

Сложное сопротивление

Под сложным сопротивлением подразумевают деформации бруса возникающие в результате комбинации, в различных сочетаниях, простых видов деформаций: растяжения (сжатия), среза, кручения и изгиба.

Сложный и косой изгиб

Сложным называется изгиб, вызванный силами или моментами, расположенными в двух и более плоскостях, проходящих через ось балки. Эти плоскости могут, как совпадать, так и не совпадать с главными плоскостями инерции

В том и другом случаях, наиболее удобным решением является приведение к двум плоским изгибам.

Для этого необходимо:

- 1) спроектировать все действующие силы на две главные плоскости;
- 2) рассмотреть изгиб в каждой из двух главных плоскостей отдельно;
- 3) пользуясь принципом независимости действия сил найти суммарные напряжения или деформации.

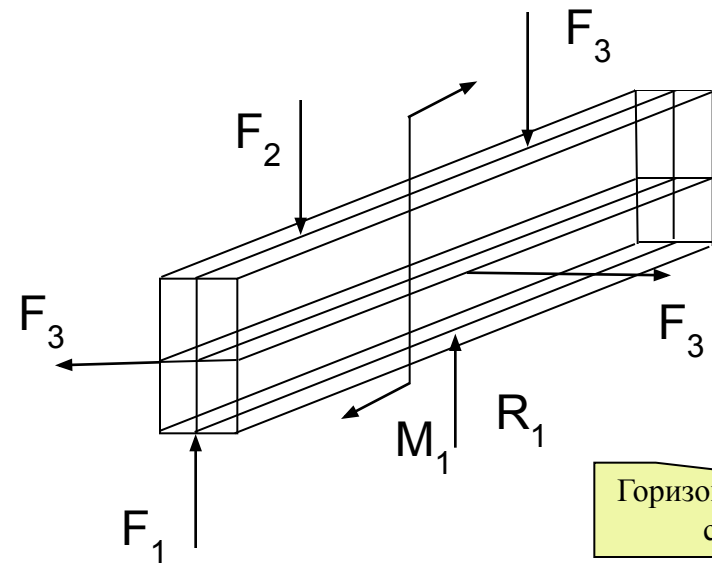
В большинстве случаев в опасной точке поперечного сечения бруса касательные напряжения, либо равны нулю, либо весьма малы по сравнению с нормальными напряжениями, поэтому расчеты на прочность при сложном и косом изгибе ведут с учетом только нормальных напряжений.

Сложный и косой изгиб

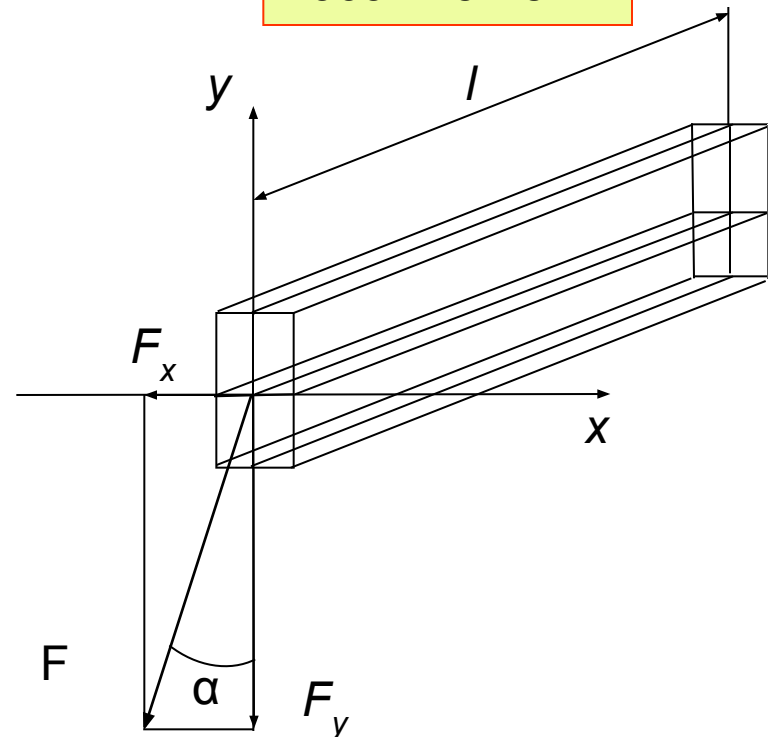
Под **косым изгибом** понимают такой, при котором нагрузки, действующие на балку, расположены в одной плоскости, которая не совпадает не с одной из главных плоскостей инерции.

Для сечений, у которых моменты инерции относительно обеих ортогональных осей одинаковы, косой изгиб не возможен. У этих сечений все оси главные. Это сечения типа круг, труба, квадрат и т.д.

Сложный изгиб



Косой изгиб



Сложный и косой изгиб

Напряжения при сложном изгибе

$$\sigma = \sigma_x + \sigma_y = \frac{M_x}{I_x} y + \frac{M_y}{I_y} x$$

здесь: M_x , M_y – составляющие изгибающего момента; M – полный изгибающий момент в сечении; α – угол между осью y и следом плоскости действия полного момента; x и y координаты точки, в которой определяют напряжения; I_x и I_y – моменты инерции поперечного сечения.

Напряжения при косом изгибе

$$\sigma = M \left(\frac{y \cdot \cos \alpha}{I_x} + \frac{x \cdot \sin \alpha}{I_y} \right)$$

При определении знака нормального напряжения необходимо придерживаться правила, по которому момент, вызывающий деформацию растяжения в первой четверти поперечного сечения считается положительным, тогда знак напряжения определяется знаком координат точки, в которой определяется напряжение.

Условие прочности при сложном изгибе

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq [\sigma]$$

Условие прочности при косом изгибе

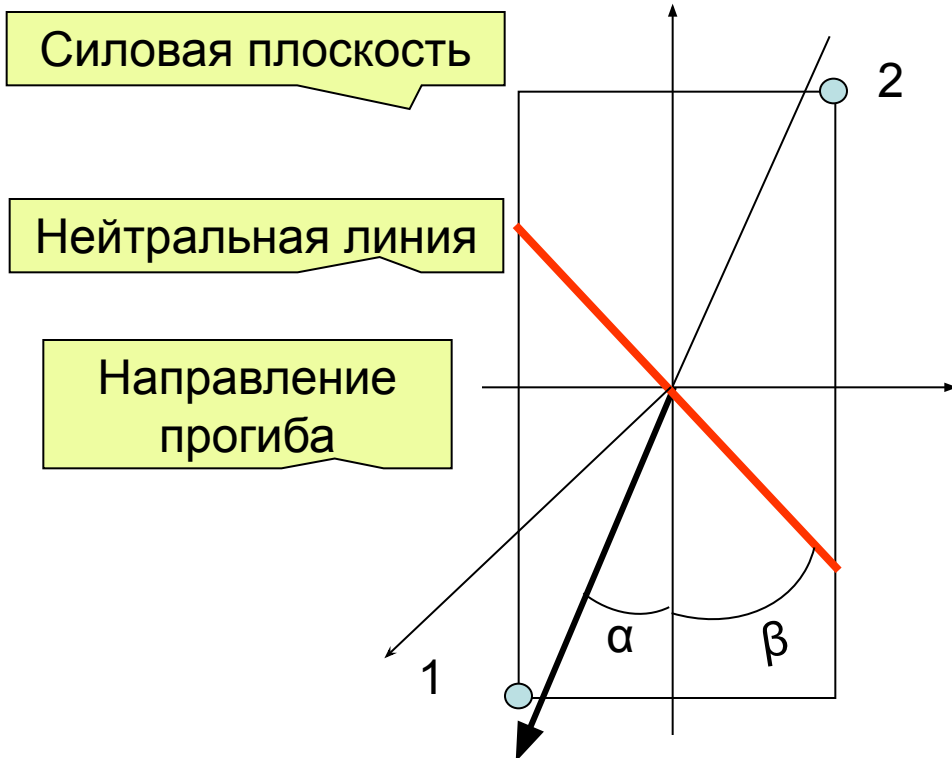
$$\sigma = \frac{M}{W_x} \left(\cos \alpha + \frac{W_x \sin \alpha}{W_y} \right) \leq [\sigma]$$

Сложный и косой изгиб

Нейтральная линия поперечного сечения при сложном и косом изгибе проходит через центр тяжести сечения с угловым коэффициентом:

$$\kappa = \operatorname{tg}\beta = -\frac{M_y \cdot I_x}{M_x \cdot I_y}$$

Нейтральная линия всегда располагается не в тех четвертях, через которые проходит силовая плоскость. В отличие от плоского изгиба при косом изгибе нейтральная линия не перпендикулярна к силовой линии.



Условие жесткости при сложном и косом изгибе

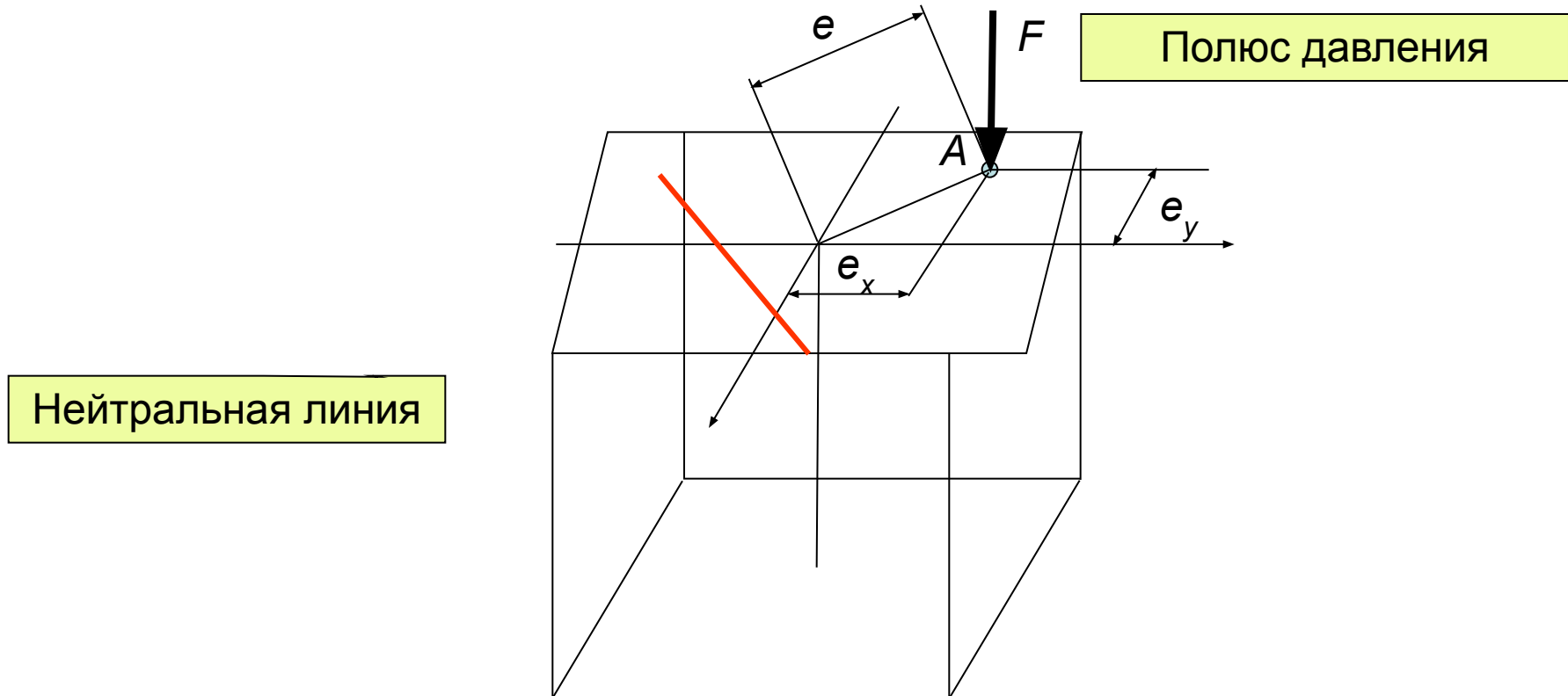
$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \leq [f]$$

Суммарный прогиб происходит в направлении перпендикулярном нейтральной линии сечения.

Внецентренное растяжение (сжатие)

Внецентренным растяжением или сжатием называется такой вид деформации, когда в поперечном сечении бруса одновременно действуют продольная растягивающая или сжимающая сила и изгибающий момент.

Точка, где приложена внешняя сила F , называется полюсом давления



Координаты e_x и e_y точки приложения силы F называются эксцентриситетами этой силы относительно главных осей инерции.

Внецентренное растяжение (сжатие)

Нормальные напряжения при внецентренном растяжении (сжатии)

$$\sigma = F \left(\frac{1}{A} + \frac{y \cdot e_x}{I_x} + \frac{x \cdot e_y}{I_y} \right) \quad \sigma = \frac{F}{A} \cdot \left(1 + \frac{y \cdot e_y}{i_x} + \frac{x \cdot e_x}{i_y} \right)$$

здесь F - внешняя продольная сила; x и y - координаты точки в которой определяются нормальные напряжения; e_x и e_y - координаты точки приложения внешней силы (эксцентриситеты); I_x и I_y - моменты инерции сечения относительно главных центральных осей; A - площадь поперечного сечения.

Уравнение нейтральной линии при внецентренном растяжении (сжатии):

$$\frac{e_x \cdot x}{i_y} + \frac{e_y \cdot y}{i_x} = -1$$

Нейтральная линия не проходит через центр тяжести сечения и пересекает координатные оси в точках, принадлежащих квадранту, противоположному тому, в котором находится точка приложения силы.

Совместное действие кручения и изгиба