

## ЧАСТЬ 2. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ПОДОГРЕВАТЕЛЯ

### 1. Расчет трубопровода питательной воды

В качестве расчетной схемы (схема СТЕНДА № 4) трубопровода принять закрытый толстостенный цилиндр, находящийся под действием давления ( $p_1$  и/или  $p_2$ ) и стационарного осесимметричного температурного поля

$$T(r) = T_1 - \Delta T \frac{\ln(r/r_1)}{\ln(r_2/r_1)},$$

где  $r_1, r_2$  — внутренний и наружный радиусы цилиндра,

$$T_1 = T(r_1), T_2 = T(r_2).$$

1. Построить эпюры напряжений  $\sigma_r, \sigma_\theta$  и  $\sigma_z$ , возникающих в цилиндре при действии заданного давления.
2. Построить эпюры напряжений  $\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z$ , возникающих вследствие температурного воздействия.
3. Построить эпюры суммарных напряжений и проверить прочность.

#### Основные расчетные формулы и соотношения

Радиальные и окружные напряжения (вторая формула Ламе):

$$\sigma_{r, \theta} = \frac{p_1 r_1^2 - p_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \mp \frac{(p_1 - p_2) r_1^2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \frac{1}{r^2},$$

для закрытого цилиндра  $\sigma_z = \frac{p_1 r_1^2 - p_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} = \text{const}.$

При изменении температуры по толщине стенки по логарифмическому закону

$$T(r) = T_1 - \Delta T \frac{\ln(r/r_1)}{\ln(r_2/r_1)},$$

где  $\Delta T = T_1 - T_2$ ,  $T_1 = T(r_1)$ ,  $T_2 = T(r_2)$ , напряжения:

$$\sigma_r = -\frac{\alpha \Delta T \cdot E}{2(1-\mu) \ln(r_2/r_1)} \left[ \ln \frac{r_2}{r} + \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \left( 1 - \frac{r_2^2}{r^2} \right) \ln \frac{r_2}{r_1} \right],$$



$$\sigma_{\theta} = \frac{\alpha \Delta T \cdot E}{2(1-\mu) \ln(r_2/r_1)} \left[ 1 - \ln \frac{r_2}{r} + \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \left( 1 + \frac{r_2^2}{r^2} \right) \ln \frac{r_2}{r_1} \right],$$

$$\sigma_z = \frac{\alpha \Delta T \cdot E}{2(1-\mu) \ln(r_2/r_1)} \left[ 1 - 2 \ln \frac{r_2}{r} - 2 \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \ln \frac{r_2}{r_1} \right].$$

Числовые данные к п. 1 даны в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Задание №	$r_1$ , см	$r_2$ , см	$p_1$ , МПа	$p_2$ , МПа	$T_1$ , °C	$T_2$ , °C
	17	20	12	3	180	130

Пункт №5

## ~~2. Расчет патрубка корпуса подогревателя~~

В качестве расчетной схемы принимается круговая цилиндрическая оболочка постоянной толщины  $h$ , нагруженная осесимметричной нагрузкой.

1. Получить аналитические выражения и построить эпюры внутренних силовых факторов  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $N_y$ .
2. Определить толщину оболочки  $h$  из условия прочности.
3. Построить эпюру нормального прогиба  $w(x)$  для оболочки толщиной  $h$ , найденной в п. 2.

**Указания:** в качестве первого приближения для толщины оболочки  $h$  принять ее значение, найденное по безмоментной теории. Вычисления для  $w(x)$ ,  $M_x$ ,  $M_y$ , и  $N_y$  проводить с шагом  $\Delta x = 0,1\lambda$  ( $0 \leq x \leq 1,5\lambda$ ), где  $\lambda$  — длина полуволны краевого эффекта.

### Основные расчетные формулы и соотношения

Длина зоны краевого эффекта  $\lambda = 2,45\sqrt{Rh}$ , если  $l > 2\lambda$ , то оболочку в окрестности края  $x = 0$  можно рассматривать как полубесконечную. Тогда вблизи края  $x = 0$  для  $x > 0$  решение, основанное на концепции краевого эффекта:

$$w(x) = C_1 e^{-kx} \cos kx + C_2 e^{-kx} \sin kx + w_{*p},$$

где

$$k = \frac{\sqrt[4]{3(1-\mu^2)}}{\sqrt{Rh}},$$



$$\varphi = \frac{dw}{dx} = \frac{dw_*}{dx} - ke^{-kx} [(C_1 - C_2)\cos kx + (C_1 + C_2)\sin kx],$$

$$M_x = D \frac{d^2 w}{dx^2} = D \left[ \frac{d^2 w_*}{dx^2} + 2k^2 e^{-kx} (C_1 \sin kx - C_2 \cos kx) \right],$$

$$Q = D \frac{d^3 w}{dx^3} = D \left\{ \frac{d^3 w_*}{dx^3} + 2k^3 e^{-kx} [(C_1 + C_2)\cos kx - (C_1 - C_2)\sin kx] \right\},$$

$$M_y = \mu M_x, \quad N_y = \mu N_x + \frac{Eh}{R} w(x).$$

Напряжения  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  меняются по толщине оболочки по линейному закону

$$\sigma_x = \frac{N_x}{h} - \frac{12 M_x}{h^3} z, \quad \sigma_y = \frac{N_y}{h} - \frac{12 M_y}{h^3} z$$

и достигают наибольших по модулю значений у ее поверхностей при  $z = \pm h/2$

$$\frac{\max}{\min} \sigma_x = \frac{N_x}{h} \pm \frac{6 M_x}{h^2}, \quad \frac{\max}{\min} \sigma_y = \frac{N_y}{h} \pm \frac{6 M_y}{h^2}.$$

Числовые данные к п. 2.2 даны в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Задание №	$a$ , м	$R$ , м	$\Delta \cdot 10^5$ , м	$p$ , МПа	$q \cdot 10^{-6}$ , Н/м
	9	90	4	0,60	0,25

### 3. Расчет трубной доски

В качестве расчетной схемы (Схема СТЕНДА № 6) принимается круговая (кольцевая) пластина постоянной толщины  $h$ , находящаяся под действием заданной внешней нагрузки и стационарного осесимметричного температурного поля:

$$T(z) = T_0 - T_* \frac{z}{h},$$

где  $z$  — координата, отсчитываемая от срединной плоскости пластины в направлении нормали ( $|z| \leq h/2$ ),  $h = r_1/50$ .



1. Получить выражения для радиального  $M_r$  и окружного  $M_\theta$  изгибающих моментов и построить соответствующие эпюры (относительно параметра внешней нагрузки) без учета температурного воздействия.

2. Определить допустимое значение внешней нагрузки с учетом эпюры прогибов пластинки при нагрузке, равной ее допустимому значению.

3. Вычислить напряжения, вызванные действием температурного поля. Определить допустимое значение внешней нагрузки с учетом температурных напряжений. Сравнить допустимую нагрузку с нагрузкой, найденной в п. 2.

### Основные расчетные формулы и соотношения

Решение для нормального прогиба пластинки:

$$w(r) = C_1 + C_2 r^2 + C_3 \ln r + C_4 r^2 \ln r + w_*$$

где  $C_1$ — $C_4$  — постоянные интегрирования однородного уравнения;  $w_*$  — частное решение, зависящее от вида нагрузки  $p(r)$ . В случае нагружения пластины равномерным давлением, т.е.  $p_0 = \text{const}$ :

$$w_* = \frac{p_0 r^4}{64D}, \quad D = Eh^3 / 12(1 - \mu^2) \text{ — цилиндрическая жесткость пластины.}$$

Для пластины, нагруженной сосредоточенной силой в точке  $r = 0$ :

$$w(r) = C_1 + C_2 r^2 + \frac{P}{8\pi D} r^2 \ln r.$$

Внутренние силовые факторы:

$$M_r = D \left( \frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{\mu}{r} \frac{dw}{dr} \right), \quad M_\theta = D \left( \frac{1}{r} \frac{dw}{dr} + \mu \frac{d^2 w}{dr^2} \right),$$

$$Q_r = D \frac{d}{dr} (\Delta w) = D \left( \frac{d^3 w}{dr^3} + \frac{1}{r} \frac{d^2 w}{dr^2} - \frac{1}{r^2} \frac{dw}{dr} \right).$$

Нормальные напряжения при изгибе пластины по ее толщине распределяются по линейному закону. Наибольшие напряжения возникают у поверхности пластины при  $z = \pm h/2$ :

$$\sigma_r = \pm \frac{6M_r}{h^2}, \quad \sigma_\theta = \pm \frac{6M_\theta}{h^2}.$$



Числовые данные к п. 3 даны в табл. 2.3.

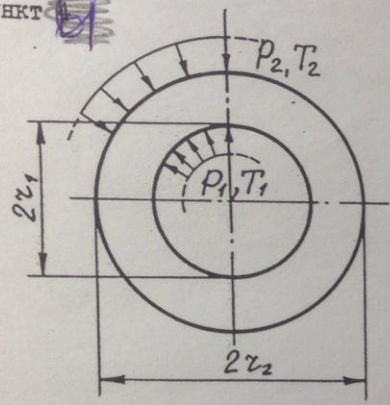
Таблица 2.3

Задание №	$r_1$ , м	$r_2$ , м	$h$ , м	$T_0$ , °C	$T_*$ , °C
	0,30	1,45	0,12	185	40

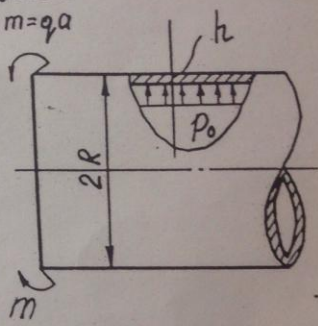
Указание к п. 3. Материал пластинки — легированная сталь (марку стали выбрать самостоятельно). Предполагается, что в случае температурного воздействия характеристики материала пластинки от температуры не зависят.

При вычислениях принять  $E = 200$  ГПа;  $\mu = 0,3$ ,  $\alpha_T = 1,25 \cdot 10^{-5}$  1/град,  $[\sigma] = 240$  МПа. Критерий прочности выбирается самостоятельно.

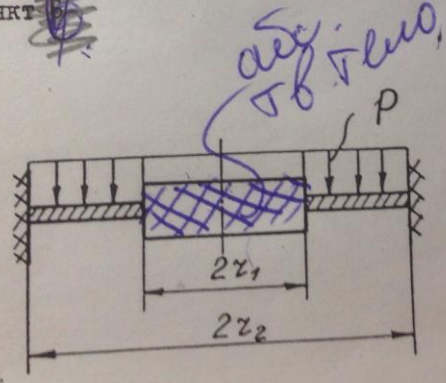
Пункт 4



Пункт 5



Пункт 6



Пункт 7

