

**РАСЧЕТ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ, НАГРУЖЕННЫХ
ОТРЫВАЮЩЕЙ, СДВИГАЮЩЕЙ СИЛАМИ
И ОПРОКИДЫВАЮЩИМ МОМЕНТОМ
(НАГРУЗКА КОМБИНИРОВАННАЯ)**

Определить диаметр d винтов (болтов или шпилек), крепящих кронштейн к основанию. Винты установлены в отверстия с зазором.

Исходные данные:

$F := 24000$ Н - внешняя сила, действующая на кронштейн

$\alpha := 0 \cdot \frac{\pi}{180}$ - угол наклона силы F к горизонту в град.

**Размеры основания кронштейна
прямоугольная форма:**

$L := 360$ длина основания кронштейна

$a := 288$ ширина основания кронштейна

$l := 180$ размер выемки в основании (если она есть)

$r := 45$ расстояние от ЦМ до оси болтов по оси X

$Z := 4$ количество болтов

Порядок расчета:

Переносим внешние силы с Ц.М. стыка (по правилам механики).

Пример расчетной схемы для прямоугольного стыка с выемкой показан на рис.1

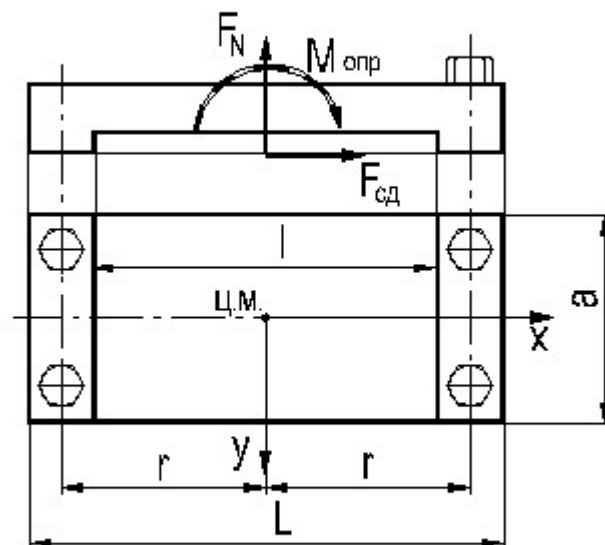


Рис.1

1. Определение внешних сил, действующих на стык

1.1. Проекция силы F на оси X и Z (горизонтальную и вертикальную оси):

$$F_x := F \cdot \cos(\alpha) \quad F_x = 2.4 \cdot 10^4 \quad \text{Н}$$

$$F_z := F \cdot \sin(\alpha) \quad F_z = 0 \quad \text{Н}$$

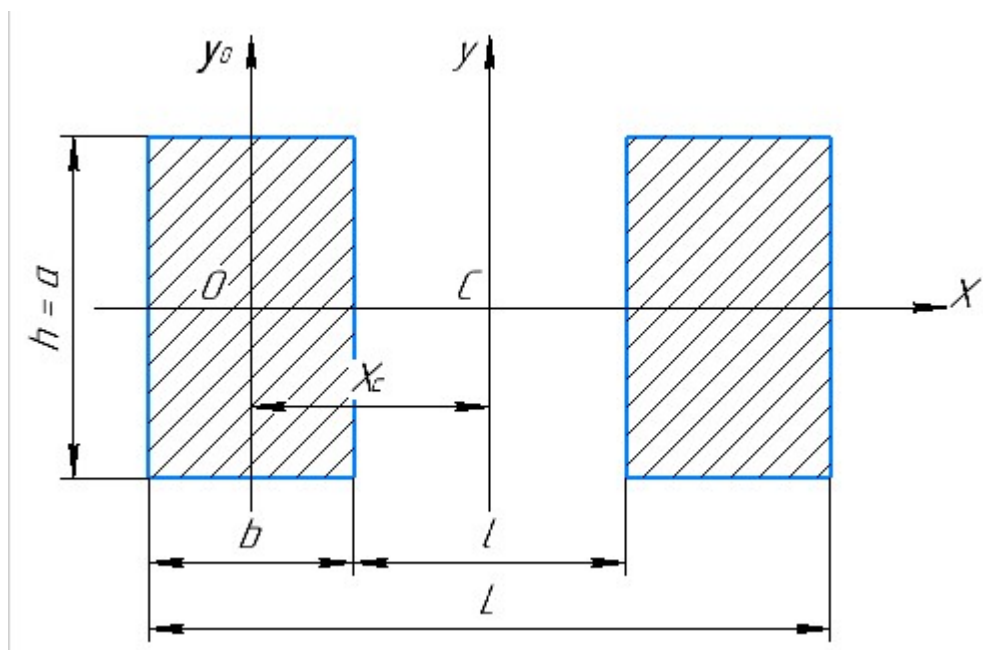
$$F_N := F_z \quad F_{сдв} := F_x$$

1.2. опрокидывающий момент:

Из условия: $l_{пл} := 450 \text{ мм}$ Длина плеча

$$M_{опр} := F_x \cdot l_{пл} \quad M_{опр} = 1.08 \cdot 10^7 \quad \text{Нмм}$$

2. Геометрические характеристики стыка:



$$h := a$$

$$b := \frac{(L-l)}{2}$$

Площадь сечения

$$A := 2 \cdot b \cdot h$$

Момент инерции сечения

$$I_x := 2 \cdot \left(b \cdot \frac{h^3}{12} \right) \quad Y_{max} := \frac{h}{2}$$

Координата X_c

$$X_c := 0.5 \cdot l + 0.5 \cdot b$$

$$I_y := 2 \cdot \left(h \cdot \frac{b^3}{12} + X_c^2 \cdot b \cdot h \right) \quad X_{max} := 0.5 \cdot l + b$$

Момент сопротивления сечения

$$W_x := \frac{I_x}{Y_{max}} \quad W_y := \frac{I_y}{X_{max}}$$

$$I_p := I_x + I_y \quad I_p = 1.338 \cdot 10^9 \text{ мм}^4$$

3. Сила затяжки винта из условия нераскрытия стыка

3.1. Условие нераскрытия стыка: $s_{min} = s_{зам} - s_{FN} - s_{Монр}$ (1)

Минимально допустимое напряжение на стыке :

$s_{min} = 0,2 \dots 0,5$ МПа - для стыка металл-бетон,

$s_{min} = 1,0 \dots 2,0$ МПа - для металлических стыков

Принимаем $\sigma_{min} := 2$ МПа

Коэффициент основной нагрузки:

$c = 0,2 \dots 0,3$ - для металлических стыков,

$c = 0,7 \dots 0,8$ - для стыка металл с бетоном

Принимаем $\chi := 0,3$

$$\sigma_{Fz} := \frac{F_N \cdot (1 - \chi)}{A} \quad \sigma_{Fz} = 0 \text{ МПа} - \text{напряжение на стыке от отрывающей силы}$$

$$\sigma_{Монр} := M_{онр} \cdot \frac{(1 - \chi) \cdot X_{max}}{I_y} \quad \sigma_{Монр} = 1,389 \text{ МПа} - \text{напряжение на стыке от опрокидывающего момента}$$

Из условия нераскрытия стыка (1) определяем напряжение на стыке, вызванное силой затяжки:

$$\sigma_{зам} := \sigma_{min} + \sigma_{Fz} + \sigma_{Монр}$$

$$\sigma_{зам} = 3,389 \text{ МПа}$$

$$s_{зам} = \frac{F_{зам}}{A_{cm}} \quad (2)$$

3.2. Из уравнения (2) находим необходимую силу затяжки:

$$F_{зам1} := \sigma_{зам} \cdot \frac{A}{Z} \quad F_{зам1} = 4,392 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

4. Сила затяжки из условия несдвигаемости:

Сила затяжки из условия несдвигаемости:

$$F_{тр} = K_{cu} \cdot F_x \text{ или } F_{зам} \cdot f \cdot Z \cdot i - F_N (1 - c) \cdot f \cdot i = K_{cu} \cdot F_x \quad (3)$$

Из уравнения (3) определяем силу затяжки:

Коэффициент запаса по несдвигаемости $K_{cu} = 1,3 \dots 1,5$

$$K_{cu} := 1,5$$

Коэффициент трения

Значение коэффициента трения f

Характеристика пары трения	f
В резьбе крепежных болтов (винтов, шпилек) без покрытия и смазочных материалов	0,12 - 0,15
На торцах гаек, головок винтов и других металлических поверхностях, прошедших механическую обработку и работающих без смазки	0,15 - 0,2
В соединении металл - бетон	0,4
В соединении металл – фрикционная обкладка	0,42
В соединении металл - резина	0,35
В резьбе передачи винт-гайка скольжения (со смазочным материалом)	0,1

ПРИМЕМ коэффициент трения $f := 0.42$

$i := 1$ - число рабочих стыков

$$F_{зам2} := \frac{(K_{cy} \cdot F_x + F_N \cdot (1 - \chi) \cdot f \cdot i)}{Z \cdot f \cdot i} = 2.143 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

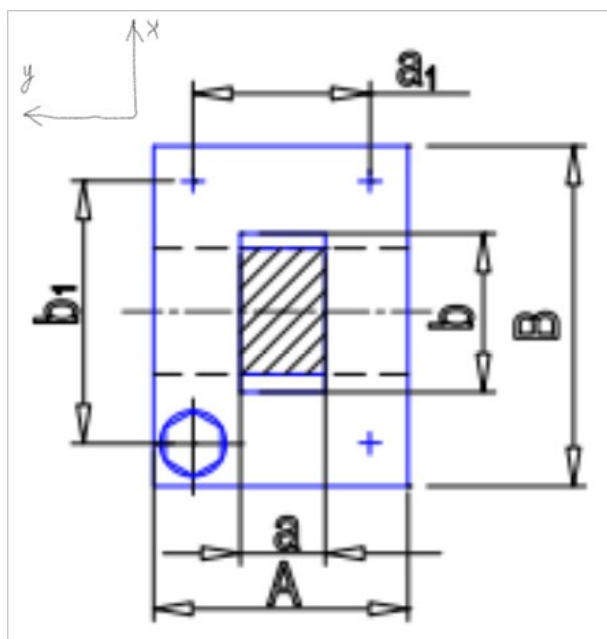
Силу затяжки принимаем большую из двух полученных

$$F_{зам} := \max(F_{зам2}, F_{зам1})$$

$$F_{зам} = 4.392 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

5. Внешняя нагрузка, действующая на винт

Внешняя нагрузка, действующая на винт (болт, шпильку)



Из условия: $l_{nl} := 450 \text{ мм}$

$$B := 0.8 \cdot l_{nl}$$

$$A := 0.8 \cdot B$$

$$c := 0.5 \cdot B$$

$$b_1 := 0.5 \cdot (B - c)$$

$$a_1 := 0.8 \cdot b_1 = 72 \text{ мм}$$

Расстояния по оси Y от Ц.М. стыка до оси винтов

$$y_{B1} := \frac{a_1}{2} \quad y_{B1} = 36 \text{ мм}$$

$$y_{Bmax} := y_{B1}$$

$$F_{BH} := \frac{F_N}{Z} + \frac{M_{опр} \cdot y_{Bmax}}{4 \cdot y_{B1}^2} \quad F_{BH} = 7.5 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Суммарная нагрузка, действующая на винт с учетом его скручивания при затяжке

$$F_6 := 1.3 \cdot F_{зам} + \chi \cdot F_{BH}$$

$$F_6 = 7.96 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

6. Допускаемые напряжения

Допускаемые напряжения для расчета болта на растяжение:

Задайте класс прочности винтов и выберите для него минимальное значение предела текучести (по табл.3) :

Принимаем класс прочности $\sigma_T := 320 \text{ МПа}$

Коэффициент запаса прочности при контролируемой затяжке $s_T = 1,2 \dots 1,5$

Принимаем $s_T := 1.2$

Тогда допускаемые напряжения равны:

$$[\sigma]_p := \frac{\sigma_T}{s_T} \quad [\sigma]_p = 266.667 \text{ МПа}$$

7. Требуемый диаметр винта (внутренний диаметр по дну впадины резьбы)

$$d_3 := \sqrt{4 \cdot \frac{F_6}{\pi \cdot [\sigma]_p}}$$

$$d_3 = 19.495 \text{ мм}$$

Выбираем из табл. 6 по найденному d3 винты

..... Класс прочности 4

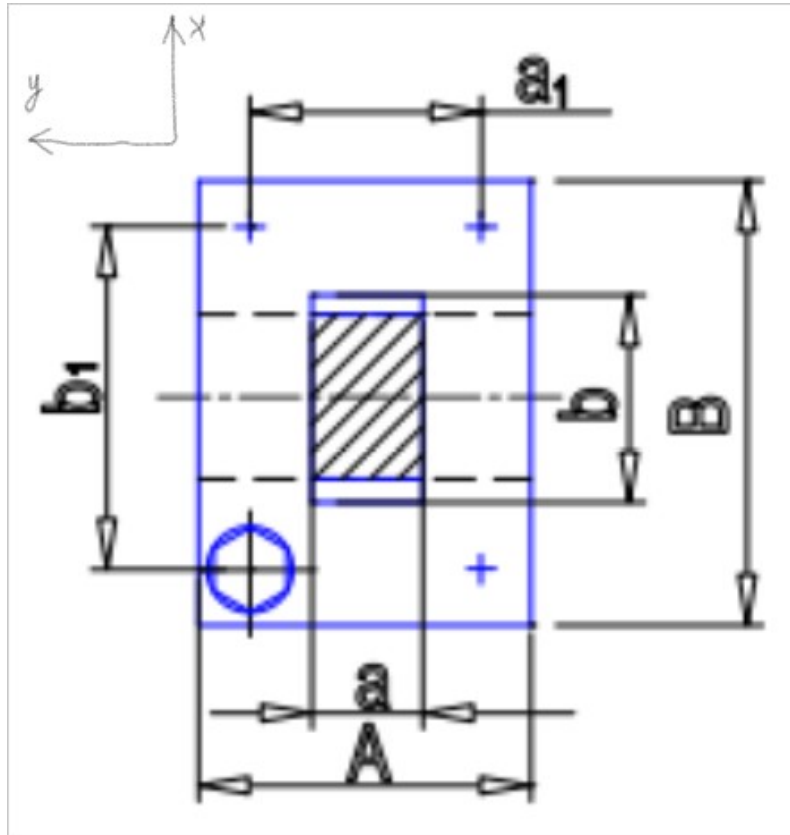
$d := 24$ - диаметр резьбы, мм

Диаметр описанной окружности гайки

$$D := \text{round}(1.6898 \cdot d + 0.0133) \quad D = 41 \text{ мм}$$

Проверка возможности установки винтов полученного размера в кронштейне.

Если ограничения не выполняются. Необходимо уменьшить диаметр винтов (т.е. изменить класс прочности или количество винтов).



$$answer := \left(\frac{D}{2} \leq \frac{(A - a_1)}{2} \right) \wedge \left(\frac{D}{2} \leq \frac{(B - b_1)}{2} \right)$$

$$answer = 1$$

Если $answer = 1$, значит винты с таким диаметром возможно установить в кронштейн

ВЫВОД : Ограничения выполняются, следовательно обеспечивается возможность установки болтов кронштейн.

8. Проверка прочности основания стыка (только для бетонного основания)

В данном случае не нужно