

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ГИДРОЭЛЕВАТОРА С ПОМОЩЬЮ МАТНСАД

Розглянуто результати аналізу методів визначення основних геометричних розмірів гідроелеваторів.

Поскольку все типоразмеры гидроэлеваторов удовлетворяют условию подобия, то их проектирование в классическом случае сводится к определению основных размеров d_T и d_C (см. рис. 1).

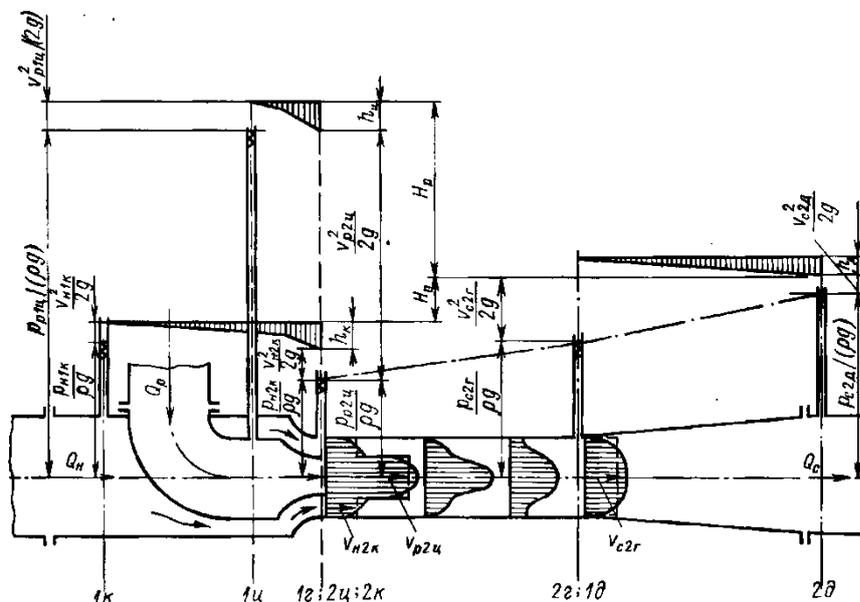


Рисунок 1. Схема гидроструйного насоса с центральным соплом.

В данное время наиболее популярна методика расчета, предложенная в работе [1]. Б. Ф. Лямаевым предлагается следующая последовательность действий для расчета гидравлических характеристик, в том числе и определения основных геометрических размеров гидроструйных насосов (гидроэлеваторов):

1) определение расхода рабочей Q_P и пассивной (полезной) Q_H жидкостей (расход смешанной жидкости на выходе из гидроструйного насоса $Q_C = Q_P + Q_H$);

2) определение полного напора (удельной энергии) рабочей H_P , пассивной H_H и смешанной H_C жидкостей;

3) определение основных геометрических параметров (размеров), характеризующих гидроструйный насос: площадь выходного сечения сопла S_C или его диаметр $d_C = d_{1Ц}$ и площадь поперечного сечения горловины S_Γ или ее диаметр $d_{1\Gamma} = d_{2\Gamma} = d_\Gamma$. Считается, что остальные геометрические размеры проточной части гидроструйных насосов являются известными функциями отношения d_Γ/d_C .

Из вышеизложенного следует, что необходимо определить, по крайней мере, семь неизвестных величин ($Q_P, Q_H, H_P, H_H, H_C, d_\Gamma, d_C$). Для их расчета могут быть составлены следующие уравнения:

1) уравнение импульсов по длине камеры смешения от сечения 1Γ до сечения 2Γ ;

2) уравнение для рабочего напора активного потока;

3) уравнение для полезного напора пассивного потока.

Учитывая, что число неизвестных в общем случае превышает число уравнений, описывающих процессы, протекающие в гидроэлеваторах, сокращают число неизвестных за счет введения безразмерных комплексов, характеризующих напор h , расход q и геометрические параметры гидроэлеваторов d , которые определяются по следующим формулам:

$$h = \frac{H_C - H_H}{H_P - H_H} \quad (1)$$

$$q = u = \frac{Q_H}{Q_P} \quad (2)$$

где u - коэффициент подсоса

$$d = \frac{d_\Gamma}{d_C} \quad (3)$$

где d_Γ, d_C — соответственно диаметр цилиндрической горловины (камеры смешения) и выходной диаметр рабочего сопла.

Используя формулы (1) – (3) составляют уравнение импульсов для нормальных безразмерных гидравлических характеристик гидроструйных насосов (гидроэлеваторов) с центральным соплом.

$$\frac{\Delta p_C}{\Delta p_P} = \frac{\varphi_1^2}{d^2} \cdot \left(2\varphi_2 + \left(2\varphi_2 - \frac{1}{\varphi_4^2} \right) \cdot \frac{d^{-2} \cdot u^2}{1-d^{-2}} - (2 - \varphi_3^2) \cdot d^{-2} \cdot (1 + u^2) \right) \quad (4)$$

где $\Delta p_C/\Delta p_P$ — безразмерный перепад абсолютных гидростатических давлений, рассчитываемый по формуле

$$\frac{\Delta p_C}{\Delta p_P} = \frac{p_C - p_H}{p_P - p_H} \quad (5)$$

Здесь p_P , p_H , p_C – гидростатические давления в сечениях 1ц, 1к, 2д; ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ_3 , ϕ_4 – соответственно коэффициенты скорости рабочего сопла, камеры смешения, диффузора и входа в камеру смешения.

Далее на основе экспериментальных данных и диаграммы обобщенных гидравлических характеристик гидроструйных насосов (гидроэлеваторов) с центральным соплом (см. рис. 2) выбирают величину соотношения d_T/d_C для условия максимального КПД.

На наш взгляд, данная методика морально устарела. Как признает сам автор работы [1]: «в связи с необходимостью использования дополнительных эмпирических уравнений и коэффициентов, описывающих потери напора в конструктивных элементах струйных насосов, результаты расчета их характеристик по методикам конкретных авторов могут иметь определенные расхождения». На данный момент существуют технологии позволяющие уйти от графического метода решения данной инженерной задачи.

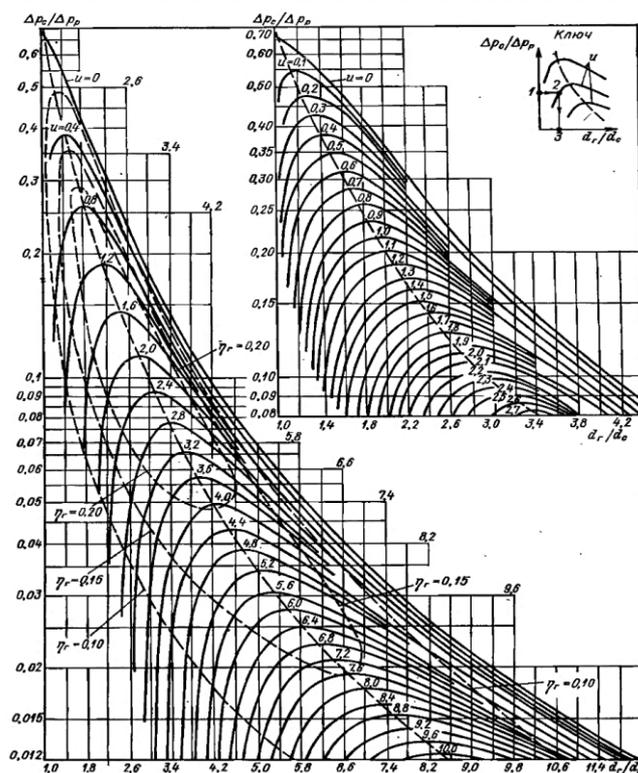


Рисунок 2. Обобщенные нормальные гидравлические характеристики гидроструйных насосов с центральным соплом, рассчитанные по методике Е. Я. Соколова и Н. М. Зингера

Одним из условий нормальной работы гидроструйных насосов есть условие отсутствия явления кавитации в потоке жидкости. Для практических задач важно знать, при каком минимальном коэффициенте подсоса u_K в струйном насосе возникает кавитация [2].

$$u_K = \frac{\left(\frac{d_\Gamma}{d_C}\right)^2 - 1}{\frac{\varphi_1 \cdot \sqrt{p_P - p_K} - 1}{\varphi_4 \sqrt{p_H - p_K}}} \quad (6)$$

Т.е. подставив в уравнение (4) вместо коэффициента подсоса u минимальный коэффициент подсоса u_K получим уравнение кривой, которая разделяет рабочие режимы гидроструйного насоса от кавитационных. В качестве переменной будет выступать искомое соотношение основных геометрических размеров d_Γ/d_C .

Исследование проводилось для конкретного случая. Было установлено, что кавитационные режимы находятся ниже графика функции $D(m)$. Для удобства анализа в данной системе координат был построен и график изменения КПД гидроэлеватора.

$$m = (dc/dr)^2$$

$$u_k(m) := \frac{\frac{1}{m} - 1}{\frac{\phi_1}{\phi_4} \sqrt{\frac{P_p - P_k}{P_H - P_k} - 1}} \quad u(m) := u_k(m)$$

$$D(m) := \phi_1^2 \cdot m \cdot \left[2 \cdot \phi_2 + \left(2 \cdot \phi_2 - \frac{1}{\phi_4^2} \right) \cdot \frac{m \cdot u(m)^2}{1 - m} - (2 - \phi_3^2) \cdot m \cdot (1 + u(m))^2 \right] - \frac{\Delta P_c}{\Delta P_p} \quad \eta(m) := u(m) \cdot \frac{\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p}}{1 - \frac{\Delta P_c}{\Delta P_p}}$$

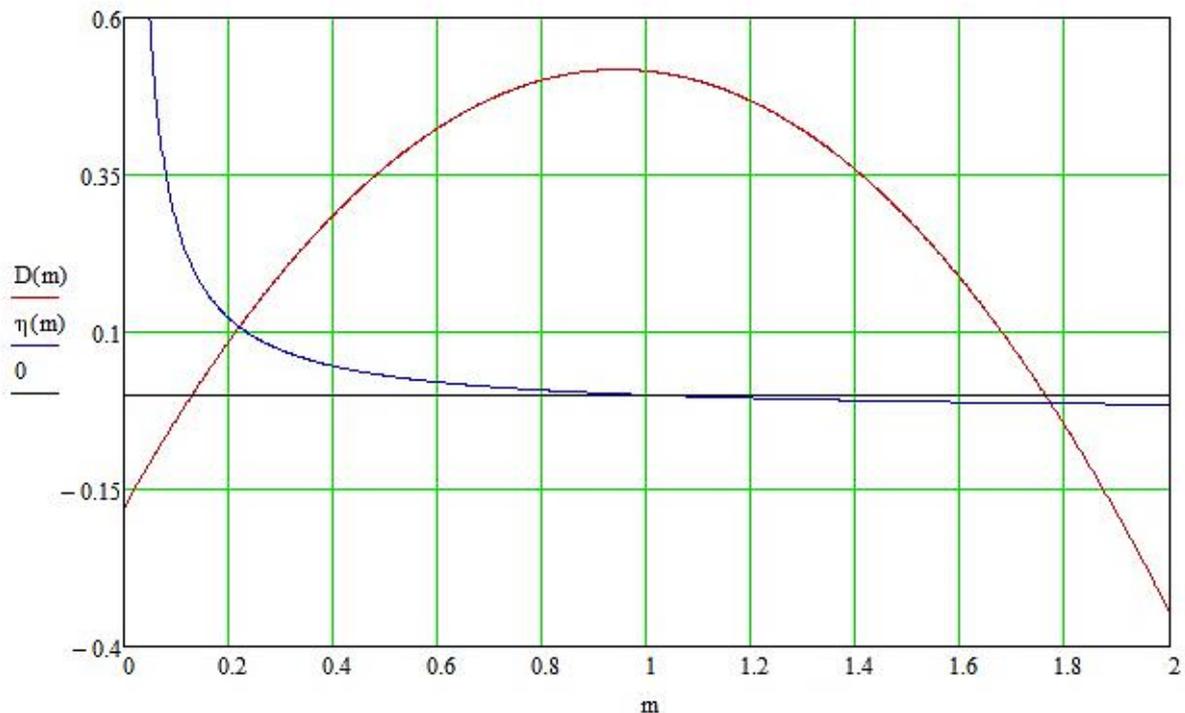


Рисунок 3. Определение области рабочих режимов с помощью Mathcad.

Из графика видно, что максимальный КПД гидроэлеватора снижается по экспоненте и имеет свои максимальные значения в районе первого (левого) корня квадратного полинома. Логично предположить, что искомое соотношение основных геометрических размеров d_r/d_c обеспечивающее оптимальный режим работы гидроструйного насоса находится левее первого корня параболы, т.е. меньше m_1 на заданную величину k , которая должна быть определена практически в ходе экспериментов.

Поскольку из графика на рисунке 3 видно, что нас интересует лишь один корень полинома, то целесообразнее применить для его нахождения функции математического процессора Mathcad приведенные на рисунке 4.

$m = 0.15$ - начальное приближение приблизительно определенное по графику функции $D(m)$

$$m1 := \text{root}(D(m), m) \quad m1 = 0.131$$

$$d := \frac{1}{\sqrt{m1}} \quad d = 2.767$$

$$\text{КПД} := \eta(m1) \quad \text{КПД} = 0.204$$

Рисунок 4. Определение граничного соотношения основных геометрических размеров d_{Γ}/d_C с помощью Mathcad.

Данный пример определения соотношения основных геометрических размеров d_{Γ}/d_C гидроэлеватора носит наглядную форму, но имеет недостаток – необходимость в ручном режиме корректировать начальное приближение при вычислениях. Далее для возможности использования полученных результатов в автоматизированных системах проектирования удобнее будет для определения корней полинома воспользоваться функцией `polyroots` [3].

Перечень ссылок

1. Лямаев Б. Ф. Гидроструйные насосы и установки. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. 256 с.
2. Соколов Е. Я., Зингер Н. М. Струйные аппараты. 2-е изд. М.: Энергия, 1970. 288 с.
3. Макаров Е.Г. Инженерные расчеты в Mathcad. Учебный курс. – СПб.: Питер, 2005, – 448 с.