



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

ДЕТАЛИ МЕХАНИЗМОВ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ И ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ

Лекция №2.

Коледа Алексей Николаевич,
к.т.н., доцент ОЭИ ИШНКБ

25.09.2025

ПЛАН ЛЕКЦИИ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

1. Введение в сопромат. Основные задачи и допущения.
2. Классификация нагрузок. Внешние и внутренние силы.
3. Метод сечений. Внутренние силовые факторы.
4. Растяжение-сжатие.
5. Построение эпюр продольных сил.

1. ВВЕДЕНИЕ В СОПРОМАТ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

Сопротивление материалов — это наука о прочности, жесткости и устойчивости элементов инженерных конструкций.

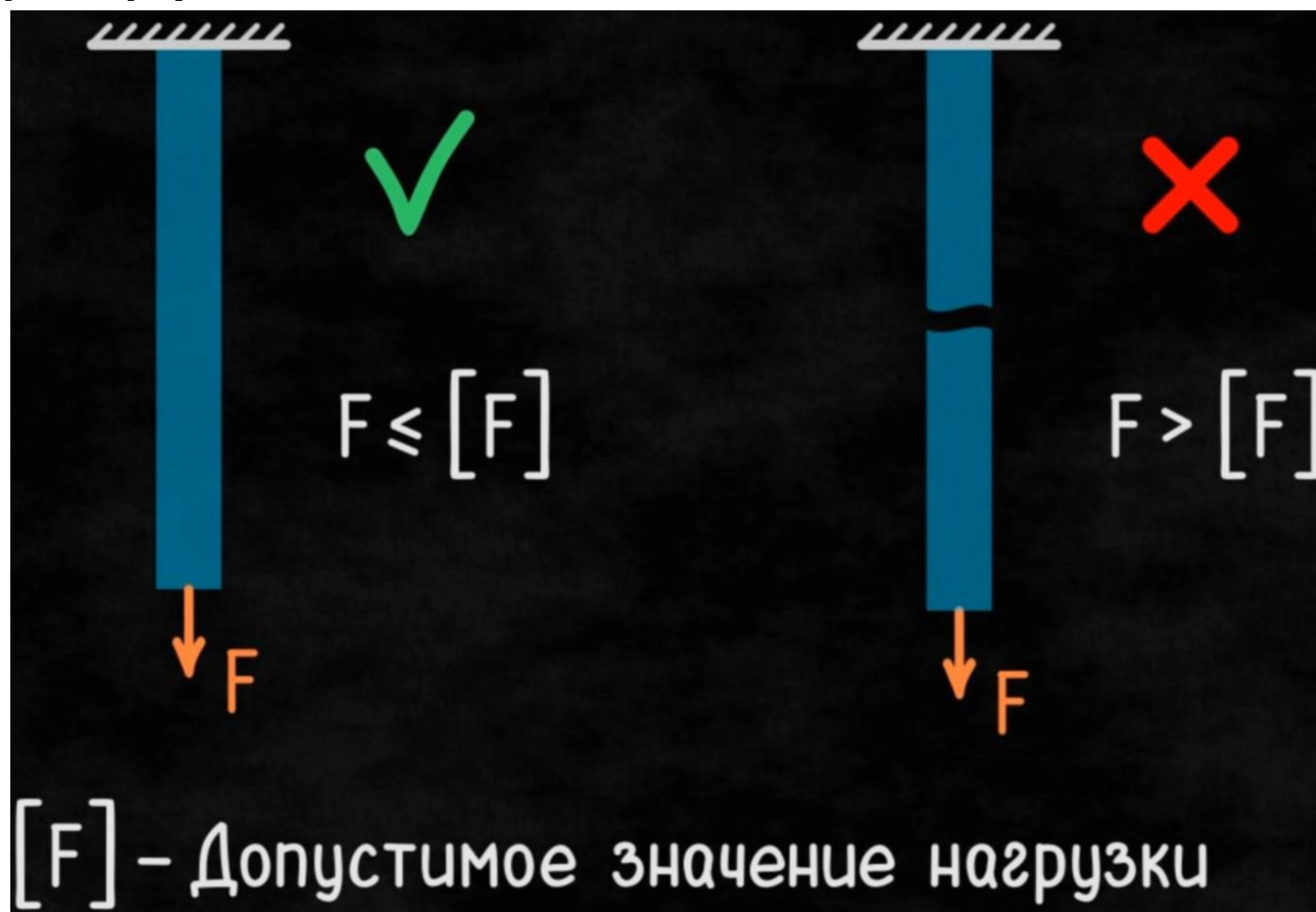


1. ВВЕДЕНИЕ В СОПРОМАТ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

Прочность — способность конструкции воспринимать нагрузки, не разрушаясь.

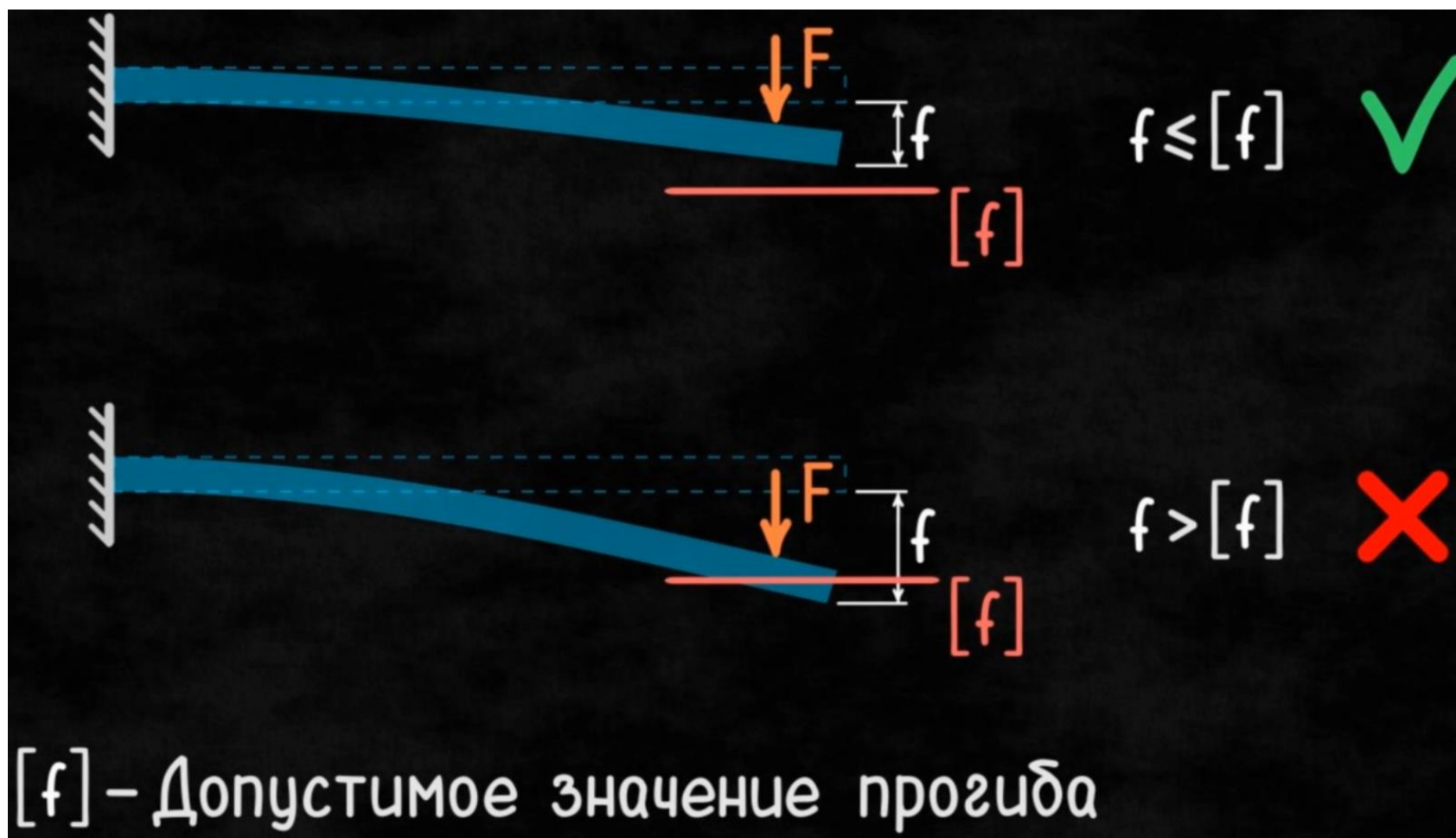


1. ВВЕДЕНИЕ В СОПРОМАТ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

Жёсткость — способность конструкции сопротивляться изменению формы (деформациям).

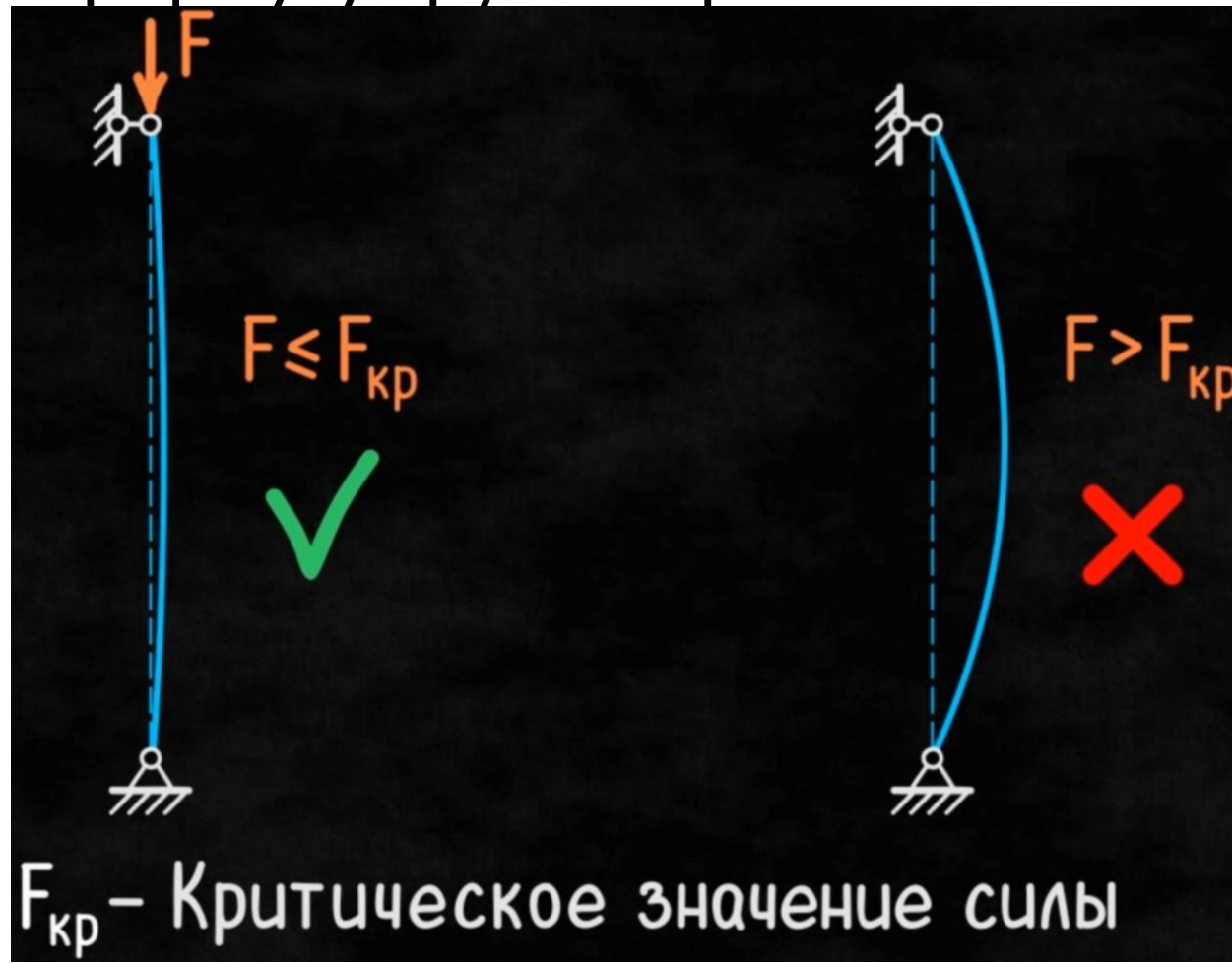


1. ВВЕДЕНИЕ В СОПРОМАТ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

Устойчивость — способность конструкции сохранять первоначальную форму упругого равновесия.



2. КЛАССИФИКАЦИЯ НАГРУЗОК



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

Нагрузки (внешние силы) — это силы, действующие на конструкцию извне.

По способу приложения:

- Поверхностные (сила давления, сосредоточенная сила).
- Объемные (массовые) (сила тяжести, силы инерции).

По характеру действия во времени:

- Статические — нагрузка возрастает от нуля до конечного значения и в дальнейшем не меняется.
- Динамические (ударные, повторно-переменные).

По площади приложения:

- Сосредоточенные (условно приложенные в точке).
- Распределенные.

Внутренние силы — это силы взаимодействия между частицами материала, возникающие под действием внешних нагрузок. Именно эти силы сопротивляются разрушению и деформированию.

3. ВНУТРЕННИЕ СИЛОВЫЕ ФАКТОРЫ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

Внутренние силовые факторы (усилия) возникают в результате деформации бруса, когда под действием внешних нагрузок происходит изменение взаимного расположения элементарных частиц тела.

Метод сечений (РОЗУ) — расшифровывается так:

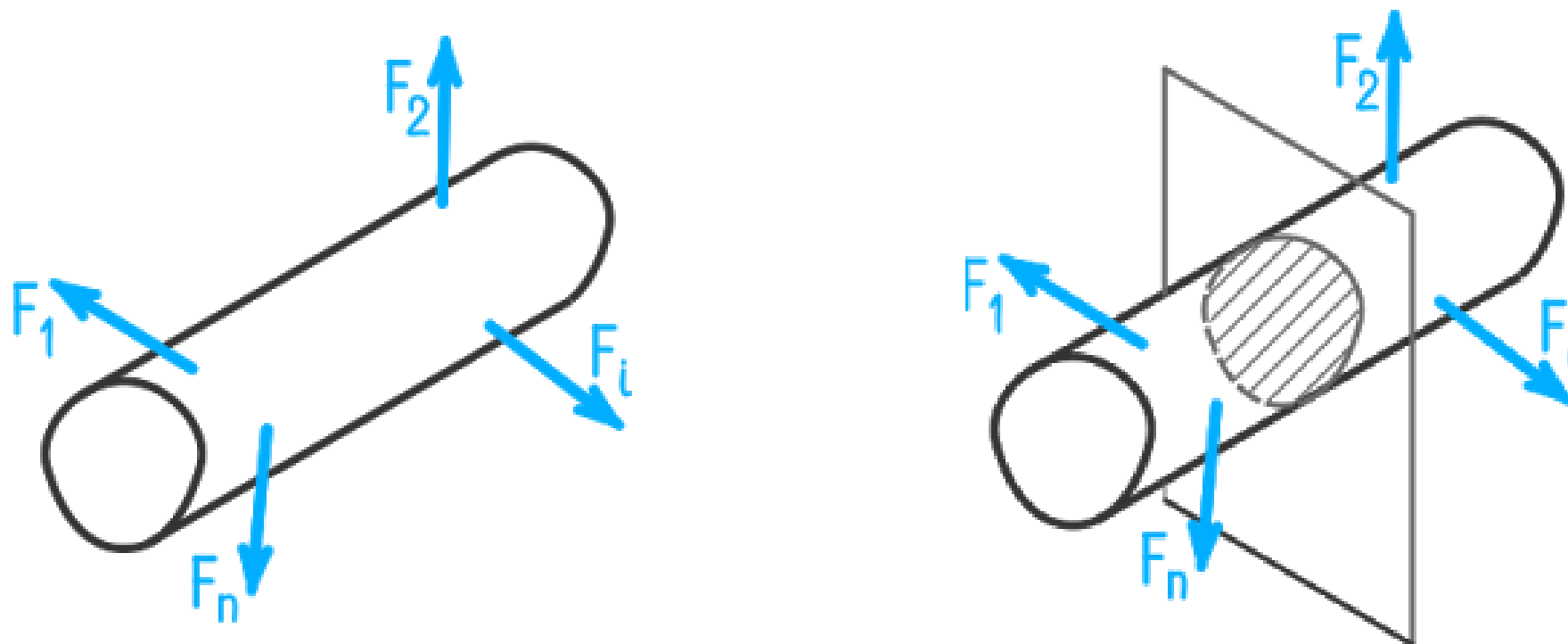
- Рассекаем (мысленно) брус на две части;
- Отбрасываем одну из частей;
- Заменяем ее действие внутренними усилиями;
- Уравновешиваем рассматриваемую часть определяя величину внутренних силовых факторов.

3. ВНУТРЕННИЕ СИЛОВЫЕ ФАКТОРЫ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

Внутренние силовые факторы (усилия) возникают в результате деформации бруса, когда под действием внешних нагрузок происходит изменение взаимного расположения элементарных частиц тела.



3. ВНУТРЕННИЕ СИЛОВЫЕ ФАКТОРЫ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

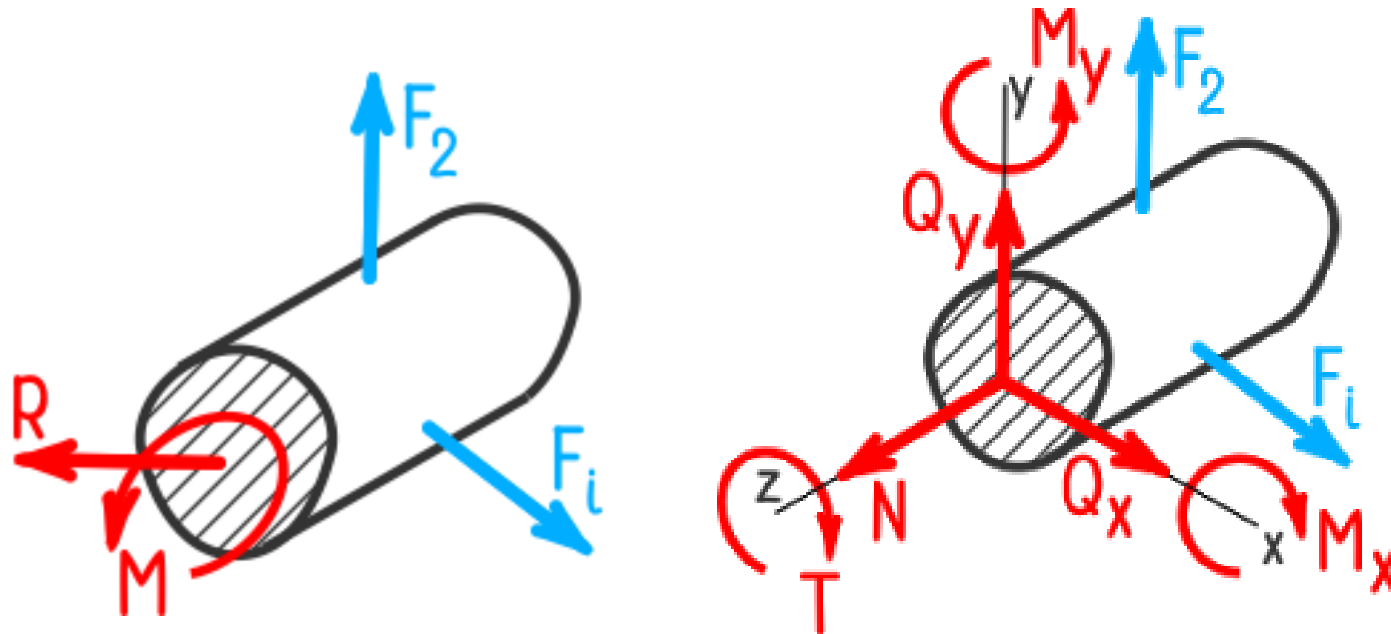
Внутренние силовые факторы:

$N_z = N$ — продольная растягивающая (сжимающая) сила;

$M_z = T$ — крутящий (скручивающий) момент;

Q_x (Q_y) = Q — поперечные силы;

M_x (M_y) = M — изгибающие моменты.



3. ВНУТРЕННИЕ СИЛОВЫЕ ФАКТОРЫ



$$\sum F_X = Q_X + \overset{осм}{\sum F_{ix}} = 0 \longrightarrow Q_X; \quad (1.1)$$

$$\sum F_Y = Q_Y + \overset{осм}{\sum F_{iy}} = 0 \longrightarrow Q_Y; \quad (1.2)$$

$$\sum F_Z = N_Z + \overset{осм}{\sum F_{iz}} = 0 \longrightarrow N_Z; \quad (1.3)$$

$$\sum m_X = M_X + \overset{осм}{\sum m_X(F_i)} = 0 \longrightarrow M_X; \quad (1.4)$$

$$\sum m_Y = M_Y + \overset{осм}{\sum m_Y(F_i)} = 0 \longrightarrow M_Y; \quad (1.5)$$

$$\sum m_Z = T + \overset{осм}{\sum m_Z(F_i)} = 0 \longrightarrow T. \quad (1.6)$$

4. РАСТЯЖЕНИЕ-СЖАТИЕ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

Растяжением и сжатием называют такой вид деформации бруса, при котором в его поперечных сечениях возникает единственный внутренний силовой фактор – продольная сила N .

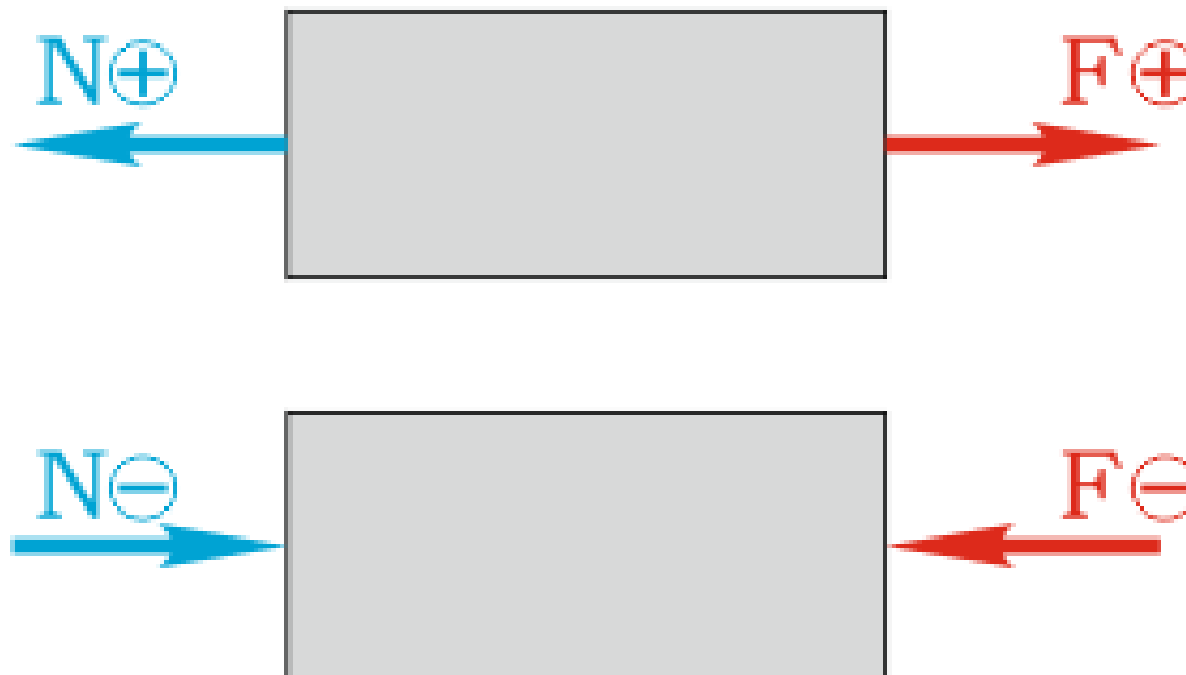


4. РАСТЯЖЕНИЕ-СЖАТИЕ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

Правила знаков при растяжении-сжатии



5. ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

Эпюра (фр. *еpure* — чертёж) — особый вид графика, показывающий распределение величины нагрузки на объект.

В данном случае, продольной силы N .

5. ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

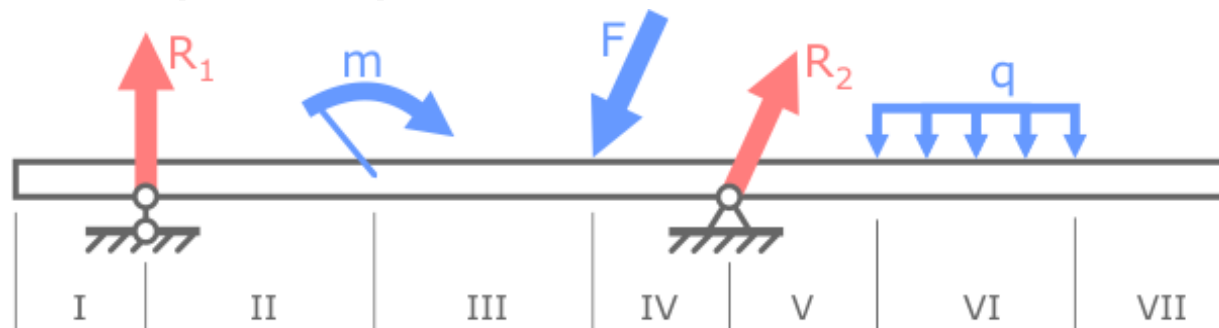
Порядок построения эпюр:

1. Определяются опорные реакции.
2. Определяется количество силовых участков бруса.
3. В пределах каждого участка брус рассекается на две части.
4. Выбирается часть, к которой приложено меньше нагрузок.
5. Записываются необходимые выражения для внутренних силовых факторов.
6. Рассчитываются значения для характерных положений сечения.
7. Строятся эпюры.

5. ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ



Силовой участок - часть бруса, в пределах которого величина внутренних силовых факторов постоянна, либо меняется по одной зависимости.



Границами силовых участков являются:

1. Крайние (торцевые) поверхности бруса;
2. Сечения, к которым приложены сосредоточенные внешние силы F и моменты M (как изгибающие, так и скручивающие);
3. Сечения, в которых начинается и заканчивается действие распределенной нагрузки q ;
4. Сечения бруса, контактирующие с опорами.

Участки нумеруются, как правило, римскими цифрами (I, II и т.д.). Направление нумерации значения не имеет.

6. МЕХАНИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ-СЖАТИИ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

Продольная сила N — это равнодействующая внутренних сил, распределенных по всему поперечному сечению.

Но нас интересует **интенсивность** этих сил в каждой точке.

Механическое напряжение (σ – «сигма») — это мера интенсивности внутренних сил, приходящаяся на единицу площади сечения.

$$\sigma = \frac{dF}{dA}$$

Для бесконечно
малой площадки

$$\sigma = \frac{N}{A},$$

N – продольная сила;

A – поперечное сечение.

6. МЕХАНИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ-СЖАТИИ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

Единица измерения:

Паскаль (Па) = Н/м².

Чаще используются мегапаскали (МПа = 10^6 Па) или Н/мм².

При растяжении ($N > 0$) напряжения положительные.

При сжатии ($N < 0$) напряжения отрицательные.

6. МЕХАНИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ-СЖАТИИ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

Условие прочности: максимальное (рабочее) механическое напряжение в детали не должно превышать допустимого напряжения.

$$\sigma_{max} = \frac{N_{max}}{A} \leq [\sigma]$$

Допустимое напряжение $[\sigma]$ устанавливается на основе опасного для материала напряжения, деленного на коэффициент запаса прочности (n).

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{пред}}{[n]}$$

6. МЕХАНИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ-СЖАТИИ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

Предельное напряжение ($\sigma_{\text{пред}}$):

Для **пластичных** материалов (сталь, алюминий) — **предел текучести (σ_T)**.

Для **хрупких** материалов (чугун) — **предел прочности (σ_B)**.

6. МЕХАНИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ-СЖАТИИ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

Условие прочности позволяет решать три типа задач:

1. Проверка прочности (проверочный расчет)

$$\sigma_{max} = \frac{N_{max}}{A} \leq [\sigma]$$

2. Подбор сечения (проектировочный расчет)

$$A \geq \frac{N_{max}}{[\sigma]}$$

3. Определение грузоподъемности (допускаемой нагрузки)

$$N_{max} \leq [\sigma] \cdot A$$

6. ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ-СЖАТИИ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

Под действием механических напряжений тело деформируется.

Деформация — изменение размеров и формы тела.

Абсолютная продольная деформация (Δl) — абсолютное удлинение или укорочение стержня.

$$\Delta l = l_1 - l$$

Относительная продольная деформация (ε — «эпсилон») — безразмерная величина.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

6. ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ-СЖАТИИ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

Механические напряжения и деформации взаимосвязаны законом Гука

$$\sigma = E \cdot \varepsilon,$$

где E – модуль упругости I рода (модуль Юнга), является постоянной величиной для данного материала и характеризует его жесткость (Пример для стали $E=200\text{ГПа}$).

Изменение длины участка бруса постоянного сечения вычисляется по формуле

$$\Delta l = \frac{N \cdot l}{E \cdot A} = \sigma \cdot \frac{l}{E}$$

6. ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ-СЖАТИИ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

Полное удлинение (укорочение) бруса с несколькими силовыми участками

$$\Delta l = \sum_{i=1}^n \Delta l_i = \sum_{i=1}^n \frac{N_i \cdot l_i}{E_i \cdot A_i}$$

Расчёт конструкции на допустимую жёсткость

$$\Delta l \leq [\Delta l]$$

ПРИМЕР ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
И БЕЗОПАСНОСТИ

Крепежная шпилька внутри корпуса передатчика: работает на растяжение.

Стойка шасси серверной стойки: работает на сжатие.

Эпюра N помогает найти опасное сечение, где $|N|$ максимальна.