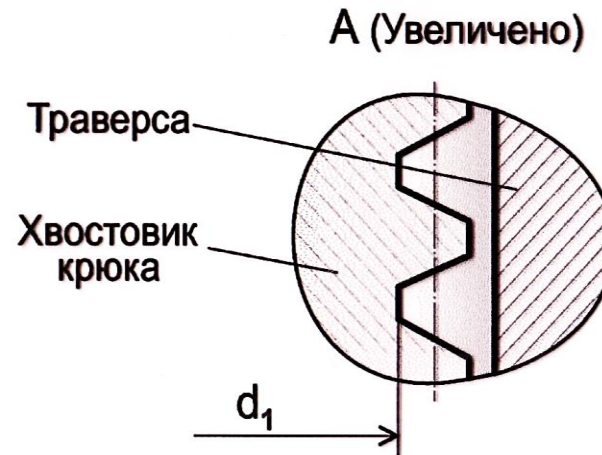
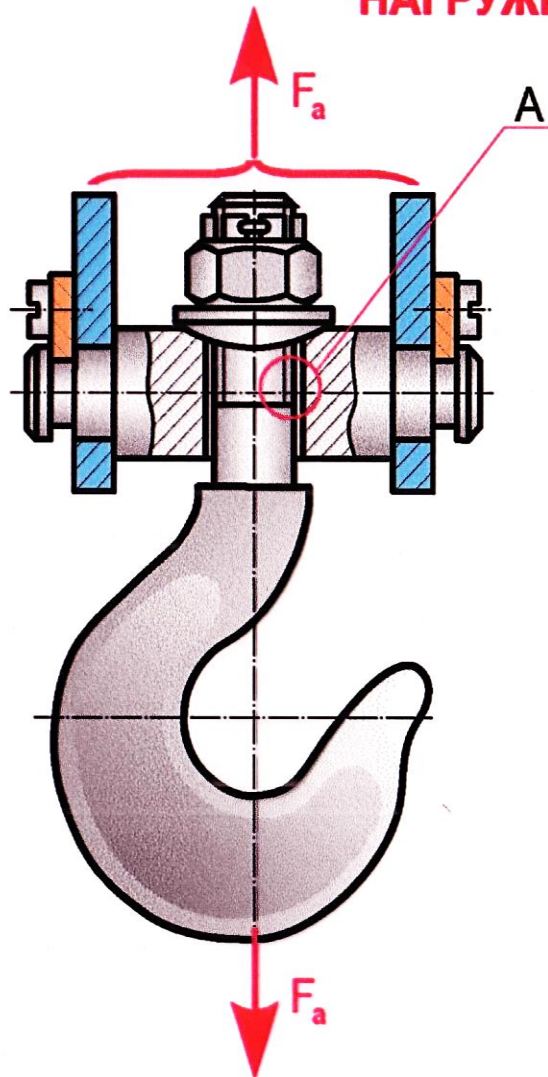


Расчёт болтовых соединений на прочность (основные расчётные случаи)

БОЛТОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЗАТЯЖКИ, НАГРУЖЕННОЕ ОСЕВОЙ СИЛОЙ



Напряжения в стержне болта

$$\sigma_p = 4F_a / (\pi \cdot d_1^2) \leq [\sigma]_p$$

Внутренний диаметр болта определяют из расчета на растяжение

$$d_1 \geq \sqrt{4F_a / (\pi \cdot [\sigma]_p)}$$

ЗАТЯНУТОЕ БОЛТОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ

При затяжке соединения болт испытывает сложное напряженное состояние - растяжение с кручением.

Эквивалентные напряжения

$$\sigma_3 = \sqrt{\sigma_p^2 + 3\tau_k^2} \leq [\sigma]_p.$$

Напряжения растяжения от силы затяжки

$$\sigma_p = 4F_{\text{зат}} / (\pi \cdot d_1^2).$$

Напряжения кручения при затяжке соединения моментом

$$\tau_k = T / W_p,$$

$$\text{где } T = 0,5F_{\text{зат}} \cdot d_2 \cdot \text{tg}(\psi + \rho');$$

$$W_p = \pi \cdot d_1^3 / 16;$$

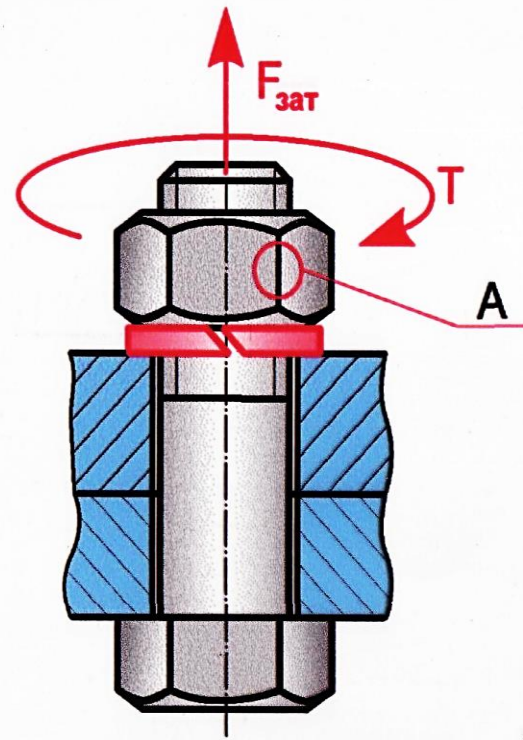
ψ - угол подъема витка винтовой линии резьбы, °;

ρ' - приведенный угол трения в резьбе, °.

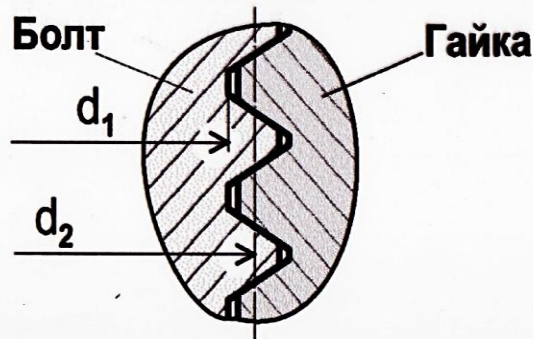
Для геометрически подобных резьб

$$\sigma_3 = \beta \cdot \sigma_p,$$

где $\beta = 1,25 \dots 1,35$ - коэффициент, учитывающий скручивание болта при затяжке.

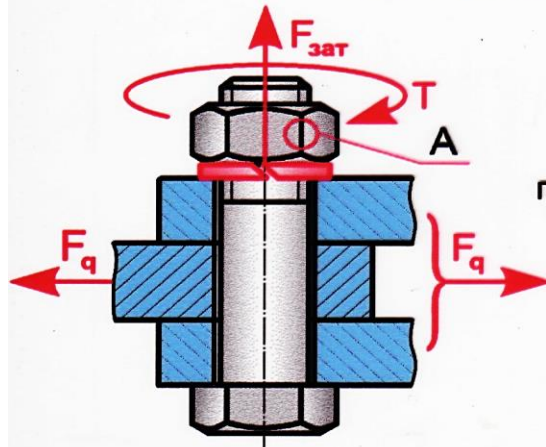


А (Увеличено)

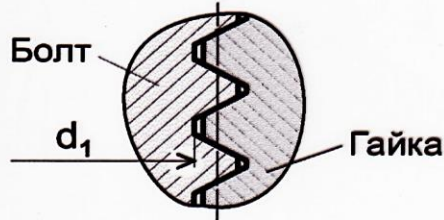


БОЛТОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ, НАГРУЖЕННОЕ ПОПЕРЕЧНОЙ СИЛОЙ

Болт установлен с зазором



A (Увеличено)



Потребная сила затяжки болта

$$F_{\text{зат}} = k \cdot F_q / f \cdot i,$$

где $k = 1,5 \dots 2,0$ - запас сцепления;
 f - коэффициент трения в стыке;
 $i = 2$ - число стыков в соединении.

Внутренний диаметр болта

из расчета на растяжение с учетом
скручивания при затяжке

$$d_1 \geq \sqrt{4\beta \cdot F_{\text{зат}} / (\pi \cdot [\sigma]_p)},$$

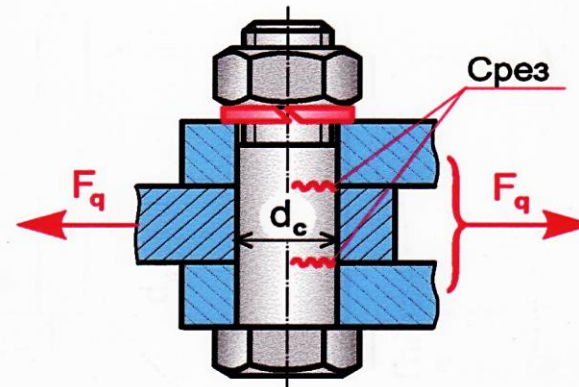
где $\beta = 1,25 \dots 1,35$ - коэффициент,
учитывающий скручивание
болта при затяжке.

Болт установлен без зазора

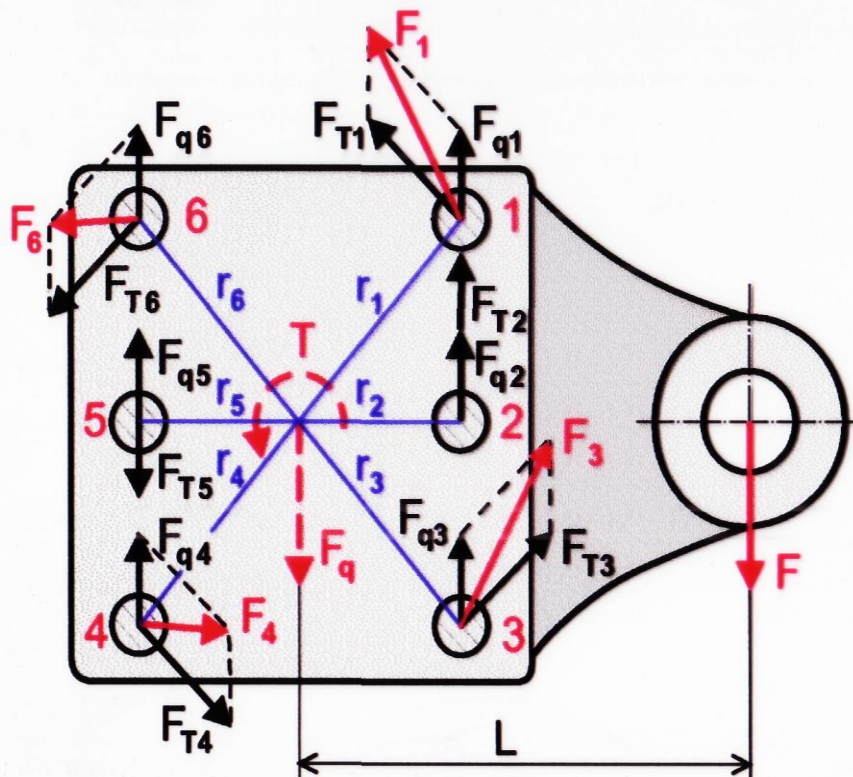
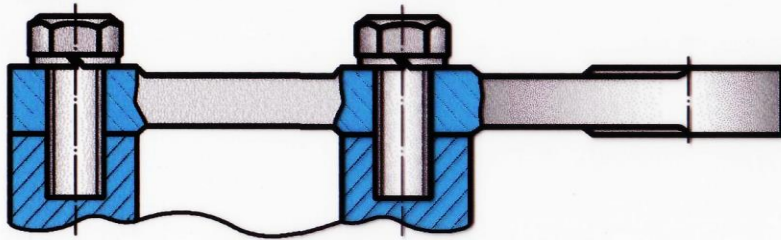
Диаметр стержня болта

из расчета на срез

$$d_c \geq \sqrt{4F_q / (\pi \cdot [\tau]_c \cdot i)}$$



БОЛТОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ, НАГРУЖЕННОЕ СИЛОЙ И МОМЕНТОМ В ПЛОСКОСТИ СТЫКА



Действие силы F на плече L заменяют сдвигающей силой F_q , приложенной в центре масс стыка, и моментом

$$T = F \cdot L.$$

Сдвигающая сила, действующая на i -й болт

$$F_{qi} = F_q / z,$$

где z - количество болтов;

i - номер болта.

Условие равновесия стыка от момента

$$T = \sum_{i=1}^z F_{Ti} \cdot r_i.$$

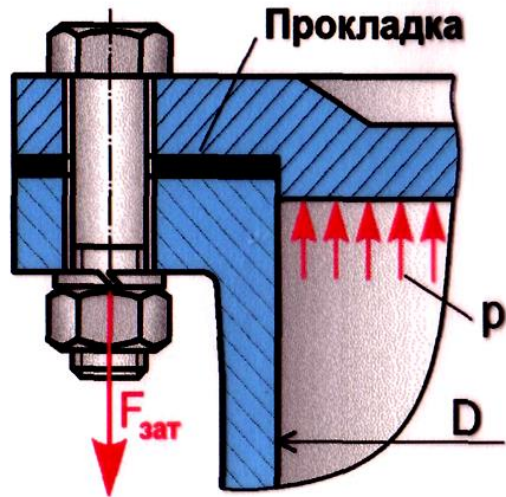
Сила, действующая на i -й болт от момента

$$F_{Ti} = T \cdot r_i / \sum_{i=1}^z r_i^2.$$

**Суммарная нагрузка на каждый болт
(в векторной форме)**

$$\vec{F}_i = \vec{F}_{qi} + \vec{F}_{ti}.$$

БОЛТОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ, НАГРУЖЕННОЕ ОСЕВОЙ СИЛОЙ, РАСКРЫВАЮЩЕЙ СТЫК ДЕТАЛЕЙ



Внешняя нагрузка на болт

$$F = p \cdot \pi \cdot D^2 / (4z),$$

где p - давление в резервуаре; z - число болтов.

Наибольшая нагрузка на болт

$$F_{\max} = F_{\text{зат}} + \chi \cdot F,$$

где $\chi = \lambda_d / (\lambda_d + \lambda_b)$ - коэффициент внешней нагрузки; λ_d - податливость деталей стыка; λ_b - податливость болта. Для жестких стыков $\chi = 0,2 \dots 0,3$.

Усилие затяжки болта из условия нераскрытия стыка

$$F_{\text{зат}} = k(1 - \chi)F,$$

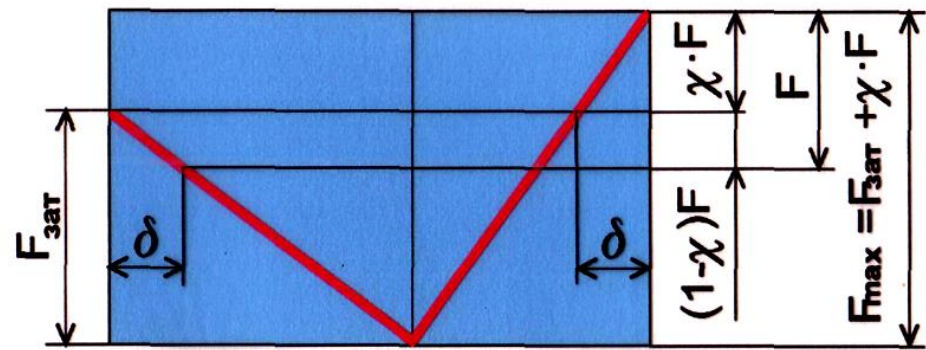
где $k = 1,3 \dots 4$ - коэффициент затяжки.

Расчетная нагрузка болта

$$F_p = \beta \cdot F_{\text{зат}} + \chi \cdot F,$$

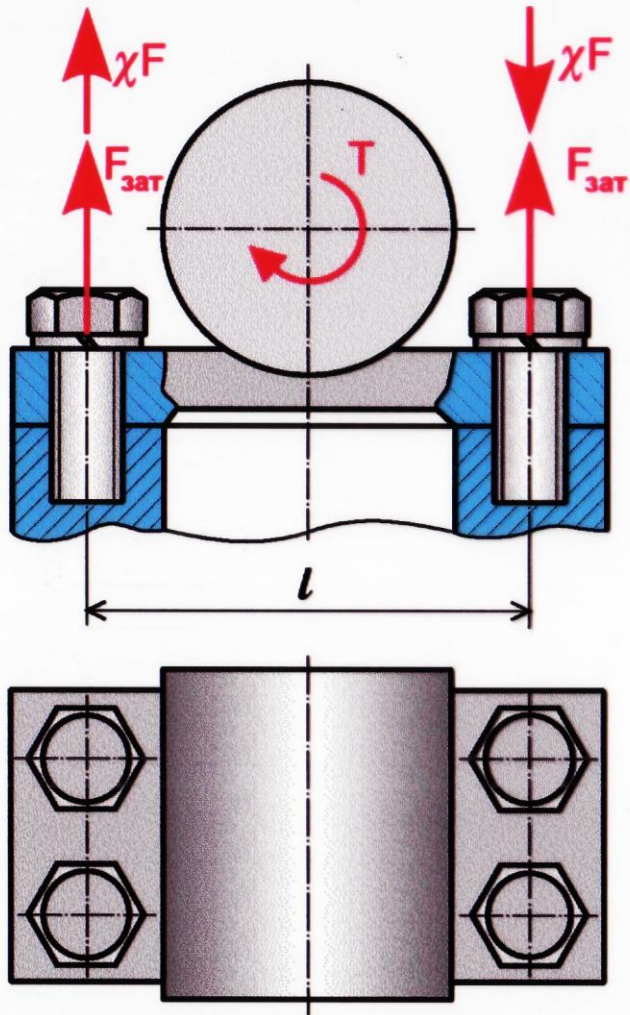
где $\beta = 1,25 \dots 1,35$ - коэффициент, учитывающий скручивание болта при затяжке.

Диаграмма сил в болтовом соединении



Сжатие прокладки 0 Удлинение болта

БОЛТОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ, НАГРУЖЕННОЕ ОПРОКИДЫВАЮЩИМ МОМЕНТОМ



Внешняя нагрузка на болт

$$F = T/(2l).$$

Усилие затяжки болта из условия нераскрытия стыка

$$F_{\text{зат}} = k \cdot (1 - \chi) \cdot F,$$

где $k = 1,3 \dots 4$ - коэффициент затяжки;

$\chi = \lambda_{\text{д}} / (\lambda_{\text{д}} + \lambda_{\text{б}})$ - коэффициент внешней нагрузки;

$\lambda_{\text{д}}$ - податливость деталей стыка;

$\lambda_{\text{б}}$ - податливость болта.

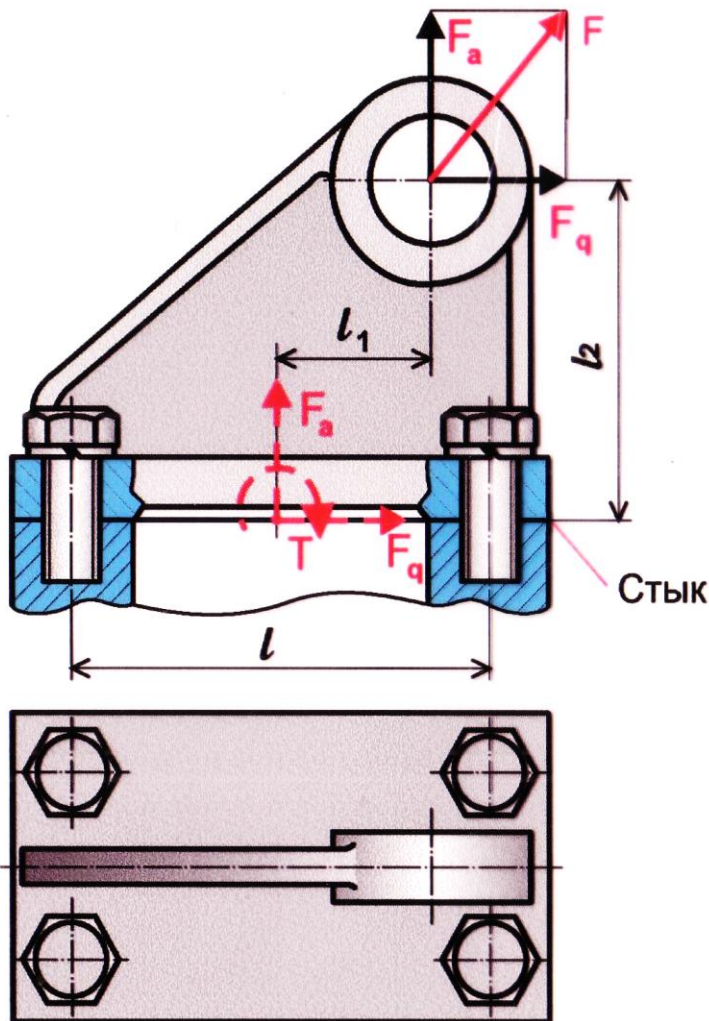
Для жестких стыков $\chi = 0,2 \dots 0,3$.

Расчетная нагрузка на болт

$$F_{\text{р}} = \beta \cdot F_{\text{зат}} + \chi \cdot F,$$

где $\beta = 1,25 \dots 1,35$ - коэффициент, учитывающий скручивание болта при затяжке.

БОЛТОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ, НАГРУЖЕННОЕ СИЛОЙ И МОМЕНТОМ, РАСКРЫВАЮЩИМИ СТЫК



Внешняя осевая нагрузка на каждый из четырех болтов крепления кронштейна:

от отрывающей силы

$$F_{ai} = F_a / 4,$$

от опрокидывающего момента

$$F_{Ti} = T / (2l),$$

где $T = F_q \cdot l_2 - F_a \cdot l_1.$

**Усилие затяжки болта
из условия нераскрытия стыка**

$$F_{зат} = k \cdot (1 - \chi) \cdot (F_{ai} + F_{Ti}),$$

где $k = 1,3 \dots 4$ - коэффициент затяжки;

$\chi = \lambda_d / (\lambda_d + \lambda_b)$ - коэффициент внешней нагрузки; λ_d - податливость деталей

стыка; λ_b - податливость болта.

Для жестких стыков $\chi = 0,2 \dots 0,3$.

Расчетная осевая нагрузка на болт

$$F_p = \beta \cdot F_{зат} + \chi (F_{ai} + F_{Ti}),$$

где $\beta = 1,25 \dots 1,35$ - коэффициент, учитывающий скручивание болта при затяжке.