

Введем безразмерные переменные

$$T' = \frac{T - T_\infty}{T_* - T_\infty}; \quad t' = \frac{t}{t_*}; \quad r' = \frac{r}{R_p}, \quad (5.14)$$

где T_* , t_* – характерные значения температуры воздуха и времени.

Используя обозначения (5.14), преобразуем уравнение (5.13) к виду:

$$\frac{\partial T'}{\partial t'} = \frac{A_1}{r'} \frac{\partial}{\partial r'} \left(r' \frac{\partial T'}{\partial r'} \right) + \frac{A_3}{t'} \exp \left[-\frac{(r' - 1)^2}{A_2 t'} \right]; \quad (5.15)$$

$$A_1 = \frac{\lambda t_*}{C \rho R_p^2}; \quad A_2 = \frac{2 \mu t_*}{\rho R^2}; \quad A_3 = \frac{V^2}{\pi C (T_* - T_\infty)} \quad (5.16)$$

являются безразмерными параметрами.

Граничные условия (5.5), (5.8) и начальное условие (5.7) в безразмерной форме имеют вид:

$$r' = 1; \quad \frac{\partial T'}{\partial r'} = A_4 \left[(T' + A_5)^4 - A_5^4 \right]; \quad (5.17)$$

$$r' = r'_\infty = 1 + \varepsilon_2 (2 A_2 t')^{1/2}; \quad T' = 0; \quad (5.18)$$

$$t' = 0; \quad T' = 0, \quad (5.19)$$

где

$$A_4 = \frac{\varepsilon \sigma (T_* - T_\infty)^3 R_p}{\lambda}; \quad A_5 = \frac{T_\infty}{T_* - T_\infty}. \quad (5.20)$$

Сравнивая граничное условие (5.18) с (5.6), замечаем, что в качестве бесконечно удаленной точки $r' \rightarrow \infty$ принимается точка на условной границе области течения воздуха $r' \rightarrow r_\infty$. При этом предполагается, что за пределами этой области температура воздуха равна T_∞ .

Уравнение (5.15) с граничными и начальными условиями (5.17)–(5.19) решалось численным методом при значениях параметров: $V = 10^4$ м/с; $T_\infty = 300$ °К; $\varepsilon = 0,5$; $R_p = 0,05$ м; $\varepsilon_2 = 2,6$. Гидродинамические и теплофизические параметры воздуха ρ , μ , λ , C принимались постоянными и соответствующими некоторой средней температуре T_0 . Результаты исследования

влияния выбора температуры T_0 на температуру T_w поверхности ротора в различные моменты времени сведены в таблице 5.2.

Из представленных в данной таблице значений T_w , вычисленных для одного момента времени, но различных значений температуры T_0 следует, что упрощающее допущение 8 в (5.2) для оценочных расчетов вполне допустимо. Температура T_w при увеличении T_0 от 293 °К до 2273 °К уменьшается не более, чем на 10–15 %, поэтому вычисленная температура поверхности ротора при гидродинамических и теплофизических параметрах воздуха ρ , μ , λ , C , соответствующих значению $T_0 = 293$ °К, дает верхнюю оценку для T_w . В дальнейшем расчеты выполнены для температуры $T_0 = 293$ °К.

При обсуждении варианта ротора ОТС без защитной вакуумной оболочки представляет интерес зависимость температуры T_w поверхности ротора от времени, представленная на рисунке 33. В рамках рассматриваемой математической модели наиболее высокие температуры ожидаются в момент старта ($t = 0$). Из уравнения теплопереноса следует, что внезапное импульсное соприкосновение быстро движущейся поверхности с воздухом приводит в начальный момент к бесконечно большой температуре поверхности. Реально же в момент старта верхняя оценка температуры воздуха на поверхности ротора соответствует температуре полного торможения. В дальнейшем температура быстро падает и уже через 0,05 с составляет около 2000 °К.

Разогрев до такой температуры вызовет интенсивное тепловое излучение с поверхности ротора. На рисунке 34 для рассматриваемого примера показана зависимость мощности $W_{\text{изл}}$ излучения в расчете на 1 м длины ротора, а на рисунке 35 – зависимость плотности $q_{\text{изл}}$ потока излучения на поверхности ротора от времени. $W_{\text{изл}}$ и $q_{\text{изл}}$ с учетом результатов решения уравнения (5.15) вычислялись по формулам

$$q_{\text{изл}} = \varepsilon \sigma (T_w^4 - T_\infty^4); \quad W_{\text{изл}} = 2 \pi R_p q_{\text{изл}}.$$

Здесь также наблюдается резкое снижение этих величин с течением времени.

Таблица 5.2 – Влияние температуры воздуха на температуру поверхности ротора

T_0 , °К	Температура T_w (°К) поверхности ротора в момент времени		
	$t = 0,0006$ с	$t = 0,003$ с	$t = 0,06$ с
293	3110	2120	2010
873	3110	2050	1940
2273	3000	1970	1870