ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
Տեխնիկական գիտութ. սերիա XVI, № 1, 1963 Серия технических наук

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

С. С. АВЕТИСОВ

ВТОРИЧНЫЙ ПОТОК В КАНАЛАХ ГИДРОТУРБИН

Износы на поверхности канала рабочего колеса гидротурбины, при входе потока не следуют вдоль поверхности обода и втулки, как это должно было быть в случае осесимметричного потока, а сходят с поверхности обода и втулки на выпуклый контур лопасти и направлены к среднему сечению лопасти. Резкое отклонение износов у обода и втулки можно объяснить, только, интерференцией пограничных слоев в случае лопасти конечной длины.

Канал рабочего колеса гидротурбины ограничен одним выпуклым и одним вогнутым контуром смежных лопастей, а также криволинейными поверхностями обода и втулки рабочего колеса. Изменение формы канала рабочего колеса вдоль течения жидкости должно оказывать влияние на соотношение кинетической энергии и статического давления в потоке жидкости по сечениям канала. В данном случае средняя часть выпуклой поверхности лопасти, в некотором удалении от поверхности обода и втулки, будет зоной минимального статического давления. Тормозящее действие пограничного слоя обода и втулки будет вытеснять течение в тех случаях, когда поток обтекает ту часть лопасти, которая непосредственно прилегает к ободу или втулке. Это создает градиент статического давления вдоль длины лопасти. Вследствие влияния формы граничной поверхности и вязкости жидкости в поперечном направлении потока возникает, градиент давления. Это приводит к появлению вторичных токов.

Принимая условие возникновения концевых вихрей в виде

$$\frac{d}{d_n}\ (\Gamma_л,\ V_м) \neq 0, \qquad (1)$$

определим скорости вторичного течения из рассмотрения контура *ABCDEF*, показанного на рис. 1.

Согласно теории Стокса циркуляция по некоторой поверхности, ограниченной контуром, может быть вычислена интегрированием вихря по этой поверхности. Изменением циркуляции, вызванным смещением частичек *F*, *B* и *E* относительно выходной кромки, пренебрегаем. Интегрирование распространяем на оставшийся контур *FBCEF* без учета смещения (рис. 1). Будем иметь

$$\Gamma = \zeta\, f dn_1, \tag{2}$$

где ζ — компонент абсолютного вихря, который перпендикулярен скорости; f — расстояние отставания между частичками, проходящими вдоль выпуклого и вогнутого контуров лопасти; dn_1 — расстояние нормальное осесимметричным линиям тока, т. е. расстояние между B и C.

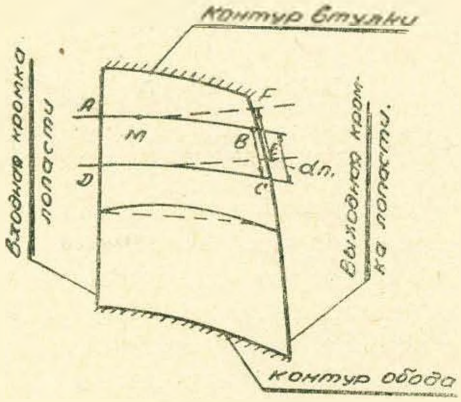

Рис. 1.

Для циркуляции, охватывающей рассматриваемую часть лопасти, имеем:

$$\Gamma = \Gamma_{CDE} - \Gamma_{BAF} + 2\, v_b\, dn_2$$

или

$$\Gamma = -\frac{d\,\Gamma_{лA}}{dn_1}\, dn + 2\, v_b\, dn_2, \tag{3}$$

где $\Gamma_{лA}$ — циркуляция лопасти в сечении A;

dn_2 — расстояние между F и E.

Подставив в (3) значение Γ из уравнения (2) после преобразований получим:

$$v_b = \frac{1}{2}\left(\zeta f + \frac{d\Gamma_{лA}}{dn_1}\right) \cdot \frac{dn_1}{dn_2}. \tag{4}$$

Для определения расстояния f рассмотрим линию $A_0\, B_0$ составленную из жидких частиц в момент t_0, натекания на лопасть. В другой момент времени t частицы, составляющие линию A_0B_0 образуют новые линии AB и $A\ F$ (рис. 1).

Линейные интегралы от скорости w по линии AB и AF будут иметь вид:

$$\Gamma_{AB} = \int_{AB} w\, ds;\ \Gamma_{AF} = \int_{AF} w\, ds. \tag{5}$$

Жидкую частицу, в момент t_0 на линии A_0B_0, будем характеризовать значением параметра w_∞. Здесь w_∞ — относительная скорость впереди лопасти. Координаты x, y, z любой частицы лежащей в момент времени t_0 на линии A_0B_0 будут функциями w_∞ и t.

Следовательно раднус-вектор точки M относительно начала координат 0

$$r = r\ (w_\infty,\ t). \tag{6}$$

Поэтому выражение циркуляции (5) примет вид:

$$\Gamma_{AB} = \int_{AB} \left(w_x \frac{\partial x}{\partial w_\infty} + w_y \frac{\partial y}{\partial w_\infty} + w_z \frac{\partial z}{\partial w_\infty} \right) dw_\infty = \int_{AB} \left(w \cdot \frac{\partial r}{\partial w_\infty} \right) dw_\infty. \tag{7}$$

Имея в виду, что w_∞ и t независимые переменные в силу (6) и (7) после дифференцирования получим

$$\frac{d\Gamma_{AB}}{dt} = \int_{AB} \left(\frac{\partial w}{\partial t} \frac{\partial r}{\partial w_\infty} \right) dw_\infty + \int_{AB} \left(w \frac{\partial^2 r}{\partial w_\infty \partial t} \right) dw_\infty =$$

$$= \int_{AB} \left(w^1 \cdot \frac{\partial r}{\partial w_\infty} \right) dw_\infty + \int_{AB} \left(w \cdot \frac{\partial w}{\partial w_\infty} \right) dw_\infty, \tag{8}$$

Первый член правой части уравнения построен совершенно аналогично выражению (7) и представляет собой линейный интеграл от ускорения:

$$\int_{AB} \left(w^1 \cdot \frac{\partial r}{\partial w_\infty} \right) dw_\infty = \int_{AB} \left(w_x^1 \frac{\partial x}{\partial w_\infty} + w_y^1 \frac{\partial y}{\partial w_\infty} + \right.$$

$$\left. + w_z^1 \frac{\partial z}{\partial w_\infty} \right) dw_\infty = \int_{AB} (w^1\, ds). \tag{9}$$

Второй член правой части уравнения (8) можем представить в виде

$$\int_{AB} \left(w \cdot \frac{\partial w}{\partial w_\infty} \right) dw_\infty = \frac{1}{2} \int_{AB} \frac{\partial w^2}{\partial w_\infty} dw_\infty = \frac{1}{2} \left(w_B^2 - w_B^2 \right). \tag{10}$$

В силу (8), (9), (10) для линии AB получим:

$$\frac{d\Gamma_{AB}}{dt} = \int_{AB} \frac{dw}{dt} ds + \frac{1}{2} w_B^2 - \frac{1}{2} w_A^2. \tag{11}$$

Аналогичное выражение получим для линии AF:

$$\frac{d\Gamma_{AF}}{dt} = \int_{AF} \frac{dw}{dt} ds + \frac{1}{2} w_F^2 - \frac{1}{2} w_A^2. \tag{12}$$

Для установившегося режима работы турбины относительная скорость w по времени не меняется. В этом случае изменение циркуляции по времени будет зависеть от положения жидкой частицы на линии AB и AF, и уравнения (11) и (12) примут вид:

$$\frac{d\Gamma_{AB}}{dt} = \frac{1}{2} w_B^2 - \frac{1}{2} w_A^2; \tag{11}$$

$$\frac{d\Gamma_{AF}}{dt} = \frac{1}{2} w_F^2 - \frac{1}{2} w_A^2 \qquad (12)$$

Подставляя выражения (11) и (12) в выражение характеризующее изменение Γ в функции от времени получим:

$$\frac{d\Gamma_{AA}}{dt} = \frac{1}{2} w_B^2 - \frac{1}{2} w_F^2 .$$

Разница в промежутке времени прохождения двух частичек вдоль выпуклого и вогнутого контуров лопасти

$$\Delta t = \frac{2\Gamma_{AA}}{w_B^2 - w_F^2} .$$

Поэтому расстояние

$$f = w \Delta t = w \frac{2\Gamma_{AA}}{w_B^2 - w_F^2}, \qquad (13)$$

где w — относительная скорость.

Подставляя (13) в (4) получим окончательно

$$v_b = \frac{1}{2}\left(w \zeta \frac{2\Gamma_{AA}}{w_B^2 - w_F^2} + \frac{d\Gamma_{AA}}{dn_1} \right) \frac{dn_1}{dn_2} . \qquad (14)$$

Это уравнение позволяет определить вторичную скорость, которую создает перемещающийся вихревой слой. Полученная формула показывает, что в создании вторичного потока значительную роль играют градиент циркуляции вдоль лопасти и отстаивание частичек жидкости, движущихся вдоль выпуклого и вогнутого контуров лопасти. Вследствие наличия градиента циркуляции вдоль размаха лопасти, даже при постоянной меридиональной скорости вдоль размаха, возникает вторичная скорость. Это обстоятельство требует более детального исследования переходов в месте соединения лопасти с ободом и втулкой.

НИИКС СНХ Армянской ССР

Поступило 15.I.1962