

Дано: $\delta = 0,5 \text{ мм}$

$D_{\phi\phi} = 30 \text{ мм}$

$p = 12 \text{ МПа}$

$\sigma_{\text{тр}} = 600 \text{ МПа}$

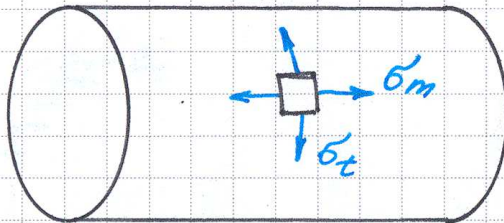
$\sigma_{\text{тс}} = 650 \text{ МПа}$

Тонкостенная металлическая трубка нагружена внутренним давлением „ p “. Найти максимальное значение эквивалентного напряжения в стенке трубки на удалении от её краёв:

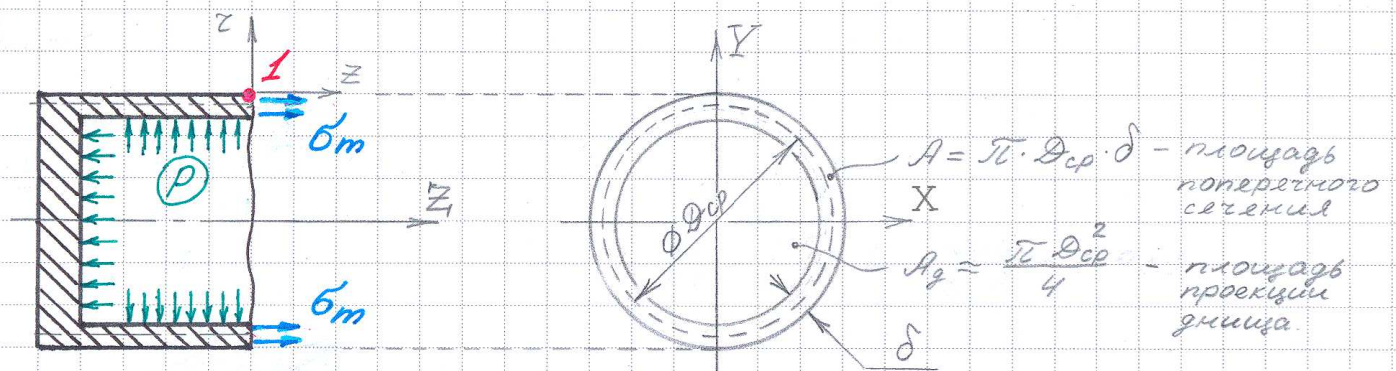
$\sigma_{\text{экв max}} = ?$

Решение

В стенке трубки под действием давления возникнут два напряжения: **окружное σ_t** и **меридиональное σ_m** .



Для вычисления меридионального напряжения мысленно разрежем трубку поперёк:



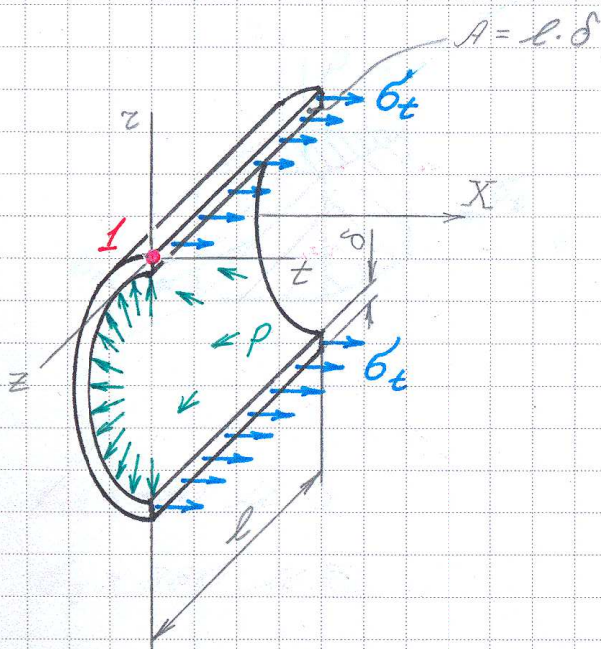
$$\sum F_z = 0 = \sigma_m \cdot A - p \cdot A_z$$

$$0 = \sigma_m \cdot \pi \cdot D_{cp} \cdot \delta - p \cdot \frac{\pi \cdot D_{cp}^2}{4}$$

$$\sigma_m = \frac{p \cdot D_{cp}}{4 \cdot \delta}$$

(1)

Для вычисления окружного напряжения мысленно разрежем вдоль участок трубки:



$$\sum F_x = 0 = -p \cdot D_{cp} \cdot l + \sigma_t \cdot 2A$$

$$0 = -p \cdot D_{cp} \cdot l + \sigma_t \cdot 2 \cdot l \cdot \delta$$

$$\sigma_t = \frac{p \cdot D_{cp}}{2 \cdot \delta}$$

(2)

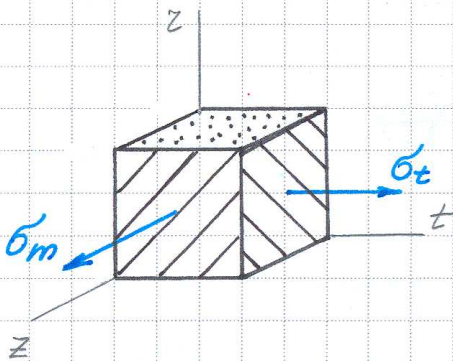
$$\sigma_t = 2 \cdot \sigma_m!$$

Формулы (1) и (2) называются котельскими формулами.

Привели $\sigma_t = 2 \cdot \sigma_m$, поэтому трубки под давлением лопаются вдоль, а не поперек.

Итак;

Т. 1



$$\nu_T = \left| \frac{\sigma_{T\Gamma}}{\sigma_{T\sigma}} \right| = \frac{600}{650} = 0,923$$

$$\sigma_1 = 360 \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = 180 \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = 0$$

$$\sigma_m = \frac{p \cdot D_{ср}}{4 \cdot \delta} = \frac{12 \cdot 10^6 \cdot 0,03}{4 \cdot 0,0005} =$$

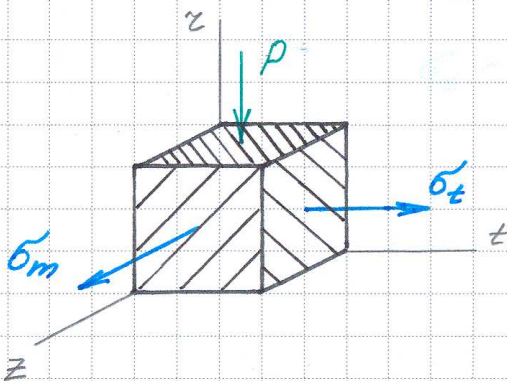
$$= 180 \cdot 10^6 \text{ Па} = 180 \text{ МПа}$$

$$\sigma_t = \frac{p \cdot D_{ср}}{2 \delta} = 2 \sigma_m = 360 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{эпб}}^1 = \sigma_1 - \nu_T \cdot \sigma_3 =$$

$$= 360 - 0,923 \cdot 0 = \underline{\underline{360 \text{ МПа}}}$$

Т. 2



$$\sigma_1 = 360 \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = 180 \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = -P = -12 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{эпб}}^2 = \sigma_1 - \nu_T \cdot \sigma_3 =$$

$$= 360 + 0,923 \cdot 12 = 371 \text{ МПа}$$

$$\sigma_m = 180 \text{ МПа},$$

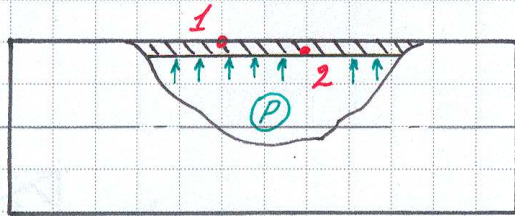
$$\sigma_t = 360 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_{\text{эпб max}} = \max(\sigma_{\text{эпб}}^1, \sigma_{\text{эпб}}^2) = 371 \text{ МПа}.$$

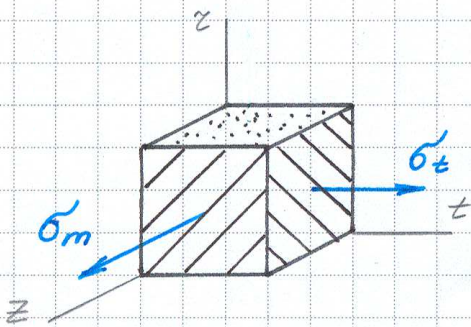
Примечание:

Задачи данного задания поучены кандидатом-
раваном следующим случаям нагружения:

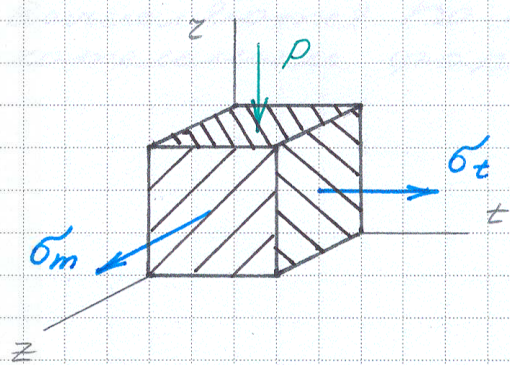
① Внутреннее давление:



Т. 1



Т. 2



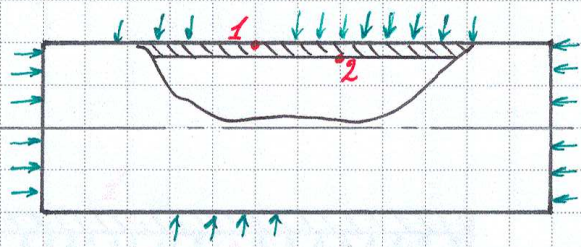
$$\sigma_r > 0$$

$$\sigma_t > 0$$

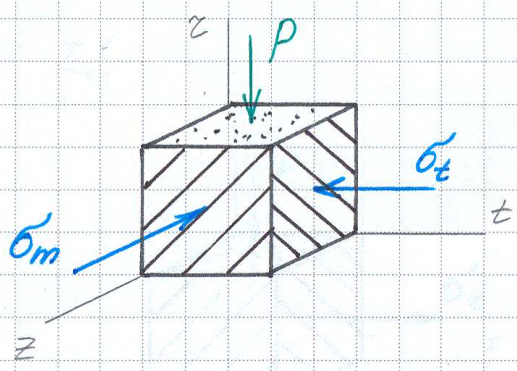
2

Давление снаружи:

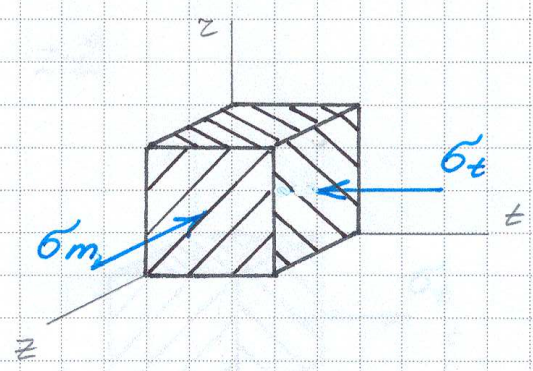
(P)



т.1



т.2

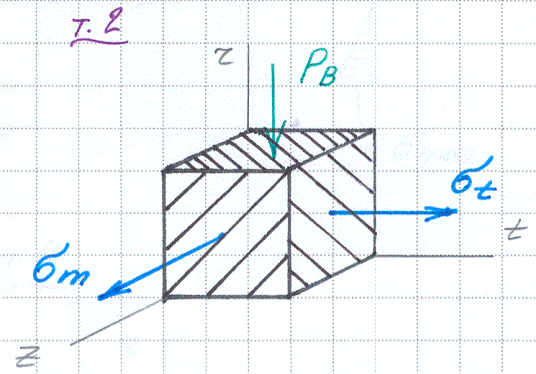
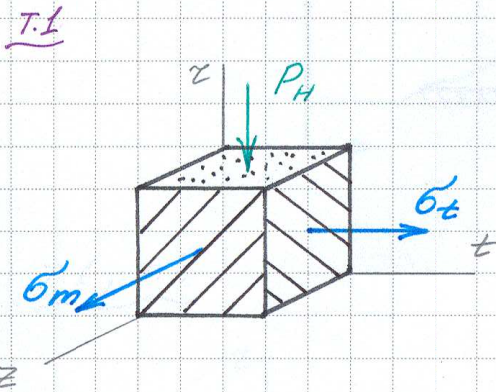
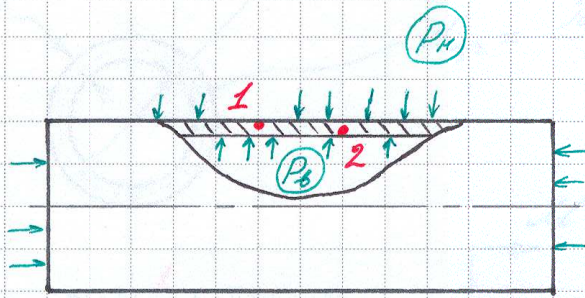


$$\left. \begin{aligned} \sigma_m < 0 \\ \sigma_t < 0 \end{aligned} \right\}$$

Вычисляются по тем же
кольцевым формулам.

3

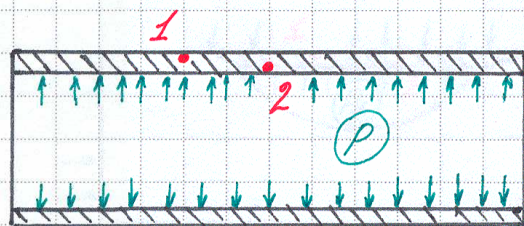
Давление внутри, давление снаружи:



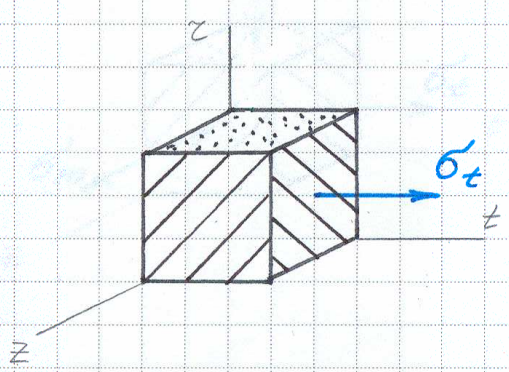
Напряжения σ_r и σ_t вычисляются по кольцевым формулам через $P = P_B - P_H$ и, поэтому, в зависимости от соотношений ^{значений} P_B и P_H могут быть и > 0 и < 0 .

4

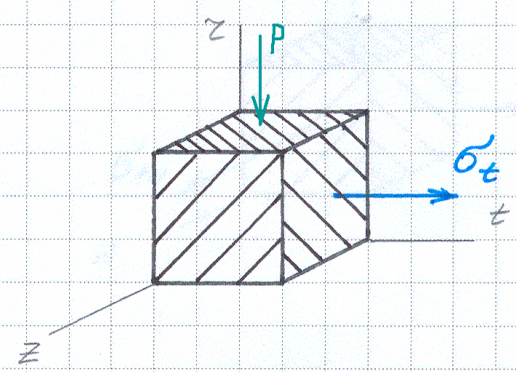
Внутреннее давление (торцев з трубки нет):



I.1



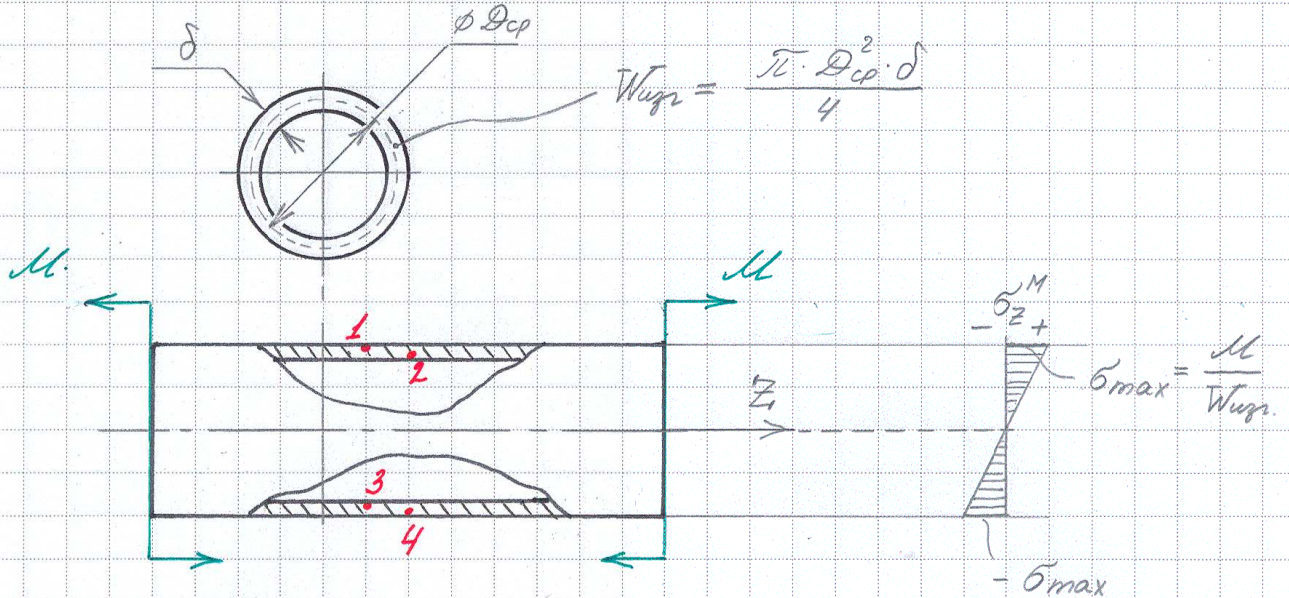
I.2



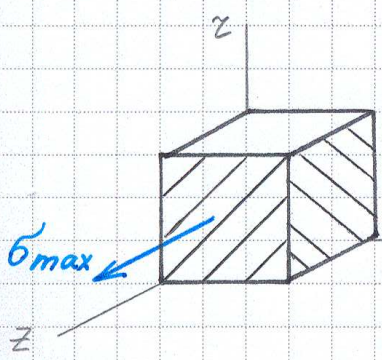
$$\sigma_t > 0$$
$$\sigma_m = 0$$

5

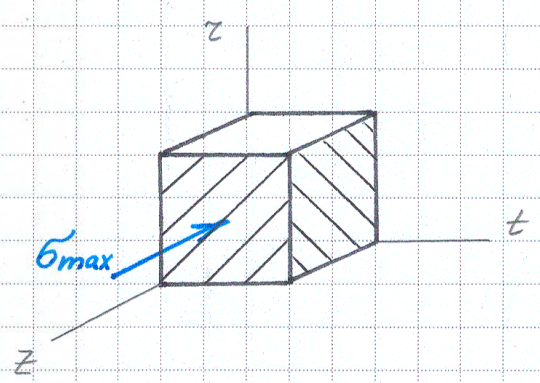
Углубляющие насечки:



Т.1, Т.2

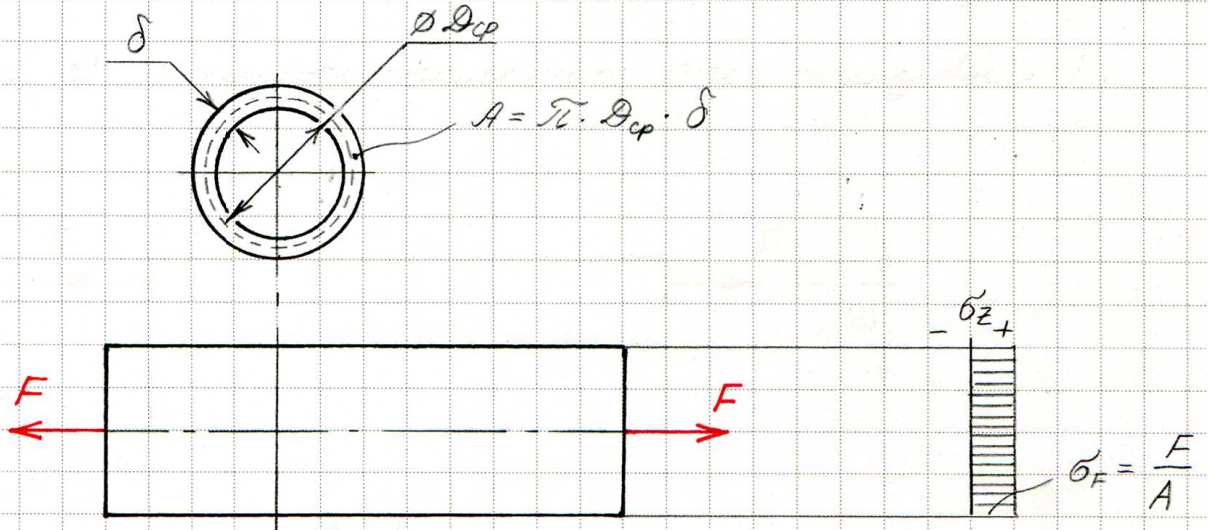


Т.3, Т.4

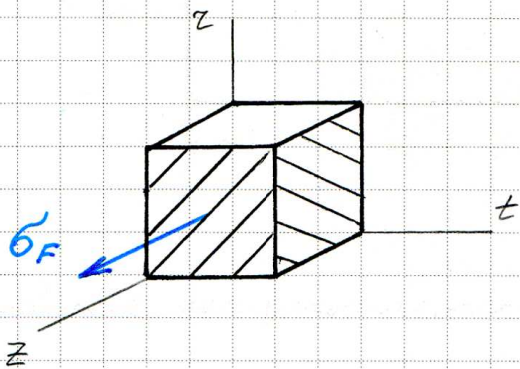


6

Осевые силы:

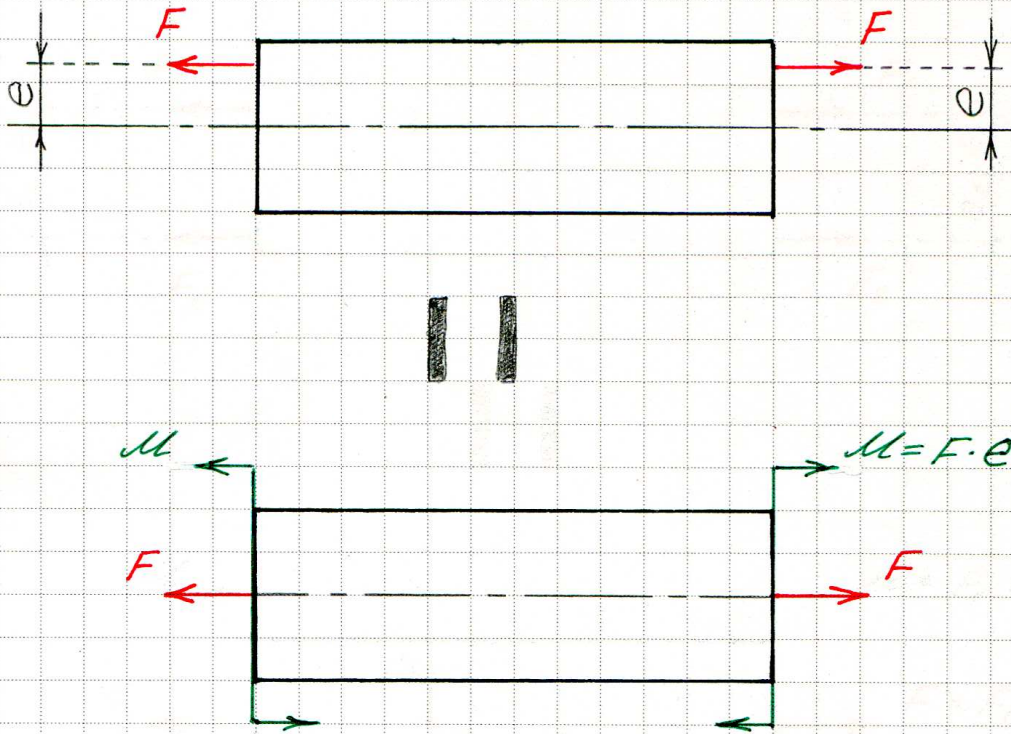


Подобная точка тупости:



7

Внецентренное растяжение/сжатие (внешняя сила приложена с некоторым эксцентриситетом e относительно оси трубки):



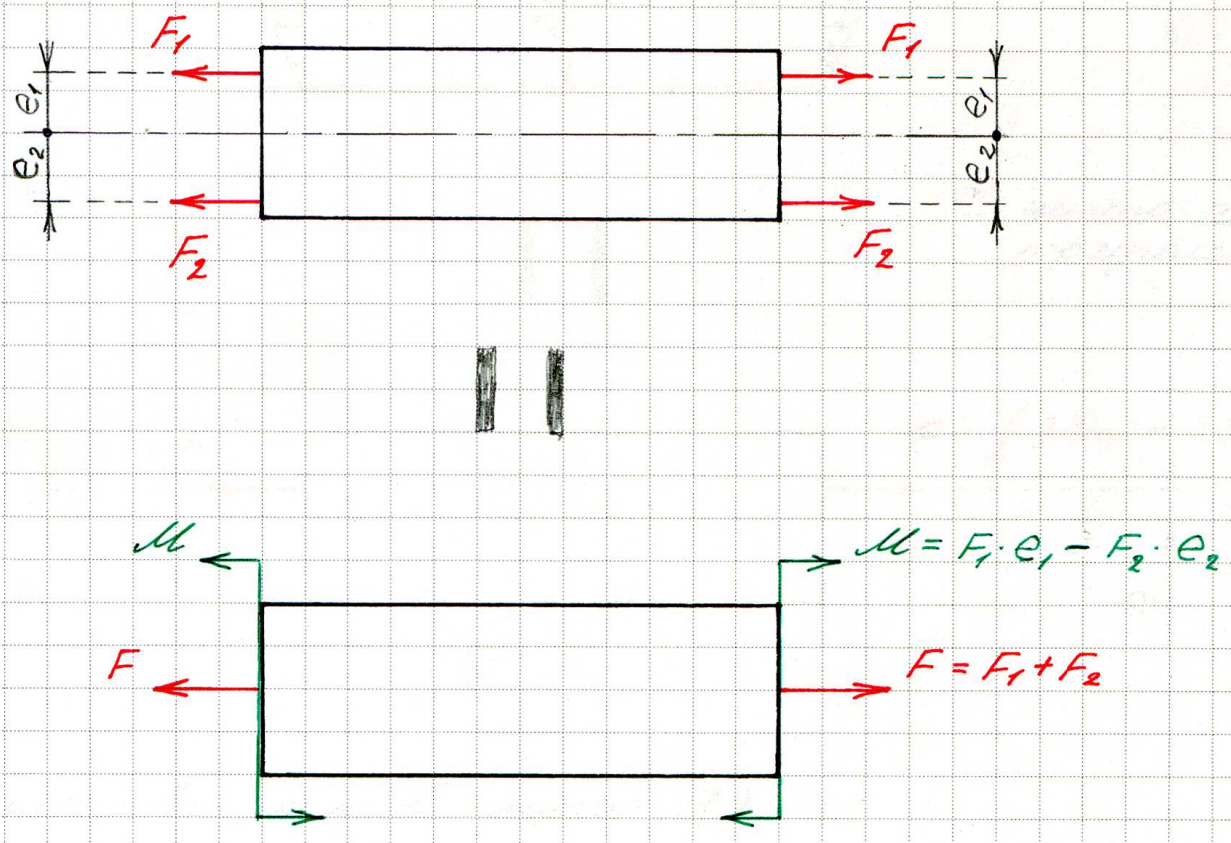
Подобное напряжение можно рассматривать, как комбинацию двух, рассмотренных ранее: осевой силы (случай ⑥) и изгибающего момента (случай ⑤).

Следите за направлением сил! И за её положением: выше оси или ниже.

8

Внецентренное растяжение/сжатие несколькими силами:

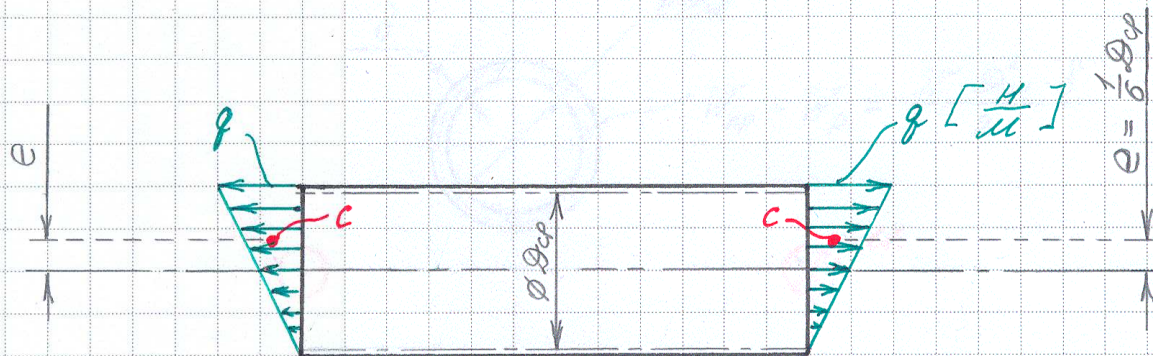
По сути - то же самое, что и случай (7):



Обращайте внимание на направления сил и на их положения (выше оси или ниже)! От этого зависят знаки слагаемых в формулах для M и F .

9

Распределённое усилие на торцах:



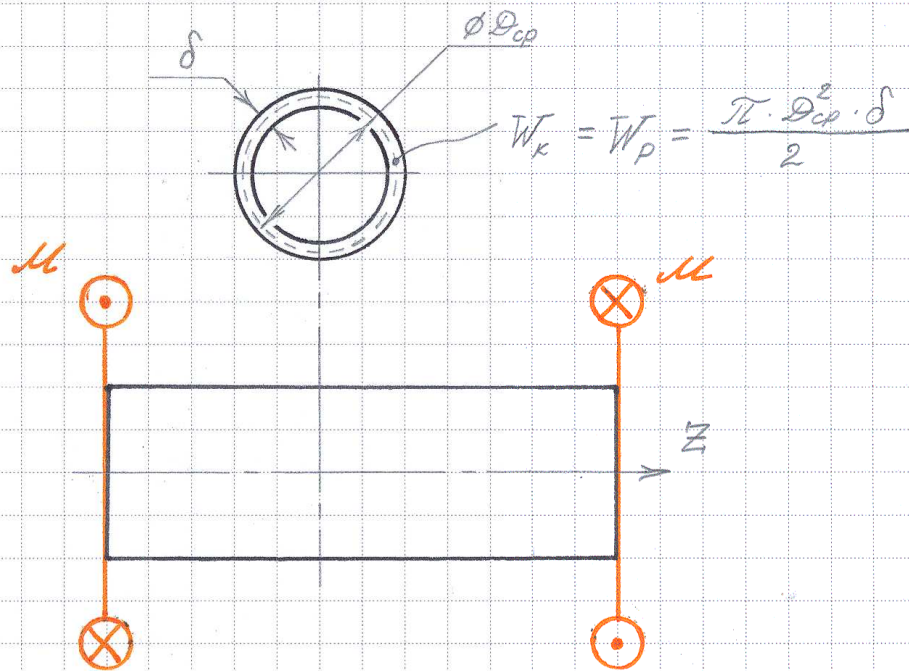
С - центр тяжести
треугольника.



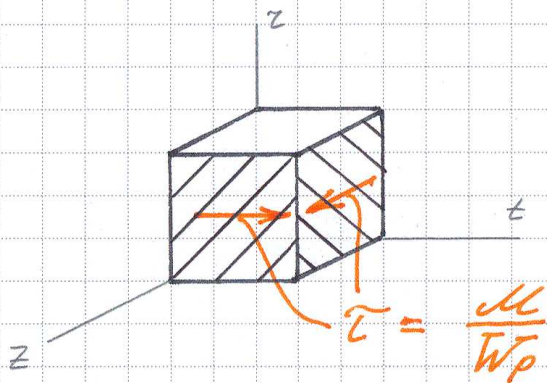
Далее - всё, как в случае (7).

10

Крутящие моменты:



Любая точка трубки:



Обратите внимание: направление касательных напряжений τ соответствует направлению моментов M .