№ 10 2006

# ТРАНСПОРТНОЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

621.43.052

## ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ РАДИАЛЬНОСТИ СТУПЕНИ ТУРБИНЫ НА ОПТИМАЛЬНОЕ ОТНОШЕНИЕ ОКРУЖНОЙ СКОРОСТИ К АДИАБАТИЧЕСКОЙ

*Канд. техн. наук, доц. И.А. БАРСКИЙ, канд. техн. наук, доц. Н.К. ШАТАЛОВ, асп. Е.В. ДАНИЛОВ*

*Получены уравнения для определения влияния степени радиальности и других параметров ступени на оптимальное отношение $u/c_{ад}$.*

*It is received the equation for defining of radial ratio influence and other parameters of turbine stage on optimal $u/c_{ад}$ ratio.*

Выражения для оптимального отношения $X_{опт} = u/c_{ад}$ были получены для осевых ступеней при степенях реактивности $\rho$, равных нулю и 0,5, более ста лет назад [1]. Вопрос о влиянии степени радиальности ступени на ее параметры, в том числе на отношение $X_{опт}$ подробно исследован в работах В.Т. Митрохина [2, 3].

Можно приближенно найти величину $X_{опт}$ для ступеней с любой степенью радиальности $\mu = \frac{u_2}{u_1}$, разными коэффициентами скорости $\varphi$ и $\psi$, любыми углами $\alpha_1$ и $\beta_1$, если принять, что максимум к.п.д. ступени $\eta_u$ достигается при осевом выходе потока из ступени $\alpha_2 = 90^\circ$. При этом окружная составляющая абсолютной скорости на выходе из колеса равна нулю, т.е.

$$c_{2u} = w_2 \cos\beta_2 - \mu u_1 = 0. \qquad (1)$$

Относительная скорость на выходе из рабочего колеса

$$w_2 = \phi c_{ад}\sqrt{\varphi^2(1-\rho) + X^2 - 2X\cos\alpha_1\sqrt{1-\rho} + \rho - (1-\mu^2)X^2}\,, \qquad (2)$$

где $X = u/c_{ад}$; $c_{ад} = \sqrt{2H}$ — адиабатическая скорость в ступени.

Подставив (2) в (1), получим формулу для вычисления оптимального отношения $u/c_{ад}$

$$X_{опт} = \frac{\sqrt{B^2 + 4AC} - B}{2A}, \qquad (3)$$

где $A = \mu^2(1 - \phi^2\cos^2\beta_2)$; $B = 2\varphi\phi^2\cos\alpha_1\cos^2\beta_2\sqrt{1-\rho}$; $C = \varphi^2\cos^2\beta(\varphi^2(1-\rho)+\rho)$.

По этому уравнению можно определить оптимальное отношение $u/c_{ад}$ для любой ступени как осевой ($\mu = 0{,}95 - 1{,}05$), так и радиальной турбины ($\mu \neq 1$).

По уравнению (3) рассчитана зависимость $X_{опт}$ от $\mu = \frac{u_2}{u_1} = \frac{D_2}{D_1}$ ($\rho = 0{,}35$, $\alpha_1 = \beta_2 = 20^\circ$, $\varphi = \psi = 0{,}95$), данные приведены в таблице.

*Таблица*

| $\mu = D_2 / D_1$ | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 |
|---|---|---|---|---|
| $X_{опт}$ | 0,63 | 0,61 | 0,58 | 0,57 |

Видно, что с ростом степени радиальности $X_{опт}$ уменьшается приближенно

$$X_{опт} = 0{,}68 - 0{,}1\mu.$$

Для осевой ступени ($\mu = 1$) можно получить простые приближенные уравнения для определения $X_{опт}$, используя известное выражение

$$X_{опт} = \frac{2u(c_{1u} - c_{2u})}{c_{ад}^2}. \quad (4)$$

При $c_{2u} = 0$ после очевидных преобразований получим

$$X_{опт} = \frac{\eta_u}{2\varphi\cos\alpha_1\sqrt{1-\rho}}. \quad (5)$$

Приняв наиболее распространенные величины $\eta_{u_{опт}}$ и $\alpha_1$, для осевой ступени приближенно получим

$$X_{опт} = \frac{0{,}45}{\sqrt{1-\rho}}. \quad (6)$$

Используя формулы (5) и (6), можно приближенно определить $(u/c_{ад})_{опт}$ в осевой ступени в зависимости от степени реактивности и угла $\alpha_1$. Уравнение (3) позволяет найти $(u/c_{ад})_{опт}$ в ступенях, в которых средние диаметры соплового аппарата меньше или больше среднего диаметра на выходе из рабочего колеса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щегляев А. В. Паровые турбины. — М.: Энергия, 1972. — 366 с.
2. Митрохин В. Т. Радиальные газовые турбины. — М.: Машиностроение, 1966. — 240 с.
3. Митрохин В. Т. Выбор параметров и расчет центростремительной турбины на стационарных и переходных режимах. — М.: Машиностроение, 1974. — 330 с.