

Расчет действующих сил, напряжений и моментов



Силы действующие на бурильную колонну



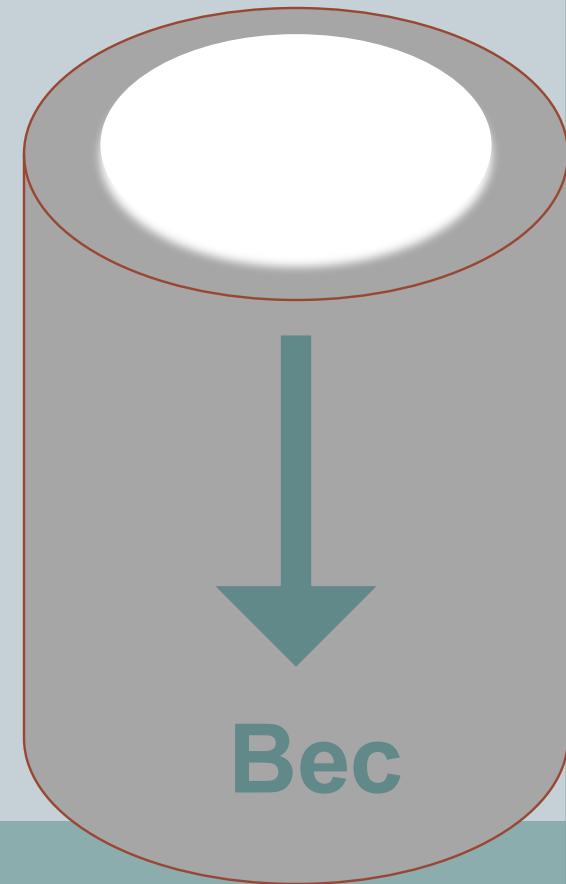
- **Растягивающие (сжимающие)**
- **Боковые силы**
- **Изгибающие**
- **Устойчивость КНБК**

Растягивающие усилия



- Растягивающие напряжения пропорциональны весу инструмента приложенному к площади поперечного сечения трубы

$$\sigma \text{ (кПа)} = \text{вес (кН)} / \text{площадь сечения (кв. метр)}$$



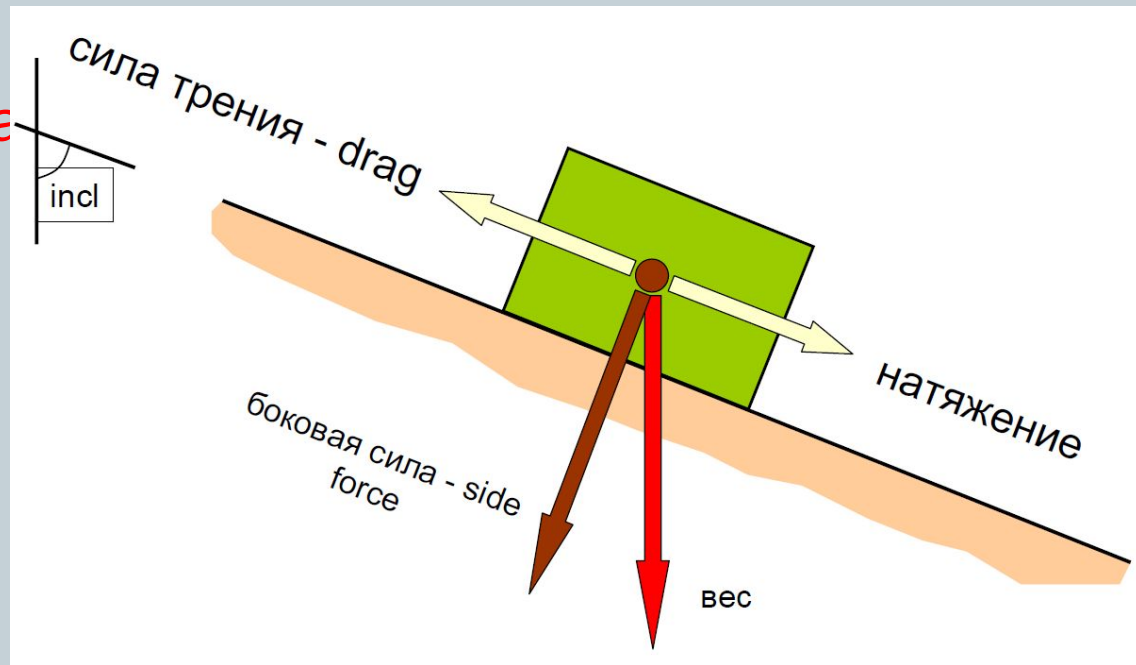
Боковые силы



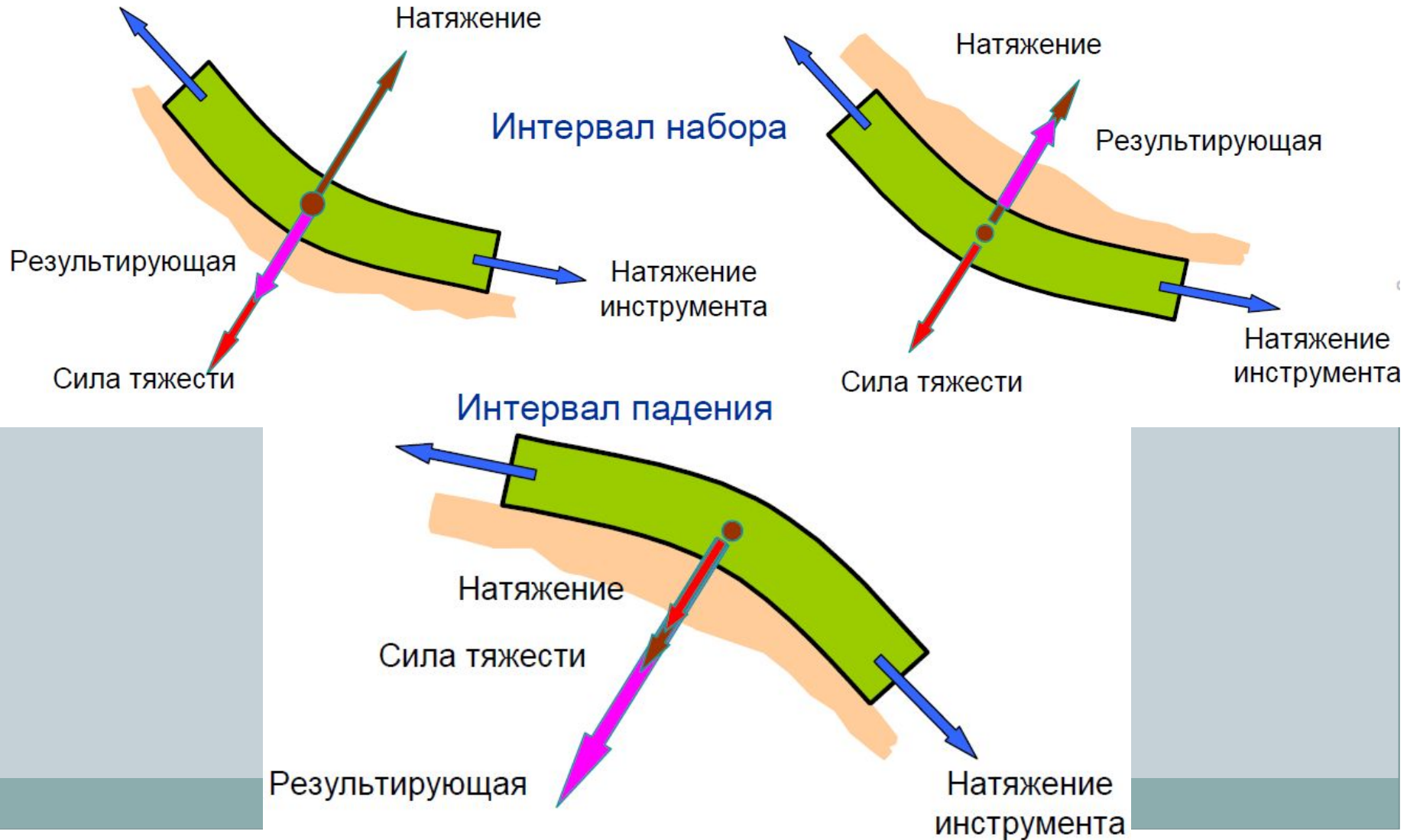
Величина боковой силы
равна произведению веса
инструмента на синус
угла наклона

Сила натяжения равна
произведению боковой
силы на коэффициент
трения

Момент на вращение
равен произведению
боковой силы на
коэффициент трения и
радиус инструмента



Взаимосвязь боковых сил, сил натяжения и интенсивности



Взаимосвязь боковых сил, сил натяжения и интенсивности

$$SF = \frac{DLS \times \pi \times L \times T}{18 \times 10^3}$$

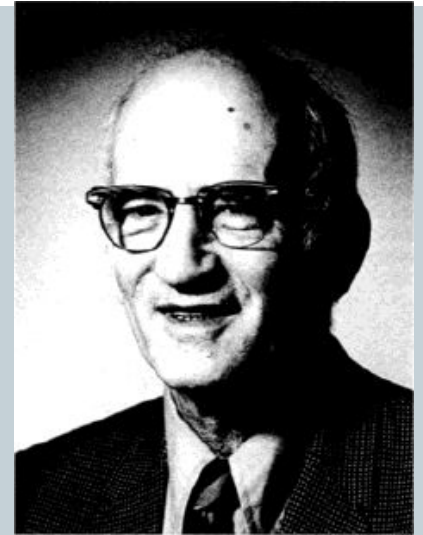
SF – Боковая сила

L – Длина трубы

T – Натяжение, вес

DLS – Пространственная интенсивность

$$DLS = \frac{18 \times 10^3 \times SF}{\pi \times L \times T}$$



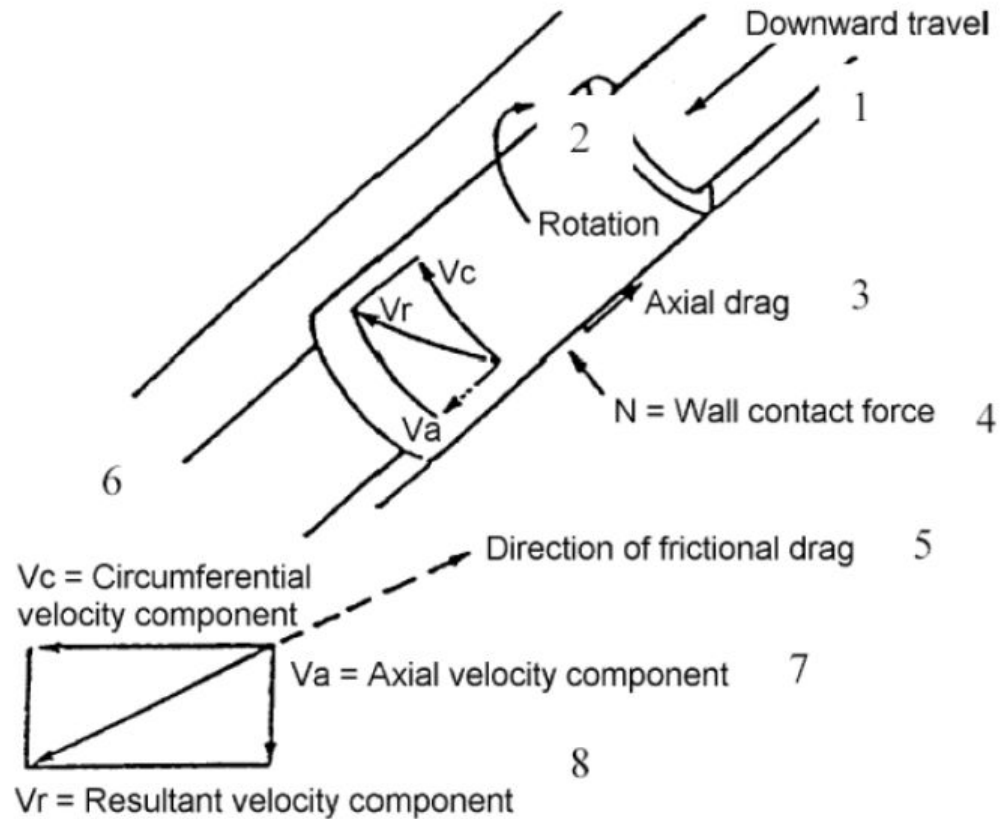
Artur Lubinski

Максимальная боковая сила определена на уровне 8,9 кН в результате математической обработки Артуром Лубински.

Сила трения



1. Движение вниз
2. Вращение
3. Осевая сила сопротивления
4. Сила, действующая со стороны стенки скважины
5. Направление силы трения
6. Круговая (касательная) составляющая скорости
7. Осевая составляющая скорости
8. Результирующая скорость



Сила трения



$$F_a = F \cdot (V_a / V_r)$$

Осевая сила трения

$$F_c = F \cdot (V_c / V_r)$$

Сила трения, направленная по касательной к поверхности трубы

$$V_c = \pi D \cdot \text{rpm}$$

Круговая скорость

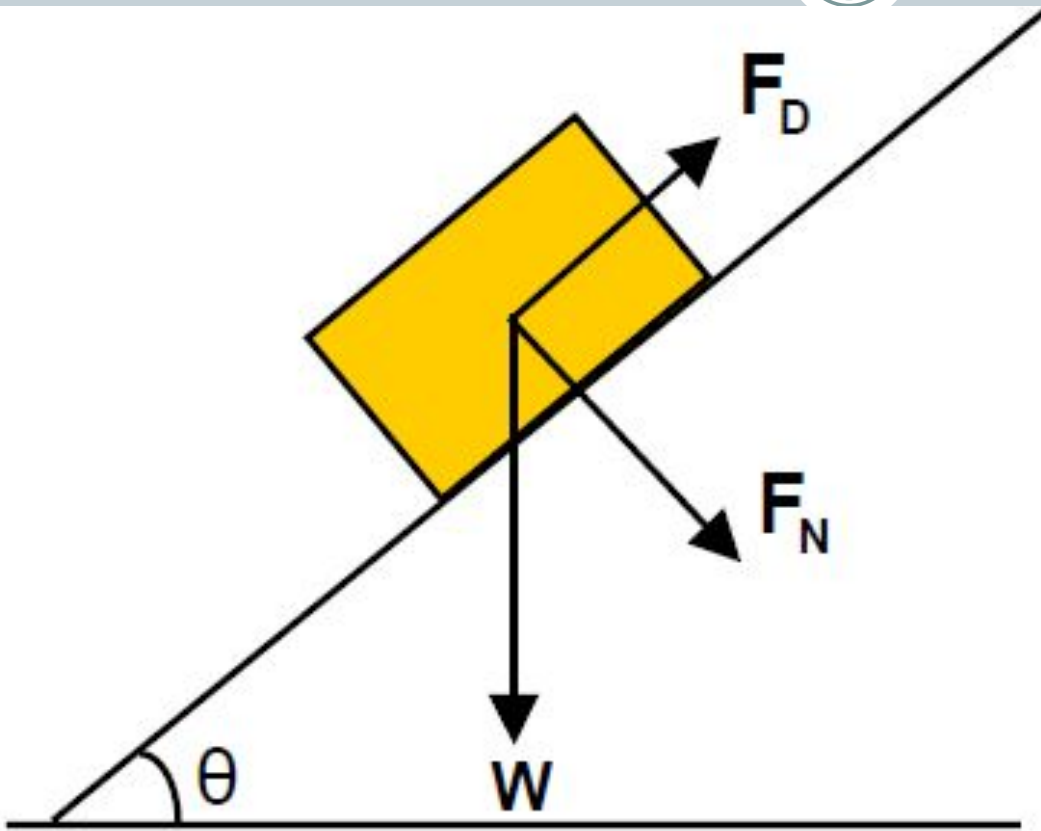
$$V_r^2 = V_c^2 + V_a^2$$

Результирующая скорость

- V_a – скорость проходки (скорость СПО)
- D – диаметр трубы

Если трубу диаметром 127 мм вращать со скоростью 150 об/мин и перемещать со скоростью 3,5 метра в минуту, то величина осевой силы трения будет немногим более 5% от величины силы трения без вращения колонны.

Сила трения



$$F_D = \mu F_N$$

$$\tan \theta = \mu$$

- 1) Сила трения пропорциональна составляющей, перпендикулярной поверхности
- 2) Коэффициент трения не зависит от площади контакта
- 3) Коэффициент трения не зависит от скорости перемещения

Изгибающие напряжения

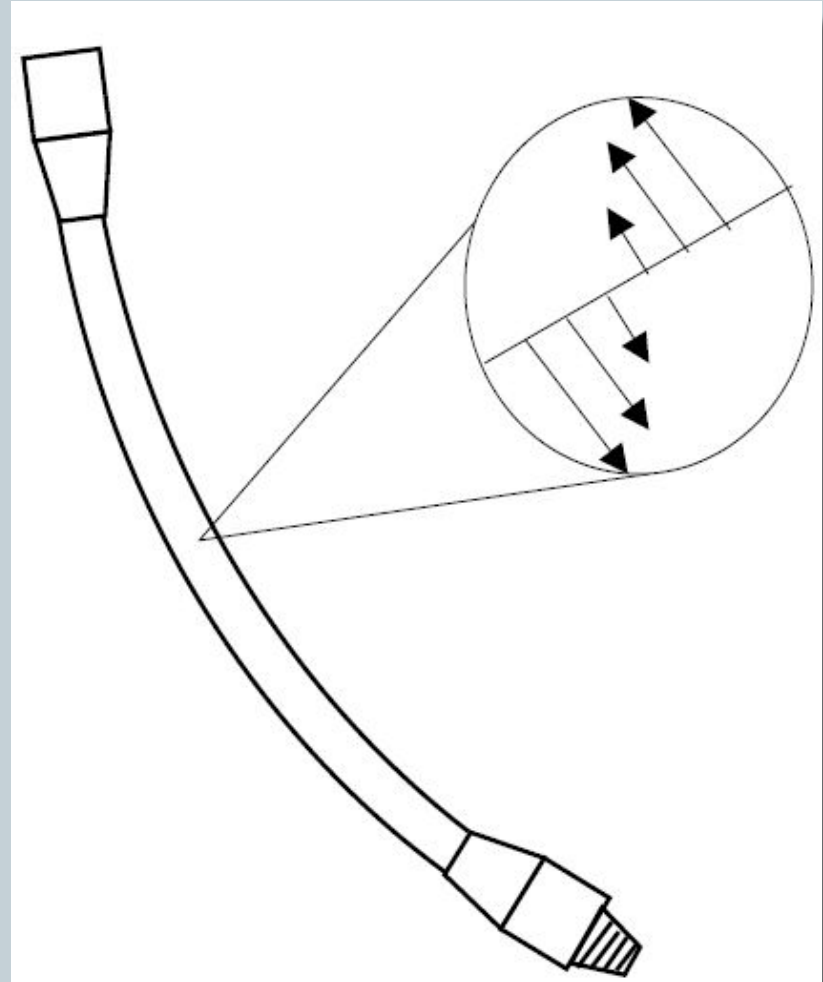
$$\sigma_b = \frac{E \times D}{2R}$$

E – Модуль Юнга (Модуль упругости первого рода)

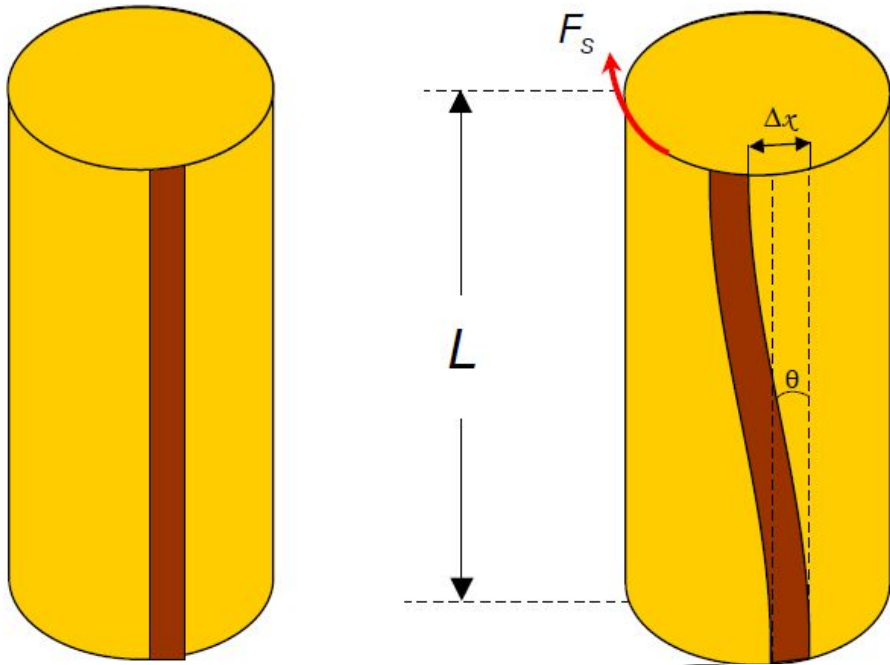
D – Диаметр инструмента

R – Радиус кривизны

$$R = \frac{573}{i_{10}}$$



Скручивающие напряжения



$$\frac{\text{напряжениесдвига}}{\text{деформациясдвига}} = \frac{F_s/A}{\theta} = G \text{ (Shear Modulus)}$$

$$T_t = \frac{\pi \times G \times d \times N}{12 \times L}$$

or

$$T_t = 6 \times d \times \frac{Q}{J} \quad \text{где} \quad Q = \frac{\pi \times G \times J \times N}{72 \times L}$$

$G \rightarrow$ Модуль сдвига стали, 12×10^6 psi

$N \rightarrow$ кол - во заворотов инструмента, rev

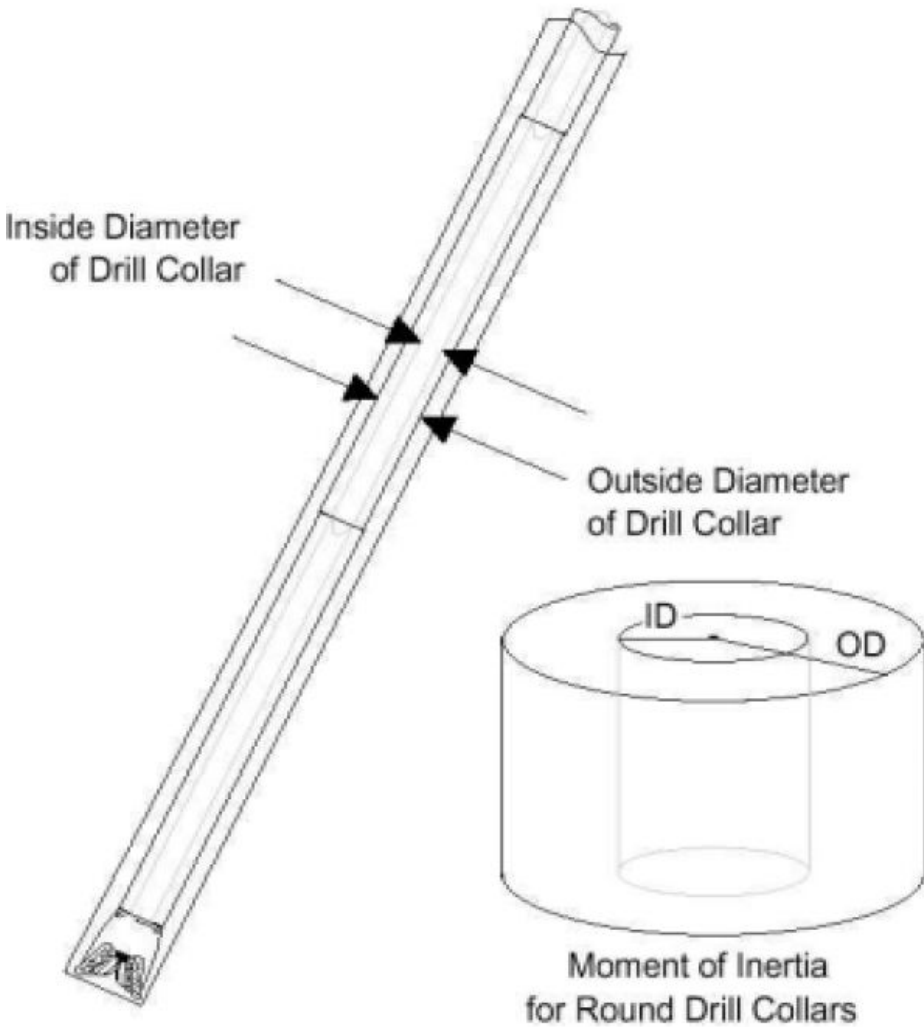
$Q \rightarrow$ вр. момент, приложенный к инструменту, ft.lb

$L \rightarrow$ длина инструмента, ft

$d \rightarrow$ внутр. диаметр инструмента, inches

$J \rightarrow$ полярный момент инерции, $\frac{\pi}{32} \times (D^4 - d^4)$; inch⁴

Жесткость элементов КНБК



- Жесткость = $E \times J$
- E – Модуль Юнга
- J – Момент инерции

Момент инерции

$$I = \pi (OD^4 - ID^4) \div 64$$

OD = внешний диаметр

ID = внутренний диаметр

Результирующие напряжения



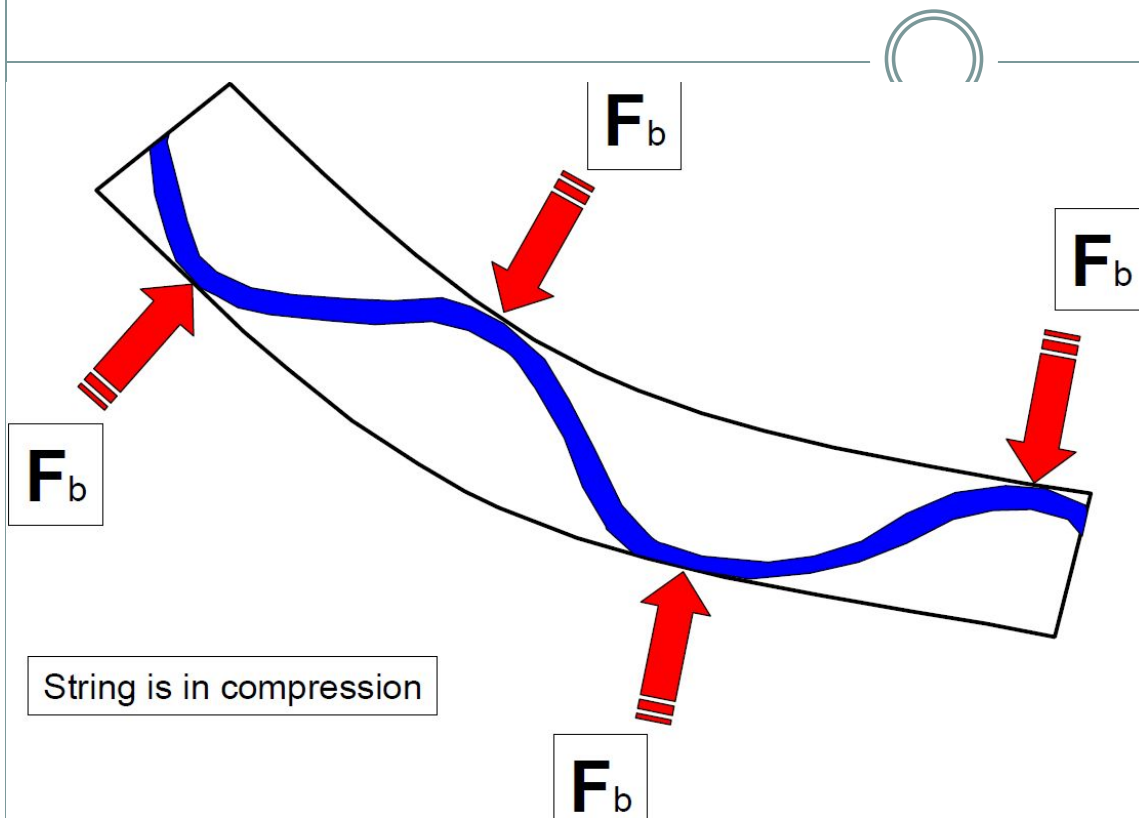
Von Mises

Stress

$$\sqrt{\left(\left(\sigma_{axial}\right)^2 + \left(\sigma_{bending}\right)^2\right) + 3\sigma_{torsional}^2}$$

- Совокупность осевых, изгибающих и касательных напряжений не должна превышать предел текучести с учетом индексов запаса

Складывание (распираание) инструмента



$$F_{CR} = 2 \times \sqrt{\frac{E \times I \times K_B \times W \times \sin \theta}{r}}$$

F_{CR} – Минимальная нагрузка для перехода в синусоидальный изгиб

Θ – Зенитный угол скважины в точке интереса

E – Модуль Юнга

K – Коэффициент плавучести

I – Момент инерции

W – Погонный вес элемента в воздухе

r – радиальный зазор между замком и стенкой скважины

