



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА)



# Домашнее задание

## Аэродинамический нагрев

Вариант 4

---

ВЫПОЛНИЛ СТУДЕНТ ГРУППЫ СМ13-31М:

ГОРБУНОВА КРИСТИНА ВИКТОРОВНА.

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ:

ТИМОШЕНКО В. П.

# Вариант 4

---

Рассчитать  $q_{conv}$  и  $T_{aw}$  для критической точки сферического носка (ламинарный режим) и для звуковой точки сферического носка (турбулентный режим). Результаты представить в виде численных значений.

Рассчитать распределение  $q_{conv}(\theta)$  и  $T_{aw}(\theta)$  для  $\theta=0\dots\pi/2$

$R=0,1; 1,0$  м

$H=36000$  м,  $V=1600$  м/с

Формулы (3), (4), (5), (6), (7) – сравнить соответствующие результаты на одном графике для каждого значения  $R$ .

$$T_{bes} := 239.282 \quad \gamma := 1.4 \quad a := 20.046796 \cdot \sqrt{T_{bes}} = 310.099 \quad A1 := \frac{3200}{T_{bes}} = 13.373 \quad A2 := \frac{1000}{T_{bes}} = 4.179$$

$$c_{psr} := 1002.32 + 300 \cdot \frac{A1}{(e^{A1} - 1)} + 15 \cdot \frac{A2}{(e^{A2} - 1)} = 1003.301$$

$$M_{bes} := \frac{V_{bes}}{a} = 5.16$$

$$h_e := c_{psr} \cdot T_{bes} \cdot \left( 1 + \frac{\gamma - 1}{2} \cdot M_{bes}^2 \right) = 1.5183 \times 10^6$$

№	Параметр	Значение
1	$T_{\infty}$	239.282 К
2	$\bar{c}_p(T_{\infty})$	1003.301 Дж/(кг*К)
3	$\gamma$	1.4
4	$H_{\infty}$	36000 м
5	$V_{\infty}$	1600 м/с
6	$a_{\infty}$	310.099 м/с
7	$M_{\infty}$	5.16
8	$h_e$	$1.5183 \cdot 10^6$ Дж/кг

$$\rho_{bes} := 7.25789 \cdot 10^{-3} \quad h_e := c_{psr} \cdot T_{bes} \cdot \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} \cdot M_{bes}^2\right) = 1.5183 \times 10^6$$

$$\alpha_{h03} := \frac{2.56 \cdot 10^{-5}}{h_e} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{bes}}{R}} \cdot V_{bes}^{3.25} = 0.1177 \quad \epsilon \cdot \sigma = 4.536 \times 10^{-8}$$

$$c_{pTwf3} := 1002.32 + 300 \cdot \frac{\frac{3200}{T_{w6}}}{\left(e^{\frac{3200}{T_{w6}}} - 1\right)} + 15 \cdot \frac{\frac{1000}{T_{w6}}}{\left(e^{\frac{1000}{T_{w6}}} - 1\right)} = 1054.7828$$

$$T_{w1}(x) := \frac{\alpha_{h03} \cdot h_e + 3 \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot x^4}{\alpha_{h03} \cdot \left[ 1002.32 + 300 \cdot \frac{\frac{3200}{x}}{\left(e^{\frac{3200}{x}} - 1\right)} + 15 \cdot \frac{\frac{1000}{x}}{\left(e^{\frac{1000}{x}} - 1\right)} \right] + 4 \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot x^3}$$

№	Параметр	Значение
1	$\rho_{\infty}$	$7.25789 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$
2	$V_{\infty}$	1600 м/с
3	$h_e$	$1.5183 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$
4	$\alpha_{h0}$	$0.1177 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$
5	$T_{aw}$	1029.279 К
6	$\bar{c}_{pw}(T_{aw})$	1054.7828 Дж/(кг*К)
7	$\epsilon\sigma$	$4.536 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
8	$\alpha_{h0}(h_e - \bar{c}_{pw} T_{aw})$	50910.206 Вт/м <sup>2</sup>
9	$\epsilon\sigma \cdot T_{aw}^4$	50910.206 Вт/м <sup>2</sup>

$$\alpha_{h04} := 0.193 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{bes}}{R}} \cdot V_{bes}^{1.08} = 0.15011$$

$$T_{ww1}(x) := \frac{\alpha_{h04} \cdot h_e + 3 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot x^4}{\alpha_{h04} \left[ 1002.32 + 300 \cdot \frac{\frac{3200}{x}}{\left( e^{\frac{3200}{x}} - 1 \right)} + 15 \cdot \frac{\frac{1000}{x}}{\left( e^{\frac{1000}{x}} - 1 \right)} \right] + 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot x^3}$$

$$c_{pTwf4} := 1002.32 + 300 \cdot \frac{\frac{3200}{T_{w6}}}{\left( e^{\frac{3200}{T_{w6}}} - 1 \right)} + 15 \cdot \frac{\frac{1000}{T_{w6}}}{\left( e^{\frac{1000}{T_{w6}}} - 1 \right)} = 1058.453$$

№	Параметр	Значение
1	$\rho_{\infty}$	$7.25789 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$
2	$V_{\infty}$	1600 м/с
3	$h_e$	$1.5183 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$
4	$\alpha_{h0}$	$0.15011 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$
5	$T_{aw}$	1065.919 К
6	$\bar{c}_{pw}(T_{aw})$	1058.454 Дж/(кг·К)
7	$\varepsilon \sigma$	$4.536 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$
8	$\alpha_{h0} (h_e - \bar{c}_{pw} T_{aw})$	58555.763 Вт/м <sup>2</sup>
9	$\varepsilon \sigma \cdot T_{aw}^4$	58555.763 Вт/м <sup>2</sup>

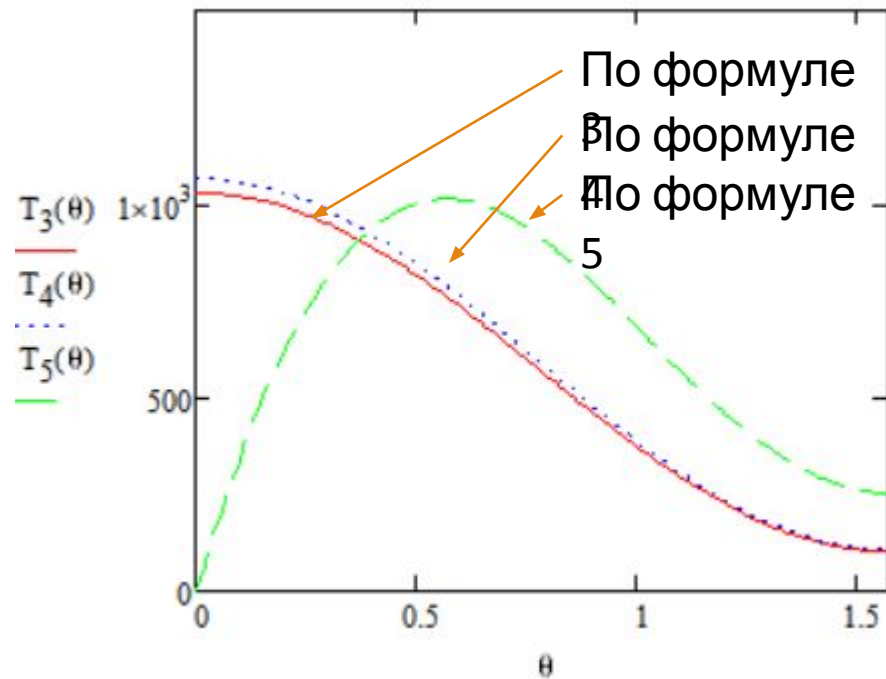
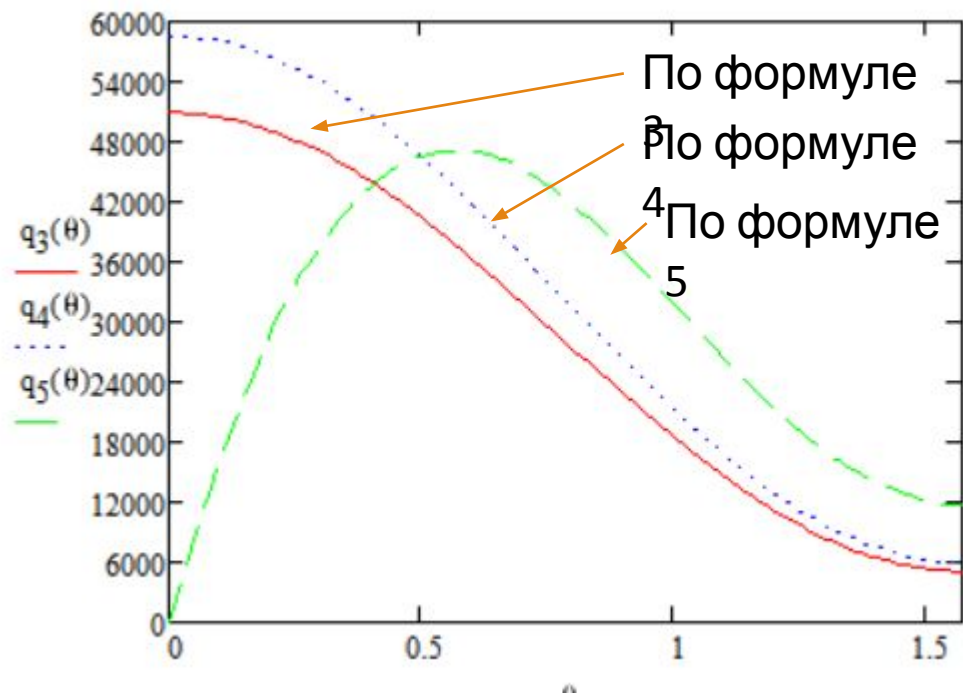
$$c_{pT_{wf5}} = 1002.32 + 300 \cdot \frac{\frac{3200}{T_{w6}}}{\left(\frac{3200}{T_{w6}} - 1\right)} + 15 \cdot \frac{\frac{1000}{T_{w6}}}{\left(\frac{1000}{T_{w6}} - 1\right)} = 1052.6869$$

$$\alpha_{h05p} = 0.469 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\rho_{bes}^{0.8}}{R^{0.2}} \cdot V_{bes}^{1.25} \cdot \left(1 + \frac{c_{pT_{wf5}} \cdot T_{w6}}{h_e}\right)^{-\left(\frac{2}{3}\right)} = 0.1027$$

$$T_{w1}(x) = \frac{0.469 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\rho_{bes}^{0.8}}{R^{0.2}} \cdot V_{bes}^{1.25} \cdot \left[1 + \frac{\left[1002.32 + 300 \cdot \frac{\frac{3200}{x}}{\left(\frac{3200}{x} - 1\right)} + 15 \cdot \frac{\frac{1000}{x}}{\left(\frac{1000}{x} - 1\right)}\right] \cdot x}{h_e}\right]^{-\left(\frac{2}{3}\right)}}{\left[1002.32 + 300 \cdot \frac{\frac{3200}{x}}{\left(\frac{3200}{x} - 1\right)} + 15 \cdot \frac{\frac{1000}{x}}{\left(\frac{1000}{x} - 1\right)}\right] + 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot x^3} \cdot h_e + 3 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot x^4$$

№	Параметр	Значение
1	$\rho_{\infty}$	$7.25789 * 10^{-3} \text{ кг/м}^3$
2	$V_{\infty}$	1600 м/с
3	$h_e$	$1.5183 * 10^6 \text{ Дж/кг}$
5	$T_{av}$	1008.395 К
6	$\bar{c}_{pw}(T_{av})$	1052.6869 Дж/(кг*К)
4	$\alpha_{h0}$	0.1027 кг/(м <sup>2</sup> *с)
7	$\varepsilon\sigma$	$4.536 * 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 * \text{К}^4)$
8	$\alpha_{h0}(h_e - \bar{c}_{pw}T_{av})$	46902.401 Вт/м <sup>2</sup>
9	$\varepsilon\sigma \cdot T_{av}^4$	46902.401 Вт/м <sup>2</sup>

Графики теплового потока и температуры по поверхности сферы для радиуса 0,1м



$$\alpha_{h03} := \frac{2.56 \cdot 10^{-5}}{h_e} \cdot \sqrt{\frac{P_{bes}}{R}} \cdot V_{bes}^{3.25} = 0.0372$$

$$T_{aw1}(x) := \frac{\alpha_{h03} \cdot h_e + 3 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot x^4}{\alpha_{h03} \left[ 1002.32 + 300 \cdot \frac{\frac{3200}{x}}{\left( e^{\frac{3200}{x}} - 1 \right)} + 15 \cdot \frac{\frac{1000}{x}}{\left( e^{\frac{1000}{x}} - 1 \right)} \right] + 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot x^3}$$

$$c_{p,T_{aw1}} := 1002.32 + 300 \cdot \frac{\frac{3200}{T_{w6}}}{\left( e^{\frac{3200}{T_{w6}}} - 1 \right)} + 15 \cdot \frac{\frac{1000}{T_{w6}}}{\left( e^{\frac{1000}{T_{w6}}} - 1 \right)} = 1036.9954$$

№	Параметр	Значение
1	$\rho_{\infty}$	$7.25789 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$
2	$V_{\infty}$	1600 м/с
3	$h_e$	$1.5183 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$
4	$\alpha_{h0}$	$0.0372 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$
5	$T_{aw}$	850.135 К
6	$\bar{c}_{pw}(T_{aw})$	1036.9954 Дж/(кг*К)
7	$\varepsilon \sigma$	$4.536 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$
8	$\alpha_{h0}(h_e - \bar{c}_{pw} T_{aw})$	23693.274 Вт/м <sup>2</sup>
9	$\varepsilon \sigma \cdot T_{aw}^4$	23693.274 Вт/м <sup>2</sup>



$$\alpha_{h0} := 0.193 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{bes}}{R}} \cdot V_{bes}^{1.08} = 0.04747$$

$$T_{w1}(x) := \frac{\alpha_{h0} \cdot h_e + 3 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot x^4}{\alpha_{h0} \left[ 1002.32 + 300 \cdot \frac{\frac{3200}{x}}{\left( e^{\frac{3200}{x}} - 1 \right)} + 15 \cdot \frac{\frac{1000}{x}}{\left( e^{\frac{1000}{x}} - 1 \right)} \right] + 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot x^3}$$

$$\bar{c}_{pT_{aw}} = 1002.32 + 300 \cdot \frac{\frac{3200}{T_{w6}}}{\left( e^{\frac{3200}{T_{w6}}} - 1 \right)} + 15 \cdot \frac{\frac{1000}{T_{w6}}}{\left( e^{\frac{1000}{T_{w6}}} - 1 \right)} = 1040.6836$$

№	Параметр	Значение
1	$\rho_{\infty}$	$7.25789 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$
2	$V_{\infty}$	1600 м/с
3	$h_e$	$1.5183 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$
4	$\alpha_{h0}$	$0.04747 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$
5	$T_{aw}$	888.002 К
6	$\bar{c}_{pw}(T_{aw})$	1040.6836 Дж/(кг*К)
7	$\varepsilon \sigma$	$4.536 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$
8	$\alpha_{h0} (h_e - \bar{c}_{pw} T_{aw})$	28205.215 Вт/м <sup>2</sup>
9	$\varepsilon \sigma \cdot T_{aw}^4$	28205.215 Вт/м <sup>2</sup>

$$c_{pT_{aw6}} := 1002.32 + 300 \cdot \frac{\frac{3200}{T_{w6}}}{\left(\frac{3200}{T_{w6}} - 1\right)} + 15 \cdot \frac{\frac{1000}{T_{w6}}}{\left(\frac{1000}{T_{w6}} - 1\right)} = 1045.8274$$

$$\alpha_{h0} := 0.469 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\rho_{bes}^{0.8}}{R^{0.2}} \cdot V_{bes}^{1.25} \cdot \left(1 + \frac{c_{pT_{aw6}} \cdot T_{w6}}{h_e}\right)^{-\left(\frac{2}{3}\right)} = 0.0661$$

$$T_{aw}(x) := \frac{0.469 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\rho_{bes}^{0.8}}{R^{0.2}} \cdot V_{bes}^{1.25} \cdot \left[1 + \frac{\left[1002.32 + 300 \cdot \frac{\frac{3200}{x}}{\left(\frac{3200}{x} - 1\right)} + 15 \cdot \frac{\frac{1000}{x}}{\left(\frac{1000}{x} - 1\right)}\right] \cdot x}{h_e}\right]^{-\left(\frac{2}{3}\right)} \cdot h_e + 3 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot x^4}{\left[1002.32 + 300 \cdot \frac{\frac{3200}{x}}{\left(\frac{3200}{x} - 1\right)} + 15 \cdot \frac{\frac{1000}{x}}{\left(\frac{1000}{x} - 1\right)}\right] + 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot x^3}$$

№	Параметр	Значение
1	$\rho_{\infty}$	$7.25789 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$
2	$V_{\infty}$	1600 м/с
3	$h_e$	$1.5183 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$
5	$T_{aw}$	939.922 К
6	$\bar{c}_{pw}(T_{aw})$	1045.8274 Дж/(кг*К)
4	$\alpha_{h0}$	0.0661 кг/(м <sup>2</sup> *с)
7	$\varepsilon\sigma$	$4.536 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$
8	$\alpha_{h0}(h_e - \bar{c}_{pw}T_{aw})$	35403.039 Вт/м <sup>2</sup>
9	$\varepsilon\sigma \cdot T_{aw}^4$	35403.039 Вт/м <sup>2</sup>

Графики теплового потока и температуры по поверхности сферы для радиуса 1м

