

Секция IV
АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННОЙ
АППАРАТУРЫ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.
ЦИФРОВЫЕ ТЕХОЛОГИИ

УДК 621.65.01

Павлечко В.Н.
(БГТУ)

ГРАНИЦЫ ПЕРВОГО УЧАСТКА ЛОПАСТЕЙ
В КАНАЛАХ РАДИАЛЬНО-ОСЕВОЙ ТУРБИНЫ

Проведенными ранее исследованиями получены зависимости для определения скоростей движения среды и лопасти, а также давления среды на лопасть при вводе потока радиально [1] и под некоторым углом α к направлению, обратному окружной скорости [2, 3]. Найденные выражения справедливы только для начального участка лопасти по ходу движения рабочей среды при постоянном радиусе. При дальнейшем движении среды в межлопастном пространстве направление и ее скорость изменяются, и при достаточно большой длине лопастей она выходит из турбины практически параллельно плоскости лопасти, не оказывая активного влияния на ее вращение.

Начальная скорость среды v_s представлена в виде и тангенциальной v_{su} и радиальной v_{sr} составляющих. С этими скоростями среда воздействует на участок лопасти в тангенциальном и радиальном направлениях, величины которых определяются зависимостями [2–4]

$$v_{su} = v_s \cos \alpha; \quad (1)$$

$$v_{sr} = -v_s \sin \alpha. \quad (2)$$

Обобщенные скорости движения среды в направлении, перпендикулярном плоскости лопасти, а также в тангенциальном и радиальном направлениях определяются соответствующими выражениями [2, 3]

$$c = v_s \sin(\beta - \alpha); \quad (3)$$

$$c_u = v_s \sin \beta \cdot \sin(\beta - \alpha); \quad (4)$$

$$\frac{CL}{CO} = \sin \gamma, \quad (9)$$

откуда с учетом $CO = r_2$

$$CL = r_2 \sin \gamma. \quad (10)$$

Отношение катетов треугольника ACL

$$\frac{AL}{AC} = \sin \frac{\gamma}{2}, \quad (11)$$

откуда с учетом (8)

$$AL = AC \sin \frac{\gamma}{2} = 2r_2 \sin^2 \frac{\gamma}{2}. \quad (12)$$

Из прямоугольного треугольника CKL

$$LK = r_2 \sin \gamma \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}. \quad (13)$$

Длина AK является суммой двух отрезков AL и LK

$$AK = AL + LK = 2r_2 \sin^2 \frac{\gamma}{2} + r_2 \sin \gamma \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}. \quad (14)$$

Длина отрезка KH равна

$$\begin{aligned} KH &= AO - HO - AK = r_2 - r - 2r_2 \sin^2 \frac{\gamma}{2} - r_2 \sin \gamma \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \\ &= r_2 \cos \gamma - r_2 \sin \gamma \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} - r. \end{aligned} \quad (15)$$

Длина отрезка LH составляет

$$LH = AH - AL = r_2 - r - 2r_2 \sin^2 \frac{\gamma}{2} = r_2 \cos \gamma - r. \quad (16)$$

Длины отрезков прямоугольного треугольника ABB'

$$AB' = AB \sin \beta; \quad (17)$$

$$BB' = AB \cos \beta. \quad (18)$$

Из треугольника $BB'K$ следует

$$BK = \frac{BB'}{\cos \alpha} = AB \frac{\cos \beta}{\cos \alpha}; \quad (19)$$

$$B'K = BB' \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = AB \cos \beta \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}. \quad (20)$$

$$B'H = AB' - AH = AB \sin \beta - r_2 + r. \quad (21)$$

$$B'K = KH + B'H = r_2 \cos \gamma - r_2 \sin \gamma \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} + AB \sin \beta - r_2. \quad (22)$$

Совместным решением (20) и (22) получено

$$AB = r_2 \frac{1 - \cos \gamma + \sin \gamma \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}}{\sin \beta - \cos \beta \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}}. \quad (23)$$

После несложных преобразований уравнение упрощается

$$AB = r_2 \frac{\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma)}{\sin(\beta - \alpha)}. \quad (24)$$

Из треугольника ABO

$$B'O = AO - AB' = r_2 - AB \sin \beta. \quad (25)$$

Из треугольника $BB'O$ следует

$$BB' = \sqrt{BO^2 - B'O^2} = \sqrt{r^2 - r_2^2 + 2ABr_2 \sin \beta - AB^2 \sin^2 \beta} = AB \cos \beta. \quad (26)$$

Возведем третий и четвертый члены уравнения в квадрат

$$r^2 - r_2^2 + 2ABr_2 \sin \beta - AB^2 \sin^2 \beta = AB^2 \cos^2 \beta \quad (27)$$

и после приведения подобных членов получено

$$r = \sqrt{AB^2 + r_2^2 - 2ABr_2 \sin \beta}. \quad (28)$$

Подставим в последнее уравнение выражение AB из (25)

$$r = \frac{r_2}{\sin(\beta - \alpha)} \sqrt{\left[\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma) \right] \left[\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma) - 2 \sin \beta \cdot \sin(\beta - \alpha) \right] + \sin^2(\beta - \alpha)}. \quad (29)$$

Выведенные зависимости (24) и (29) позволяют определить пределы первого по ходу движения среды участка лопастей радиально-осевой турбины. Из анализа этих формул следует, что границы первого участка лопастей зависят от геометрической характеристики турбины: наружного диаметра (r_2), количества лопастей (угол γ), углов наклона лопастей β и ввода потока среды α .

Предложенная методика определения параметров первого участка лопастей может быть использована для вывода аналогичных зависимостей для второго и последующих участков лопастей радиально-осевой турбины.

При использовании методологии [1–4] полученные зависимости позволят найти скорости и давления среды на первый участок лопасти и по аналогии рассмотреть воздействие среды на последующие участки лопастей турбины.

Литература

1. Павлечко, В.Н. Зависимость параметров центростремительной турбины от угла наклона лопастей / В.Н. Павлечко // Химическая промышленность. 2017. Т. 94. № 5. С. 247–254.

2. Павлечко, В.Н. О работе радиальной турбины при вводе закрученного потока / В.Н. Павлечко // Горная механика и машиностроение. 2017. № 3. С. 52–64.

3. Павлечко, В.Н. О влиянии центробежной силы на работу радиальной турбины при вводе закрученного потока / В.Н. Павлечко // Горная механика и машиностроение. 2017, № 4. С. 51–63.

4. Павлечко, В.Н. Изменение тангенциального давления среды на лопасти в каналах радиальной турбины / В.Н. Павлечко // Горная механика и машиностроение. 2019. № 3. С. 29–35.

УДК 620.193

Францкевич В.С., Поспелов А.В.
(БГТУ),
Романовский В.И.
(НИТУ «МИСиС»)

КОРРОЗИЯ ТИТАНОВЫХ ТРУБОК ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

Титан широко используется в химической обрабатывающей промышленности при работе со многими агрессивными средами из-за его хорошей коррозионной стойкости [1]. В то же время титан очень чувствителен к определенным воздействиям. Так, титановое оборудование может выйти из строя из-за воздействия среды с высоким содержанием водорода, что приводит к водородному охрупчиванию. Присутствие железа может служить катализатором выделения водорода [2-3]. Абразивный износ часто является причиной коррозии [13, 14]. Кроме того,