УДК 621.65.01

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ РАДИАЛЬНОГО НАГНЕТАТЕЛЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ УГЛА НАКЛОНА ЛОПАСТЕЙ

канд. техн. наук, доц. В.Н. ПАВЛЕЧКО; канд. техн. наук, доц. С.К. ПРОТАСОВ
(Белорусский государственный технологический университет, Минск)

Рассматриваются зависимости для расчета динамического и статического давлений, создаваемых лопастями рабочего колеса радиального нагнетателя, статического давления, создаваемого центробежной силой, а также потерь давления для разгона среды до скорости, с которой она выходит из межлопастного пространства, при изменении угла наклона лопастей по радиусу колеса. Приведены графические зависимости указанных давлений от угла наклона лопастей. Установлено, что при угле наклона лопастей на входе в колесо до 40^o и на выходе из него более 150^o существенного приращения динамического давления, создаваемого лопастями, не возникает. Максимальные величины динамического и статического давлений радиального нагнетателя могут быть получены при углах наклона лопастей на выходе их колеса, больших 90^o.

Введение. В соответствии со струйной теорией абсолютная скорость среды (c) является геометрической суммой окружной скорости колеса (u) и относительной скорости среды (w) (рис. 1). Окружная и угловая скорости колеса и среды принимаются равными [1; 2]. В отличие от струйной теории, в работах [3–5] предложено рассматривать движение среды под действием лопастей колеса и центробежной силы (рис. 2).

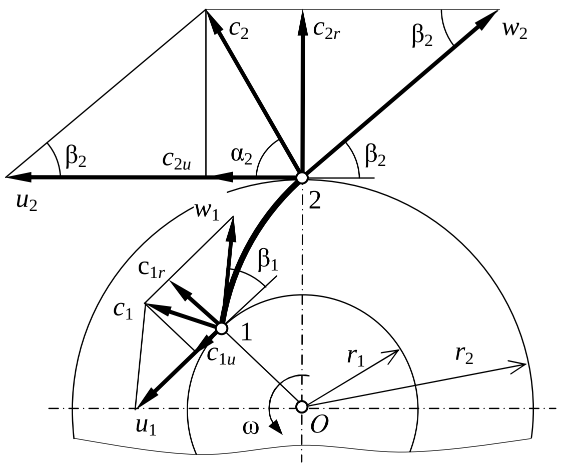

Рис. 1. Направления скоростей в рабочем колесе нагнетателя для лопастей, отогнутых назад

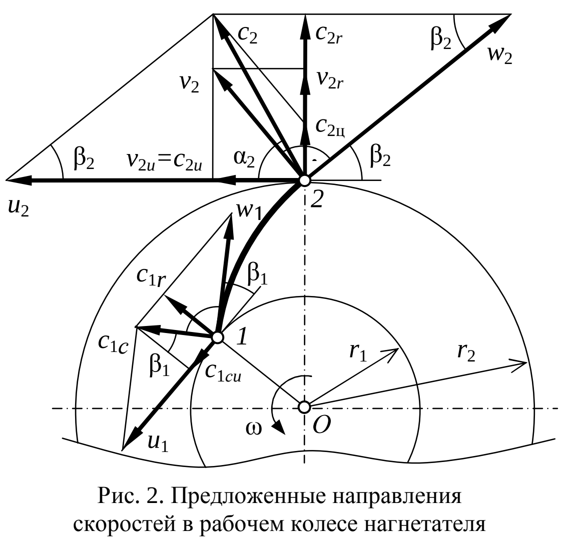

Рис. 2. Предложенные направления скоростей в рабочем колесе нагнетателя

Абсолютная скорость среды на выходе из рабочего колеса нагнетателя складывается из скорости движения среды v_2 под действием лопастей колеса в направлении, перпендикулярном плоскости лопасти:

$$v_2 = u_2 \frac{\sin\beta_2}{1+\sin\beta_2\cos\beta_2}, \tag{1}$$

и скорости среды $c_{2ц}$ под действием центробежной силы в радиальном направлении:

$$c_{2ц} = u_2 \frac{\sin^2\beta_2}{1+\sin\beta_2\cos\beta_2}. \tag{2}$$

Скорость движения среды v_2 под действием лопастей колеса разделена на две составляющие:

- в направлении окружной скорости

$$v_{2u} = u_2 \frac{\sin^2\beta_2}{1+\sin\beta_2\cos\beta_2}; \tag{3}$$

- в радиальном направлении

$$v_{2r} = u_2 \frac{\sin\beta\cos\beta}{1+\sin\beta_2\cos\beta_2}. \tag{4}$$

При движении среды в тангенциальном направлении со скоростью v_{2u} создается динамическое давление радиального нагнетателя, определяемое по следующей формуле:

$$P_u = \rho u_2^2 \frac{\sin^2\beta_2}{1+\sin\beta_2\cos\beta_2}, \tag{5}$$

где ρ – плотность среды, кг/м^3.

При движении среды в радиальном направлении со скоростью v_{2r} создается часть статического давления радиального нагнетателя, определяемого как

$$P_r = \rho u_2^2 \frac{\cos^2 \beta_2}{1 + \sin\beta_2 \cos\beta_2}, \tag{6}$$

а со скоростью $c_{2ц}$ – вторая часть статического давления, определяемого зависимостью

$$P_ц = \frac{\rho u_2^2}{2} \left(\frac{\sin^2 \beta_2}{1 + \sin\beta_2 \cdot \cos\beta_2} \right)^2. \tag{7}$$

Потери давления, необходимого для разгона среды до скорости, с которой она выходит из межлопастного пространства, составляют

$$P_{ск} = \frac{\rho u_2^2}{2} \left(\frac{\sin^2 \beta_2 + \sin\beta_2 \cdot \cos\beta_2}{1 + \sin\beta_2 \cdot \cos\beta_2} \right)^2. \tag{8}$$

Общее давление радиального нагнетателя определяется по формуле

$$P_{общ} = P_и \pm P_r + P_ц - P_{ск}, \tag{9}$$

в которой положительное значение P_r принимается при $\beta < 90°$, а отрицательное – при $\beta > 90°$.

Приведенные формулы (1)–(9) справедливы при постоянстве угла наклона лопастей по радиусу колеса и отсутствии закручивания среды при ее входе в рабочее колесо.

Основная часть. Найдем зависимости для определения давления, создаваемого радиальным нагнетателем, при изменяющемся угле наклона лопастей β по радиусу колеса. Для этого проинтегрируем преобразованные зависимости (5)–(8):

$$\frac{P_и}{\rho u_2^2} = \int_{\beta_1}^{\beta_2} \frac{\sin^2 \beta \, d\beta}{1 + \sin\beta \cdot \cos\beta}; \tag{10}$$

$$\frac{P_r}{\rho u_2^2} = \int_{\beta_1}^{\beta_2} \frac{\cos^2 \beta \, d\beta}{1 + \sin\beta \cdot \cos\beta}; \tag{11}$$

$$\frac{P_ц}{\rho u_2^2} = \int_{\beta_1}^{\beta_2} \frac{1}{2} \left(\frac{\sin^2 \beta}{1 + \sin\beta \cdot \cos\beta} \right)^2 d\beta; \tag{12}$$

$$\frac{P_{ск}}{\rho u_2^2} = \int_{\beta_1}^{\beta_2} \frac{1}{2} \left(\frac{\sin^2 \beta + \sin\beta \cdot \cos\beta}{1 + \sin\beta \cdot \cos\beta} \right)^2 d\beta. \tag{13}$$

Для решения поставленной задачи преобразуем формулы (10)–(13) с учетом следующих выражений:

$$\sin^2 \beta = \frac{1 - \cos 2\beta}{2}; \tag{14}$$

$$\sin\beta \cdot \cos\beta = \frac{\sin 2\beta}{2}; \tag{15}$$

$$\cos^2 \beta = \frac{1 + \cos 2\beta}{2}. \tag{16}$$

$$\frac{P_и}{\rho u_2^2} = \int_{\beta_1}^{\beta_2} \frac{1 - \cos 2\beta}{2 + \sin 2\beta} d\beta; \tag{17}$$

$$\frac{P_r}{\rho u_2^2} = \int_{\beta_1}^{\beta_2} \frac{1 + \cos 2\beta}{2 + \sin 2\beta} d\beta; \tag{18}$$

$$\frac{P_{\text{ц}}}{\rho u_2^2} = \int_{\beta_1}^{\beta_2} \frac{1}{2} \left(\frac{1 - \cos 2\beta}{2 + \sin 2\beta} \right)^2 d\beta. \quad (19)$$

$$\frac{P_{\text{ск}}}{\rho u_2^2} = \int_{\beta_1}^{\beta_2} \frac{1}{2} \left(\frac{1 + \sin 2\beta - \cos 2\beta}{2 + \sin 2\beta} \right)^2 d\beta. \quad (20)$$

Интегралы (17) и (18) рационализируются подстановкой [6]

$$\text{tg}\beta = z, \quad (21)$$

откуда

$$\sin 2\beta = \frac{2z}{1+z^2}; \quad \cos 2\beta = \frac{1-z^2}{1+z^2}; \quad d\beta = \frac{dz}{1+z^2}. \quad (22)$$

С учетом формул (22) интегралы (17) и (18) принимают вид:

$$\frac{P_u}{\rho u_2^2} = \int_{\beta_1}^{\beta_2} \frac{1 - \cos 2\beta}{2 + \sin 2\beta} d\beta = \int_{z_1}^{z_2} \frac{z^2 dz}{\left(1 + z + z^2\right)\left(1 + z^2\right)}; \quad (23)$$

$$\frac{P_r}{\rho u_2^2} = \int_{\beta_1}^{\beta_2} \frac{1 + \cos 2\beta}{2 + \sin 2\beta} d\beta = \int_{z_1}^{z_2} \frac{dz}{\left(1 + z + z^2\right)\left(1 + z^2\right)}. \quad (24)$$

Разложим подынтегральную дробь правой части уравнения (23) на простейшие:

$$\frac{z^2 dz}{\left(1 + z + z^2\right)\left(1 + z^2\right)} = \frac{Az + B}{1 + z + z^2} + \frac{Cz + D}{1 + z^2}. \quad (25)$$

Освобождаясь от знаменателей, получаем

$$z^2 = (Az + B)\left(1 + z^2\right) + (Cz + D)\left(1 + z + z^2\right) = B + D + z(A + C + D) + z^2(B + C + D) + z^3(A + C).$$

Приравняем коэффициенты при одинаковых степенях z:

$$\left.\begin{aligned} &B + D = 0; \\ &A + C + D = 0; \\ &B + C + D = 1; \\ &A + C = 0. \end{aligned}\right\}$$

Решив эту систему уравнений, находим $A = -1$, $B = 0$, $C = 1$, $D = 0$ и получаем разложение дроби (25):

$$\frac{z^2}{\left(1 + z + z^2\right)\left(1 + z^2\right)} = -\frac{z}{1 + z + z^2} + \frac{z}{1 + z^2}.$$

Интегрируя почленно, выводим [6]

$$-\int_{z_1}^{z_2} \frac{z\,dz}{1 + z + z^2} = \left| \frac{1}{\sqrt{3}} \text{arctg} \frac{2z+1}{\sqrt{3}} - 0,5 \ln\left(1 + z + z^2\right) \right|_{z_1}^{z_2}.$$

$$\int_{z_1}^{z_2} \frac{z\,dz}{1 + z^2} = \left| 0,5 \ln\left(1 + z^2\right) \right|_{z_1}^{z_2}.$$

Суммированием двух последних зависимостей получаем решение правой части уравнения (23):

$$\int_{z_1}^{z_2} \frac{z^2 dz}{\left(1 + z + z^2\right)\left(1 + z^2\right)} = \left| \frac{1}{\sqrt{3}} \text{arctg} \frac{2z+1}{\sqrt{3}} - 0,5 \ln\left(1 + z + z^2\right) + 0,5 \ln\left(1 + z^2\right) \right|_{z_1}^{z_2}. \quad (26)$$

Возвращаясь к переменной β, находим зависимость динамического давления радиального нагнетателя в соответствии с уравнением (17):

$$\frac{P_u}{\rho u_2^2} = \left| \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{arctg} \frac{2\operatorname{tg}\beta + 1}{\sqrt{3}} - 0,5 \ln\left(1 + 0,5 \sin 2\beta\right) \right|_{\beta_1}^{\beta_2} . \qquad (27)$$

Разложим подынтегральную дробь правой части уравнения (24) на простейшие

$$\frac{1}{\left(1 + z + z^2\right)\left(1 + z^2\right)} = \frac{Az + B}{1 + z + z^2} + \frac{Cz + D}{1 + z^2} . \qquad (28)$$

Освобождаясь от знаменателей, получаем

$$z = (Az + B)(1 + z^2) + (Cz + D)(1 + z + z^2) = B + D + z(A + C + D) + z^2(B + C + D) + z^3(A + C) .$$

Приравняем коэффициенты при одинаковых степенях z

$$\left.\begin{aligned} &B + D = 1; \\ &A + C + D = 0; \\ &B + C + D = 0; \\ &A + C = 0. \end{aligned}\right\}$$

Решив эту систему, находим $A = 1$, $B = 1$, $C = -1$, $D = 0$ и получаем разложение дроби (28):

$$\frac{1}{\left(1 + z + z^2\right)\left(1 + z^2\right)} = \frac{z}{1 + z + z^2} + \frac{1}{1 + z + z^2} - \frac{z}{1 + z^2} .$$

Интегрируя почленно, находим [6]

$$\int_{z_1}^{z_2} \frac{z\,dz}{1 + z + z^2} = \left| \frac{1}{2} \ln\left(1 + z + z^2\right) \right|_{z_1}^{z_2} - \left| \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{arctg} \frac{2z + 1}{\sqrt{3}} \right|_{z_1}^{z_2} .$$

$$\int_{z_1}^{z_2} \frac{dz}{1 + z + z^2} = \left| \frac{2}{\sqrt{3}} \operatorname{arctg} \frac{2z + 1}{\sqrt{3}} \right|_{z_1}^{z_2} ;$$

$$-\int_{z_1}^{z_2} \frac{z\,dz}{1 + z^2} = -0,5 \left| \ln\left(1 + z^2\right) \right|_{z_1}^{z_2} .$$

Суммированием трех последних выражений получаем решение правой части уравнения (24)

$$\int_{z_1}^{z_2} \frac{dz}{\left(1 + z + z^2\right)\left(1 + z^2\right)} = \left| \frac{2}{\sqrt{3}} \operatorname{arctg} \frac{2z + 1}{\sqrt{3}} + 0,5 \ln \frac{1 + z + z^2}{1 + z^2} \right|_{z_1}^{z_2} . \qquad (29)$$

Возвращаясь к углу β, выводим выражение радиального давления, создаваемого лопастями, в соответствии с уравнением (18):

$$\frac{P_r}{\rho u^2} = \left| \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{arctg} \frac{2\operatorname{tg}\beta + 1}{\sqrt{3}} + 0,5 \ln\left(1 + 0,5 \sin 2\beta\right) \right|_{\beta_1}^{\beta_2} . \qquad (30)$$

Подставим выражения (22) в формулу (19):

$$\frac{P_ц}{\rho u^2} = \int_{\beta_1}^{\beta_2} \frac{1}{2} \left(\frac{1 - \cos 2\beta}{2 + \sin 2\beta} \right)^2 d\beta = \frac{1}{2} \int_{z_1}^{z_2} \frac{z^4 dz}{\left(1 + z + z^2\right)^2 \left(1 + z^2\right)} . \qquad (31)$$

Разложим подынтегральную дробь правой части выражения (31) на простейшие:

$$\frac{z^4}{\left(1+z+z^2\right)^2\left(1+z^2\right)}=\frac{Az+B}{\left(1+z+z^2\right)^2}+\frac{Cz+D}{1+z+z^2}+\frac{Ez+F}{1+z^2}. \qquad (32)$$

Освобождаясь от знаменателей, получаем

$$z^4=\left(Az+B\right)\left(1+z^2\right)+\left(Cz+D\right)\left(1+z+z^2\right)\left(1+z^2\right)+\left(Ez+F\right)\left(1+z+z^2\right)^2=$$

$$=B+D+F+z\left(A+C+D+E+2F\right)+z^2\left(B+C+2D+2E+3F\right)+$$

$$z^3\left(A+2C+D+3E+2F\right)+z^4\left(C+D+2E+F\right)+z^5\left(C+E\right).$$

Приравняем коэффициенты при одинаковых степенях z:

$$\left.\begin{aligned}&B+D+F=0;\\&A+C+D+E+2F=0;\\&B+C+2D+2E+3F=0;\\&C+D+2E+F=1;\\&C+E=0.\end{aligned}\right\}$$

Решив эту систему, находим A = 0, B = – 1, C = 0, D = 2, E = 0, F = – 1 и получаем разложение дроби (32):

$$\frac{z^4}{\left(1+z+z^2\right)^2\left(1+z^2\right)}=-\frac{1}{\left(1+z+z^2\right)^2}+\frac{2}{1+z+z^2}-\frac{1}{1+z^2}. \qquad (33)$$

Проинтегрируем первую дробь правой части уравнения (33) с учетом подстановки

$$z+0,5=x. \qquad (34)$$

$$-\int_{z_1}^{z_2}\frac{dz}{\left(1+z+z^2\right)^2}=-\int_{x_1}^{x_2}\frac{dx}{\left(x^2+k^2\right)^2}=-\frac{1}{2k^2}\left[\left|\frac{x}{x^2+k^2}\right|_{x_1}^{x_2}+\int_{x_1}^{x_2}\frac{dx}{x^2+k^2}\right],$$

где $x = z + 0,5$; $k^2 = 0,75$.

Подставляя значение k и возвращаясь к переменной z, получаем

$$-\int_{z_1}^{z_2}\frac{dz}{\left(1+z+z^2\right)^2}=-\int_{x_1}^{x_2}\frac{dx}{\left(x^2+k^2\right)^2}=-\left|\frac{2}{3}\,\frac{z+0,5}{1+z+z^2}\right|_{z_1}^{z_2}-\left|\frac{4}{3\sqrt{3}}\operatorname{arctg}\frac{2z+1}{\sqrt{3}}\right|_{z_1}^{z_2}. \qquad (35)$$

Интегрируя два последних члена правой части уравнения (33), находим [6]

$$\int_{z_1}^{z_2}\frac{2dz}{1+z+z^2}=\left|\frac{4}{\sqrt{3}}\operatorname{arctg}\frac{2z+1}{\sqrt{3}}\right|_{z_1}^{z_2}; \qquad (36)$$

$$-\int_{z_1}^{z_2}\frac{dz}{1+z^2}=-\left|\operatorname{arctg} z\right|_{z_1}^{z_2}. \qquad (37)$$

Суммированием зависимостей (35)–(37) получаем решение правой части уравнения (31)

$$\int_{z_1}^{z_2}\frac{z^4dz}{\left(1+z+z^2\right)^2\left(1+z^2\right)}=\left|\frac{8}{3\sqrt{3}}\operatorname{arctg}\frac{2z+1}{\sqrt{3}}-\frac{2}{3}\,\frac{2z+1}{1+z+z^2}-\operatorname{arctg} z\right|_{z_1}^{z_2}. \qquad (38)$$

Возвращаясь к углу β, выводим выражение радиального давления, создаваемого центробежной силой, в соответствии с уравнением (12):

$$\frac{P_{\text{ц}}}{\rho u^2} = \left|\frac{4}{3\sqrt{3}}\operatorname{arctg}\frac{2\operatorname{tg}\beta+1}{\sqrt{3}} - \frac{\cos\beta}{3}\cdot\frac{2\sin\beta+\cos\beta}{2+\sin 2\beta} - 0,5\beta\right|_{\beta_1}^{\beta_2}. \tag{39}$$

С учетом формул (22) интеграл (13) принимает вид

$$\frac{P_{\text{ск}}}{\rho u^2} = \int_{\beta_1}^{\beta_2}\frac{1}{2}\left(\frac{1+\sin 2\beta-\cos 2\beta}{2+\sin 2\beta}\right)^2 d\beta = \int_{z_1}^{z_2}\frac{1}{2}\frac{z^2dz}{\left(1+z+z^2\right)\left(1-z^2\right)} + \int_{z_1}^{z_2}\frac{1}{2}\frac{z^3dz}{\left(1+z+z^2\right)\left(1-z^2\right)}. \tag{40}$$

Решением первого интеграла правой части уравнения (40) является зависимость (26), деленная пополам

$$\int_{z_1}^{z_2}\frac{1}{2}\frac{z^2dz}{\left(1+z+z^2\right)\left(1-z^2\right)} = \left|\frac{1}{2\sqrt{3}}\operatorname{arctg}\frac{2z+1}{\sqrt{3}} - 0,25\ln\left(\frac{1+z+z^2}{1+z^2}\right)\right|_{z_1}^{z_2}. \tag{41}$$

Разложим вторую подынтегральную дробь правой части уравнения (40) на простейшие

$$\frac{0,5z^3dz}{\left(1+z+z^2\right)^2\left(1-z^2\right)} = \frac{Az+B}{\left(1+z+z^2\right)^2} + \frac{Cz+D}{1+z+z^2} + \frac{Ez+F}{1+z^2}. \tag{42}$$

Освобождаясь от знаменателей, получаем

$$0,5z^3 = (Az+B)\left(1+z^2\right) + (Cz+D)\left(1+z+z^2\right)\left(1+z^2\right) + (Ez+F)\left(1+z+z^2\right)^2 = B+D+F+z(A+C+D+E+F)+$$

$$+z^2(B+C+2D+2E+3F)+z^3(A+2C+D+3E+2F)+z^4(C+D+2E+F)+z^5(C+E).$$

Приравняем коэффициенты при одинаковых степенях z

$$\left.\begin{aligned} &B+D+F=0;\\ &A+C+D+E+2F=0;\\ &B+C+2D+2E+3F=0;\\ &A+2C+D+3E+2F=0,5;\\ &C+D+2E+F=0;\\ &C+E=0. \end{aligned}\right\}$$

Решив эту систему уравнений, находим A = 0,5; B = 0,5; C = – 0,5; D = – 0,5; E = 0,5; F = 0 и получаем разложение дроби (42):

$$\frac{0,5z^3}{\left(1+z+z^2\right)^2\left(1-z^2\right)} = \frac{0,5(z+1)}{\left(1+z+z^2\right)^2} - \frac{0,5(z+1)}{1+z+z^2} + \frac{0,5z}{1+z^2}. \tag{43}$$

Приведем первую дробь правой части уравнения (43) к виду [6]

$$\frac{0,5(z+1)}{\left(1+z+z^2\right)^2} = \frac{0,5y+0,25}{\left(y^2+k^2\right)^2},$$

где $y = z + 0,5$; $k^2 = 0,75$.

В результате интегрирования правой части последней зависимости получаем

$$\int_{y_1}^{y_2}\frac{0,5y+0,25}{\left(y^2+k^2\right)^2}dy = \left|-\frac{0,25}{y^2+k^2} + \frac{0,125}{k^2}\left(\frac{y}{y^2+k^2} + \frac{y}{k}\operatorname{arctg}\frac{y}{k}\right)\right|_{y_1}^{y_2}.$$

Подставляя значение k и возвращаясь к переменной z, находим

$$\int_{z_1}^{z_2} \frac{0,5(z+1)}{\left(1+z+z^2\right)^2} dz = \left| \frac{1}{3\sqrt{3}} \operatorname{arctg} \frac{2z+1}{\sqrt{3}} + \frac{0,5}{3} \frac{z+0,5}{1+z+z^2} - \frac{0,25}{1+z+z^2} \right|_{z_1}^{z_2}. \tag{44}$$

Интегрированием второй и третьей дробей правой части уравнения (43) получаем [6]

$$-\int_{z_1}^{z_2} \frac{0,5(z+1)}{1+z+z^2} dz = \left| -0,25 \ln\left(1+z+z^2\right) - \frac{0,5}{\sqrt{3}} \operatorname{arctg} \frac{2z+1}{\sqrt{3}} \right|_{z_1}^{z_2}. \tag{45}$$

$$\int_{z_1}^{z_2} \frac{0,5\, z\, dz}{1+z^2} = 0,25 \ln\left(1+z^2\right). \tag{46}$$

Суммированием трех последних зависимостей выводим решение правой части уравнения (43)

$$\int_{z_1}^{z_2} \frac{z^3 dz}{\left(1+z+z^2\right)^2 \left(1+z^2\right)} = \left| \frac{0,5}{3}\left(1+z+z^2\right) - \frac{1}{6\sqrt{3}} \operatorname{arctg} \frac{2z+1}{\sqrt{3}} - 0,25 \ln\left(\frac{1+z+z^2}{1+z^2}\right) \right|_{z_1}^{z_2}. \tag{47}$$

Суммированием выражений (43) и (41) отыскиваем решение зависимости (40)

$$\frac{P_{\text{ск}}}{\rho u^2} = \left| \frac{0,5}{3}\left(1+z+z^2\right) + \frac{1}{3\sqrt{3}} \operatorname{arctg} \frac{2z+1}{\sqrt{3}} - 0,25 \ln\left(\frac{1+z+z^2}{1+z^2}\right) \right|_{z_1}^{z_2}. \tag{48}$$

Возвращаясь к углу β, получаем выражение потерь давления для разгона среды до скорости, с которой она выходит из межлопастного пространства колеса радиального нагнетателя в соответствии с уравнением (13):

$$\frac{P_{\text{ск}}}{\rho u_2^2} = \left| \frac{1}{3} \frac{\cos\beta(\sin\beta - \cos\beta)}{1+\sin\beta} + \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{arctg} \frac{2\operatorname{tg}\beta + 1}{\sqrt{3}} - 0,5 \ln(1+0,5\sin 2\beta) \right|_{\beta_1}^{\beta_2}. \tag{49}$$

Графически полученные зависимости проиллюстрированы на рисунке 3.

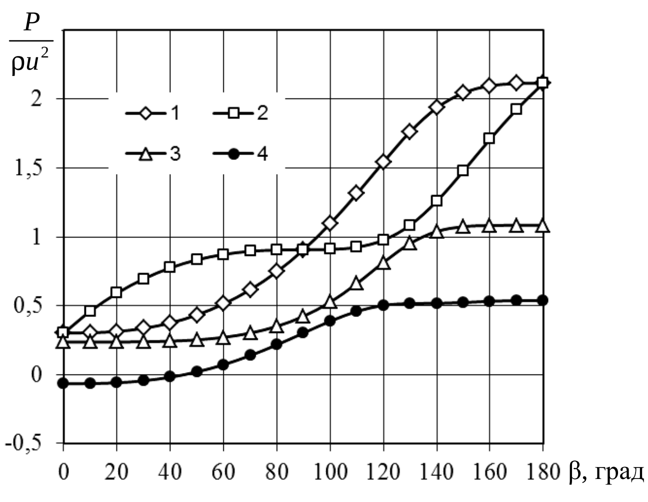

Рис. 3. Зависимость давлений радиального нагнетателя от угла наклона лопастей β:
1 – $P_u / \rho u^2$; 2 – $P_r / \rho u^2$; 3 – $P_{\text{ц}} / \rho u^2$; 4 – $P_{\text{ск}} / \rho u^2$; 5 – $P_{\text{общ}} / \rho u^2$

Из рисунка видно, что функция, определяемая выражением (27), (кривая 1) при увеличении угла наклона лопастей непрерывно возрастает. Следовательно, при углах наклона лопастей на выходе из колеса, бóльших соответствующих величин на входе, динамическое давление, определяемое формулой (27), всегда будет иметь положительное значение. При углах $\beta < 40°$ и $\beta > 150°$ прирост функции невелик, поэтому с точки зрения увеличения значения динамического давления углы наклона лопастей целесообразно располагать в диапазоне $40° < \beta < 150°$.

Функция согласно выражению (30) (кривая 2) по мере увеличения угла наклона лопастей заметно возрастает при $\beta < 60°$ и $\beta > 120°$, что обусловлено нулевыми значениями статического давления P_r при $\beta = 90°$ и минимальными изменениями его величины вблизи указанного угла.

Функция по формуле (39) (кривая 3) значительно возрастает в диапазоне $\beta = 60…140°$ и практически не меняется вне указанного диапазона, в связи с соответствующим изменением тангенциальной составляющей скорости движения среды.

Функция, определяющая величину скоростного напора по зависимости (49) (кривая 4), практически не изменяется при $\beta > 120°$, что связано с постоянством радиальной скорости движения среды в этой области.

В целом значительное увеличение активных составляющих давления радиального нагнетателя (P_u, P_r и $P_ц$) наблюдается при углах наклона лопастей на выходе из колеса, больших 90°, то есть когда они отогнуты по направлению вращения.

Заключение. Для увеличения скоростного давления радиального нагнетателя нецелесообразно использовать углы наклона лопастей меньше 40° и больше 150°. Статическое давление, создаваемое лопастями колеса, практически не изменяется в диапазоне $60^o < \beta < 120°$. Максимальные величины рассмотренных составляющих давления радиального нагнетателя могут быть получены при углах наклона лопастей на выходе из колеса больше 90°.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черкасский, В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры / В.М. Черкасский. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М.: Химия, 1971.
3. Павлечко, В.Н. Влияние угла наклона лопастей на давление радиального нагнетателя / В.Н. Павлечко, С.К. Протасов // Химическая промышленность. – 2014. – Т. 91, № 5. – С. 252–258.
4. Павлечко, В.Н. К вопросу о теоретическом давлении радиального нагнетателя / В.Н. Павлечко, С.К. Протасов // ИФЖ. – 2014. – Т. 87, № 6. – С. 1448–1454.
5. Павлечко, В.Н. К вопросу о теоретическом давлении радиального нагнетателя с учетом силы Кориолиса / В.Н. Павлечко, С.К. Протасов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Прикладные науки. – 2014. – № 11. – С. 81–84.
6. Выгодский, М.Я. Справочник по высшей математике / М.Я. Выгодский. – М.: Наука, 1969.

Поступила 09.03.2015

THEORETICAL PRESSURE OF RADIAL BLOWER AT DIFFERENT BLADE ANGLES

V. PAVLECKO, S. PRATASAU

The equations relating dynamic and static pressures generated by a radial fan blower, static pressure caused by a centrifugal force, and a pressure drop due to acceleration of the medium to the final speed with radially changed blade angles are derived. The graphical dependences of these pressures on the blade angle are presented. It was found that the dynamic pressure caused by the blades does not change significantly for the inlet blade angle below 40^o and the outlet blade angle above 150^o. The maximal dynamic and static pressures generated by the blower can be obtained at the outlet blade angles exceeding 90^o.