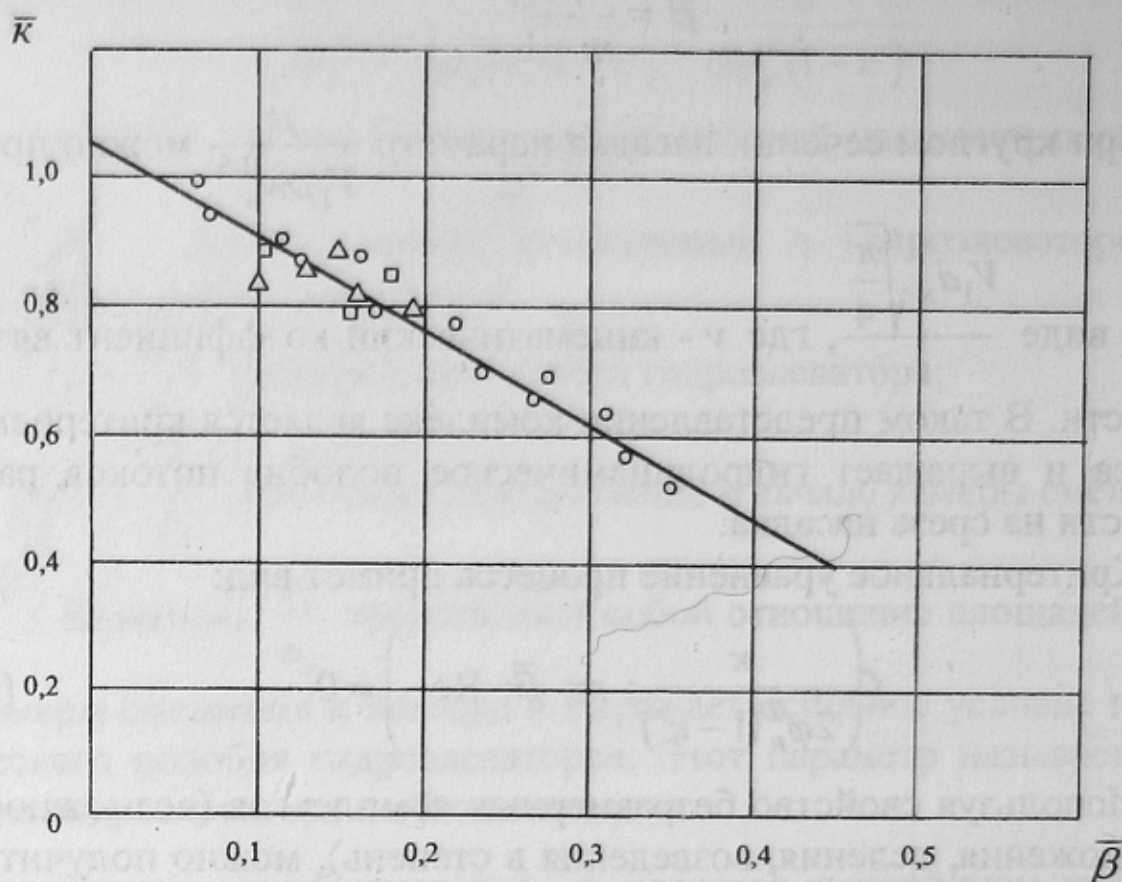


Рисунок 1 – Результати експериментальних досліджень гідрозеліваторов:

- - с круглой камерой смещения;
- - с квадратной камерой смещения
- △ - многосоплового

$$\bar{\kappa} = 1,06 - 1,46\bar{\beta} \quad (11)$$

Исследования подтвердили, что с увеличением числа Рейнольдса, в указанных пределах имеет место незначительное снижение эффективности работы гидроэлеватора [3].

Выводы: Установленная функциональная связь критериев подобия, характеризующих относительные геометрические размеры и безразмерные режимные параметры, представляет собой универсальную характеристику и справедлива для гидроэлеваторов любой конфигурации проточной части, выполненных в соответствии с требованиями к снижению потерь напора (т.е. имеющими конфузур, диффузор и т.д.).

Список источников:

1. Каменев П.Н. Гидроэлеватор и другие струйные аппараты. М.:Стройиздат, 1964 г., 346 с.
2. Фридман Б.Э. Гидроэлеваторы. М.: Машгиз, 1960 г., 321 с.
3. Подвидз Л.Г., Кирилловский Ю.Л. Расчет струйных насосов и установок // ВНИИгидромаш, вып. 38, м., 1968, С. 44 – 96.
4. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. М.:Энергоиздат, 1989 г., 350 с.