

УДК 621.65.01

В.Н. Павлечко*УО «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Беларусь***ГРАНИЦЫ ПЕРВОГО УЧАСТКА ЛОПАСТЕЙ
В КАНАЛАХ РАДИАЛЬНОЙ ТУРБИНЫ**

Аннотация. *Выведены зависимости для определения пределов первого по ходу движения среды участка лопастей радиальной турбины. Границы первого участка лопастей зависят от геометрической характеристики турбины: наружного диаметра, количества лопастей, углов наклона лопастей и ввода потока среды.*

Ключевые слова: *радиальная турбина, первый участок лопасти, направление потока, угол наклона лопастей, количество лопастей.*

U.N. Paulechka*Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus***THE BOUNDARIES OF THE BLADES' FIRST SECTION
IN THE RADIAL TURBINE CHANNELS**

Abstract. *Dependencies are derived to determine the limits of the first section of the radial turbine blades in the direction of the medium movement. The boundaries of the blades' first section depend on the geometric characteristics of the turbine: the outer diameter, the number of blades, the angles of the blades and the input of the medium flow.*

Keywords: *radial turbine, the first section of the blade, the flow direction, the angle of the blades, the number of blades.*

Введение

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 элементарного начального участка лопасти по ходу движения рабочей среды при постоянном радиусе.

Выведены обобщенные скорости движения среды в направлении, перпендикулярном плоскости лопасти, а также в тангенциальном и радиальном направлениях, которые определяются соответствующими выражениями [2]-[4] в зависимости от углов наклона лопастей и ввода среды в межлопастное пространство.

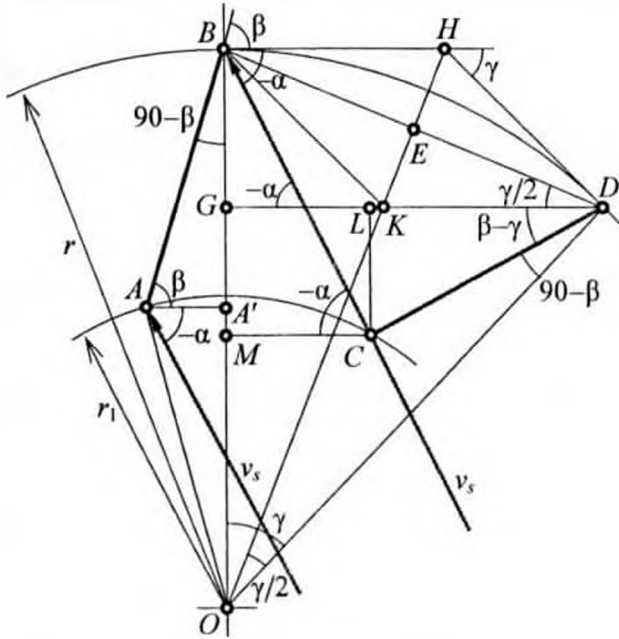
Полученные выражения распространяются только на начальные узкие длины элементарных участков лопастей. Вместе с тем, среда, вводимая в межлопастное пространство турбины, воздействует на участки лопастей более широкие, чем длины начальных участков.

Результаты исследований

Определим взаимосвязь некоторых параметров радиальной турбины на начальном участке, элемент которой приведен на рисунке 1. Лопасти турбины вращаются вокруг оси, обозначенной на рисунке точкой O . Угол между плоскостью лопасти и касательной к окружности лопастей турбины составляет β . Среда вводится в межлопастное пространство со скоростью v , под углом $-\alpha$ к вышеупомянутой касательной. Значение угла ввода среды принято отрицательным, т.к. углы β и α расположены в

противоположных сторонах от касательной к окружности. Угол между двумя соседними лопастями равен γ . Внутренний радиус лопастей равен r_1 , наружный r . Длина начального участка лопасти AB определяется радиусом r из-за ограничения потока среды второй лопастью CD . Как видно из рисунка, приведенные отрезки и углы геометрически взаимосвязаны.

Отношение сторон прямоугольного треугольника BEO :



$$\frac{BE}{BO} = \sin \frac{\gamma}{2}, \quad (1)$$

откуда с учетом $BO = r$:

$$BE = r \cdot \sin \frac{\gamma}{2}. \quad (2)$$

В формулах (1) и (2) γ – угол между двумя смежными лопастями, величина которого равна $\gamma = 2\pi/z$, где z – количество лопастей радиальной турбины.

Длина отрезка BD равна удвоенной длине прямой BE :

$$BD = 2BE = 2r \cdot \sin \frac{\gamma}{2}. \quad (3)$$

Отношение сторон прямоугольного треугольника DGO :

$$\frac{DG}{DO} = \sin \gamma, \quad (4)$$

откуда с учетом $DO = r$:

$$DG = r \cdot \sin \gamma. \quad (5)$$

Отношение сторон треугольника BDG :

$$\frac{BG}{BD} = \sin \frac{\gamma}{2}, \quad (6)$$

откуда с учетом (3):

$$BG = BD \sin \frac{\gamma}{2} = 2r \cdot \sin^2 \frac{\gamma}{2}. \quad (7)$$

Из прямоугольного треугольника $AA'B$ следует:

$$AA' = AB \cos \beta; \quad (8)$$

$$A'B = AB \sin \beta. \quad (9)$$

Длина отрезка $A'O$ является разностью двух прямых BO и $A'B$:

$$A'O = BO - A'B = r - AB \sin \beta. \quad (10)$$

Из треугольника $AA'O$ следует:

$$AO = \sqrt{A'A^2 + A'O^2}. \quad (11)$$

Решением уравнения (11) с учетом (10) и $AO = r_1$ является:

$$r_1 = \sqrt{r^2 - 2r \cdot AB \cdot \sin \beta + AB^2}. \quad (12)$$

Возведем в квадрат обе части формулы (12), и решением полученного уравнения относительно радиуса r является:

$$r = AB \sin \beta \pm \sqrt{r_1^2 - AB^2 \cos^2 \beta}. \quad (13)$$

Из треугольника BDO угол BDO равен $(180 - \gamma)/2 = 90 - \gamma/2$.

Из ромба $BHDK$ следует, что угол BDK равен половине угла HDK , т.е. равен $\gamma/2$.

Угол CDO равен углу ABO и равен $90 - \beta$.

Угол CDK равен величине угла BDO за вычетом значений углов BDK и CDO , т.е. $90 - \gamma/2 - \gamma/2 - 90 + \beta = \beta - \gamma$.

Угол BCD равен 180° за вычетом значений углов CBD и BDC , т.е. $180 + \alpha + \gamma/2 - \beta + \gamma - \gamma/2 = 180 - \beta + \alpha + \gamma$.

Из треугольника CDL следует:

$$\frac{CL}{CD} = \sin(\beta - \gamma), \quad (14)$$

откуда с учетом $CD = AB$:

$$CL = CD \sin(\beta - \gamma) = AB \sin(\beta - \gamma) = GM. \quad (15)$$

Отрезок BM равен сумме отрезков BG и GM :

$$BM = BG + GM = 2r \cdot \sin^2 \frac{\gamma}{2} + AB \sin(\beta - \gamma). \quad (16)$$

Отрезок MO равен разности отрезков BO и BM :

$$MO = BO - BM = r \cdot \cos \gamma - AB \sin(\beta - \gamma). \quad (17)$$

Из треугольника BCM следует:

$$\frac{BM}{BC} = \cos(90 + \alpha) = -\sin \alpha, \quad (18)$$

откуда:

$$BC = \frac{BM}{-\sin \alpha} = -2r \frac{\sin^2(\gamma/2)}{\sin \alpha} - AB \frac{\sin(\beta - \gamma)}{\sin \alpha}; \quad (19)$$

$$\frac{CM}{BC} = \cos \alpha, \quad (20)$$

$$CM = BC \cos \alpha = - \left[2r \cdot \sin^2 \frac{\gamma}{2} + AB \sin(\beta - \gamma) \right] \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}. \quad (21)$$

Из треугольника BCD в соответствии с теоремой синусов:

$$\frac{BC}{\sin(\beta - \gamma/2)} = \frac{BD}{\sin(180 - \beta + \alpha + \gamma)} = \frac{CD}{\sin(-\alpha - \gamma/2)}. \quad (22)$$

Решением второго и третьего членов уравнения (22) получаем:

$$r = \frac{AB}{2} \frac{\sin(\beta - \alpha - \gamma)}{\sin(-\alpha - \gamma/2) \sin(\gamma/2)}; \quad (23)$$

$$AB = 2r \sin(\gamma/2) \cdot \frac{\sin(-\alpha - \gamma/2)}{\sin(\beta - \alpha - \gamma)}. \quad (24)$$

Совместным решением (13) и (23), (12) и (24) получаем соответственно:

$$r = \frac{r_1}{\sqrt{1 + 4 \sin(\gamma/2) \cdot \frac{\sin(-\alpha - \gamma/2)}{\sin(\beta - \alpha - \gamma)} \left[\sin(\gamma/2) \cdot \frac{\sin(-\alpha - \gamma/2)}{\sin(\beta - \alpha - \gamma)} - \sin \beta \right]}}; \quad (25)$$

$$AB = \frac{r_1}{\sqrt{1 + \frac{\sin(\beta - \alpha - \gamma)}{\sin(\gamma/2) \cdot \sin(-\alpha - \gamma/2)} \left[\frac{\sin(\beta - \alpha - \gamma)}{4 \sin(-\alpha - \gamma/2)} - \sin \beta \cdot \sin(\gamma/2) \right]}}. \quad (26)$$

Выводы

Выведенные зависимости (12), (13), (25) и (26) позволяют определить пределы первого по ходу движения среды участка лопастей радиальной турбины. Из анализа этих формул следует, что границы первого участка лопастей зависят от геометрической характеристики турбины: внутреннего диаметра r_1 , количества лопастей (угол γ), углов наклона лопастей β и ввода потока среды α . С уменьшением расстояния между лопастями (угла γ) сокращается длина первого участка лопасти AB и наружный радиус r . При увеличении угла γ наружный радиус r может достичь величины, равной наружному радиусу лопастей турбины. В этом случае первый участок лопастей оказывается единственным. При дальнейшем увеличении указанного угла часть вводимого потока может пройти мимо, не касаясь лопастей, что снизит эффект от использования энергии потока.

Предложенная методика определения параметров первого участка лопастей может быть использована для вывода аналогичных зависимостей для второго и последующих участков лопастей по ходу движения среды радиальной 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.

Список использованных источников

1. Павлечко В.Н. Зависимость параметров центростремительной турбины от угла наклона лопастей // Химическая промышленность. – 2017. – Т. 94, № 5. – С. 247-254.
2. Павлечко В.Н. О работе радиальной турбины при вводе закрученного потока // 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 // Горная механика и машиностроение. – 2017. – № 4. – С. 51-63.
4. Павлечко В.Н. Изменение тангенциального давления среды на лопасти в каналах радиальной турбины // Горная механика и машиностроение. – 2019. – № 3. – С. 29-35.

Информация об авторе

Information about the author

Владимир Никифорович Павлечко – кандидат технических наук, доцент кафедры машин и аппаратов химических и силикатных производств, УО «Белорусский государственный технологический университет» (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Беларусь), e-mail: paulechka@tut.by.

Uladzimir Nikifuravich Paulechka – Ph. D. (Engineering), Associate Professor of the Department “Machines and Apparatus of Chemical and Silicate Industries”, Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova Str., 220006, Minsk, Belarus), e-mail: paulechka@tut.by.