

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАСОСОВ, КОМПРЕССОРОВ И ВЕНТИЛЯТОРОВ С ОТКРЫТЫМИ КОЛЕСАМИ

А.Р. Якуба, проф.; И.А. Ковалев, проф.; Е.Н. Олада, асп.

Течение жидкости или газа в открытых колесах насосов и компрессоров значительно усложнено в сравнении с закрытыми колесами [1], рис. 1. Поэтому разработка математической зависимости для расчета передаваемой рабочему телу энергии и прогнозирование их энергетических характеристик являются актуальной задачей.

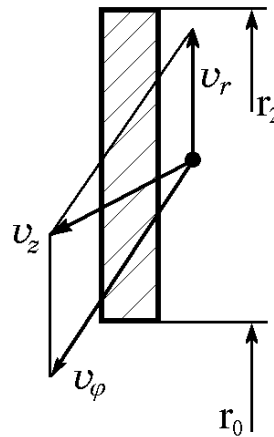
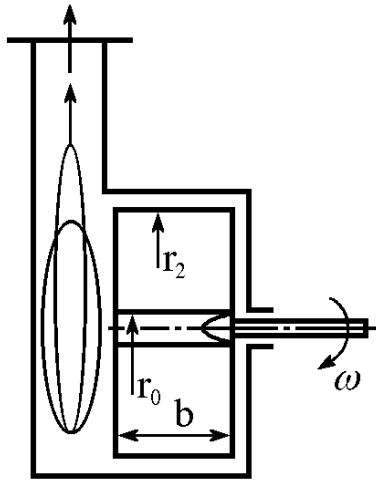


Рисунок 1 — Течение газа (жидкости) в гидромашине со свободновихревым течением

Ранее были получены расчетные уравнения передаваемой энергии в свободновихревых насосах [2, 3] на основе допущения о линейном и экспоненциальном распределении радиальной скорости в колесе. Недостаток такого предположения заключается в фактически более сложном

распределении радиальной скорости в колесе, не вписывающемся в рамки описания этими функциями. Полученные уравнения имеют узкий диапазон геометрических параметров колеса, дающих достоверные результаты.

В данной работе, как и в [3], использован полуэмпирический подход к решению задачи установления зависимости расчета передаваемой энергии. Основное отличие состоит в принятии допущения об экспоненциальном изменении закона распределения не радиальной скорости, а осевой, которое более достоверно исследовано и может быть точно экстраполировано экспоненциальной зависимостью с использованием данных экспериментов.

Из характера изменения v_z по работе [1] принято допущение о распределении осевой скорости в виде

$$v_z = v_{z_0} \left[A - \exp\left(k \frac{r}{r_2}\right) \right], \quad (1)$$

где A, k — коэффициенты; r_2 — наружный радиус колеса, м; r — текущий радиус лопаток, м. Значение v_{z_0} , являющейся условной скоростью на оси колеса, определим из граничного условия

$$r = r_0, \quad v_z = v_{z_0}. \quad (2)$$

Тогда $A - \exp(k_1 r) = 1, \quad A = 2.$

Экспериментально полученные распределения осевой скорости показывают наличие некоторого центра в средней части лопаток, где осевая скорость меняет направление движения на противоположное (рис. 2). Предположим, что радиус, на котором меняется направление v_z , равен $r_1 > r_0$. В таком случае

$$r = r_1; \quad v_z = 0; \quad v_{z_0} |2 - \exp(k_1 r_1)| = 0. \quad (3)$$

Так как $v_{z_0} \neq 0$, то $2 - \exp(k_1 r_1) = 0$, где $k_1 = \frac{k}{r_2}$,

$$\exp(k_1 r_1) = 2 = A, \quad (4)$$

тогда

$$v_z = v_{z_0} \left[\exp(k_1 r_1) - \exp(k_1 r) \right]. \quad (5)$$

Значение v_{z_0} определим из соответствия заданного расхода Q определенному распределению v_z .

Приняв на элементарной площадке $dr \square 2\pi r$ постоянное значение v_z , получим

$$dQ = 2\pi r dr \cdot v_z. \quad (6)$$

Общий расход можно получить интегрированием (5):

$$Q = 2\pi \int_{r_1}^{r_2} v_{z_0} \left[\exp(k_1 r_1) - \exp(k_1 r) \right] r dr; \quad (7)$$

$$Q = 2\pi v_{z_0} \left[\frac{r_2 - r_1}{k_1} \exp(k_1 r_1) \cdot \left(1 + \frac{k_1(r_2 + r_1)}{2} \right) - \frac{r_2 - r_1}{k_1} \exp(k_1 r_2) \right] =$$

$$= 2\pi v_{z_0} \frac{r_2 - r_1}{k_1} \left[\exp(k_1 r_1) \cdot \left(1 + \frac{k_1(r_2 + r_1)}{2} \right) - \exp(k_1 r_2) \right]. \quad (8)$$

Уравнение момента количества движения

$$\Delta M \omega = \rho g Q H, \quad (9)$$

где ΔM — приращение момента количества движения, кг·м²/с; ω — частота вращения колеса, 1/с; Q — расход, м³/с; H — передаваемая рабочему телу удельная энергия, м. С учетом того, что передаваемая энергия не может быть отрицательна, полученная зависимость имеет вид

$$H = \frac{\omega^2}{g} \cdot \frac{|\exp(k_1 r_1) S_1 - \exp(k_1 r_2) S_2|}{\frac{r_2 - r_1}{k_1} \left[\exp(k_1 r_1) \cdot \left(1 + \frac{k_1(r_2 + r_1)}{2} \right) - \exp(k_1 r_2) \right]}, \quad (10)$$

где

$$S_1 = \frac{r_2^4 - r_1^4}{4} + \frac{r_2^3 - r_1^3}{k_1} - \frac{3(r_2^2 - r_1^2)}{k_1^2} + \frac{6(r_2 - r_1)}{k_1^3}; \quad (11)$$

$$S_2 = \frac{r_2^3 - r_1^3}{k_1} - \frac{3(r_2^2 - r_1^2)}{k_1^2} + \frac{6(r_2 - r_1)}{k_1^3}. \quad (12)$$

Значение r_1 вычисляют в соответствии с рекомендациями работы [4]

$$r_1 = \sqrt{\frac{r_0^2 + r_2^2}{2}}. \quad (13)$$

На алгоритмическом языке Паскаль в среде Турбо Паскаль составлена программа расчета и удельной энергии открытого колеса СВН. Проведены сравнения расчетных параметров по уравнению (10) и действительных параметров эксплуатации и испытаний четырех типов машин (насосов СВН) [2, табл. 1], выбран эмпирический параметр $k = 0,89$, с использованием которого можно производить расчеты теоретического значения передаваемой удельной энергии в режиме свободновихревой машины с погрешностью, не превышающей $\pm 3,9\%$ по сравнению с данными, приведенными в [2].

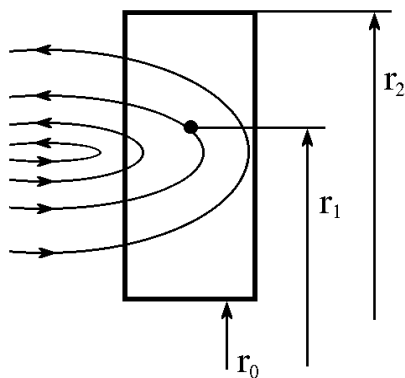


Рисунок 2 — Перемещение жидкости на открытых лопатках

Достоинство полуэмпирического уравнения заключается в возможности выбора усредняющего параметра k , который позволяет производить прогнозирование напора СВН в целом ($k = 0,95$) с точностью 4,5% и теоретического напора колеса СВН в режиме центробежной машины ($k = 0,879$) с точностью 4,5%.
Полученное уравнение расчета передаваемой теоретической энергии СВН позволяет установить взаимосвязь между статическим напором и подачей колеса и таким образом прогнозировать его напорные характеристики.

SUMMARY

The paper offers semiempirical method of calculation of theoretical head for free vortex machines with Turo-type impeller. The received equation allows to produce power characteristics of machines as a whole.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герман В.Ф. Исследование структуры потока в свободновихревом насосе / Сб. Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты. - К.: КПИ, 1994.— С. 67-81.
 2. Якуба А.Р., Ковалев И.А., Олада Н.М. Полуэмпирический расчет напора и подачи рабочего колеса свободновихревого насоса типа Туро / Сб. докладов 8-й Международной НТК "Насосы-96". - Сумы: СумГУ, 1996.— С. 300-303.
 3. Якуба А.Р., Олада Е.Н. Прогнозирование энергетических характеристик свободновихревых насосов // II Республиканская НТК "Гидроаэромеханика в инженерной практике": Программа и тезисы докладов.— Киев - Черкассы, 1997.— С. 42.
- Пресман Л.С. Смерчевые (свободновихревые) насосы // 00600 ВНИИГидромаша: Республиканский межведомственный научно-технический сборник. - М.: ВНИИТ, 1967, вып. 36.— С. 46-65.