

Дата **29.11.2022.** Группа: ХКМ 2/1. Курс второй. Семестр:3

Дисциплина: Техническая механика

Специальность: 15.02.06 «Монтаж и техническая эксплуатация холодильно-компрессорных машин и установок (по отраслям)»

Тема занятия: Растяжение и сжатие

Цель занятия:

–*методическая*– совершенствование методики проведения лекционного занятия; сочетание инновационных методов обучения с традиционной методикой преподавания;

–*учебная*– дать представление студентам о растяжение и сжатии, внутренних силовых факторах, напряжении;

–*воспитательная*– воспитывать культуру общения с использованием специальной терминологии, усидчивость, внимательность, графические и аналитические способности, чувство гордости за выбранную профессию.

Вид занятия: лекция

Форма проведения занятия: объяснительно - иллюстративная

Междисциплинарные связи:

Обеспечивающие: Инженерная графика, Физика, Математика

Обеспечиваемые: Техническая механика, Детали машин, Курсовое и дипломное проектирование,

Рекомендуемая литература

Основная литература:

- 1.Никитин Е.М.Теоретическая механика для техникумов. М.: Высшая школа, 2014
- 2.Олофинская В.П. Техническая механика. Сборник тестовых заданий. – Москва, Форум, Инфра М, 2014.
3. Аркуша А.И. Техническая механика. – Москва, Высшая школа, 2013.

Дополнительная литература:

1. Аркуша А.И. Руководство к решению задач по теоретической механике. - М.: Высшая школа, 2012.

Тема: Растяжение и сжатие (6 часов)

1. Растяжение и сжатие. Внутренние силовые факторы, напряжение.
2. Продольные и поперечные деформации.
3. Закон Гука. Коэффициент Пуассона
4. Построение эпюр. Эпюры продольных сил.
5. Эпюры нормальных напряжений.
6. Определение осевых перемещений поперечных сечений бруса.
7. Диаграммы растяжения и сжатия пластичных и хрупких материалов.
8. Коэффициент запаса прочности.
9. Условие прочности, расчёты на прочность.

4-5. Построение эпюр. Эпюры продольных сил. Эпюры нормальных напряжений

Под **растяжением** (**сжатием**) понимают такой вид нагружения, при котором в поперечных сечениях стержня возникают только продольные силы N , а прочие силовые факторы (поперечные силы, крутящий и изгибающий моменты) равны нулю.

Это самый простой и часто встречающийся вид деформации. Обычно он наблюдается когда внешняя нагрузка действует вдоль продольной оси стержня. **Продольной осью** стержня называется линия, проходящая через центры тяжести поперечных сечений.

Обычным является растяжение стержня силами, приложенными к его концам. Передача усилий к стержню может быть осуществлена различными способами, как это показано на рис. 1.

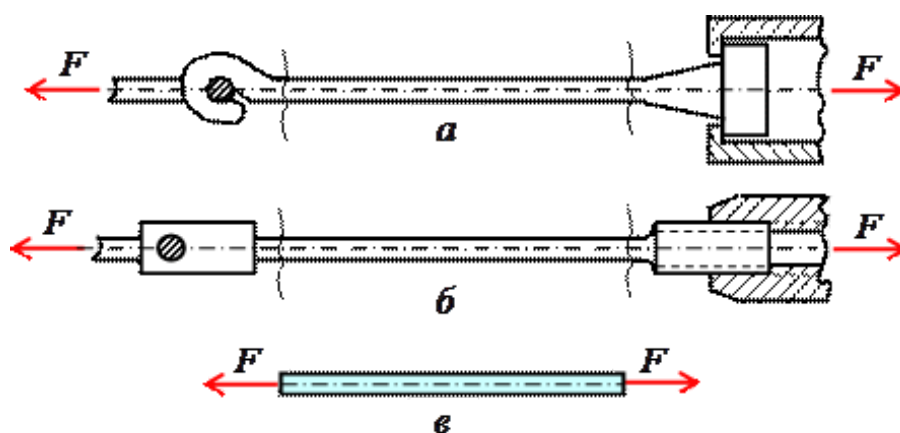


Рисунок 1- Растяжение стержня

Во всех случаях, однако, система внешних сил образует равнодействующую F , направленную вдоль оси стержня. Поэтому независимо от условий крепления растянутого стержня, расчетная схема в рассматриваемых случаях (рис. 1, а, б) оказывается единой (рис. 1, в) согласно принципу Сен – Венана.

Если воспользоваться методом сечений (рис. 2), то становится очевидным, что во всех поперечных сечениях стержня возникают нормальные силы N_z , равные силе F (рис. 2, б).

Сжатие отличается от растяжения, формально говоря, только знаком силы N_z . При растяжении нормальная сила N_z направлена от сечения (рис. 2, б), а при сжатии – к сечению.

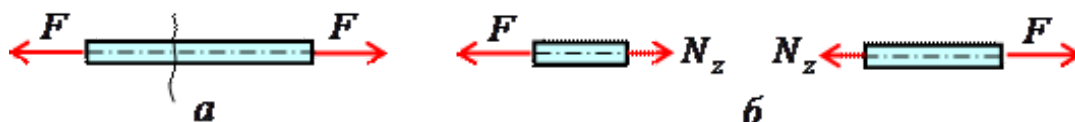


Рисунок 2- Нормальная сила N

Растягивающие продольные силы принято считать положительными (рис. 3, а), а сжимающие – отрицательными (рис. 3, б).

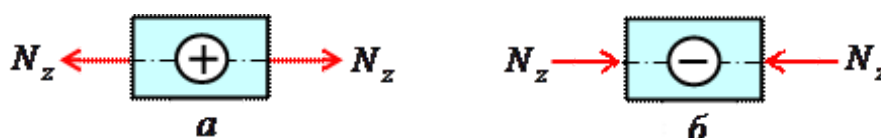
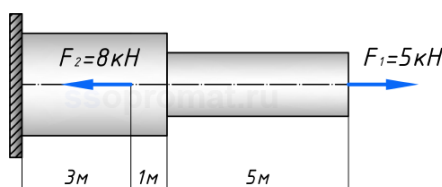


Рисунок 3- Знак продольной силы N

Построение эпюры продольных сил

В качестве примера возьмём простенькую расчётную схему стержня (также часто ступенчатый стержень, который работает на растяжение или сжатие, называют **брусом**). Загрузим наш стержень сосредоточенными силами, вот так:



Теперь наша первостепенная задача – построить **эпюру продольных сил**. Что такое **эпюра**? Эпюра – это график, который принято строить для визуализации распределения какой-либо величины. В нашем случае, **продольной силы**.

Построив такой график, мы можем увидеть, где определённая величина достигает **максимальных** или **минимальных** значений, что может быть полезно при проведении прочностных расчётов и других. Кроме того, эпюры могут служить

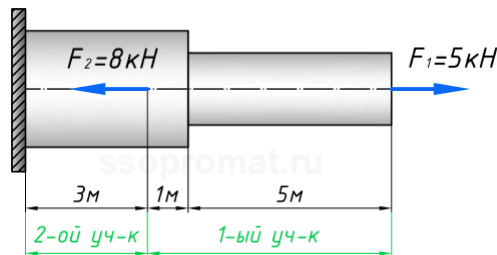
вспомогательными инструментами для построения других эпюр, о чём мы будем говорить далее.

Что такое продольная сила?

Продольная сила – это внутренняя сила, которая возникает в сечениях стержня, работающего на растяжение или сжатие под действием внешней нагрузки.

Расчёт эпюры продольных сил

Чтобы построить эпюру продольных сил, нужно разбить брус на несколько участков, где эпюра будет иметь постоянное значение. Конкретно, для этого стержня, **границами участков служат те точки, где прикладываются сосредоточенные силы**. То есть для нашего примера, нужно рассмотреть всего 2 участка:

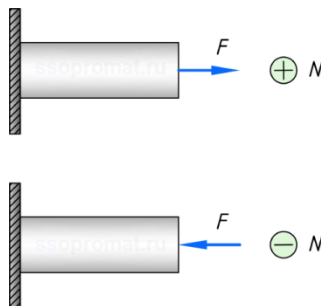


Важно! Эпюра продольных сил, никак **не зависит от формы бруса**, в отличие от других эпюр, которые будем дальше рассчитывать.

Правило знаков для продольных сил

Правило знаков для продольных сил следующее:

- если **внешняя сила (F) растягивает брус**, то **продольная сила (N) в сечениях будет положительная**;
- если **внешняя сила (F) сжимает брус**, то **продольная сила (N) в сечениях будет отрицательная**.

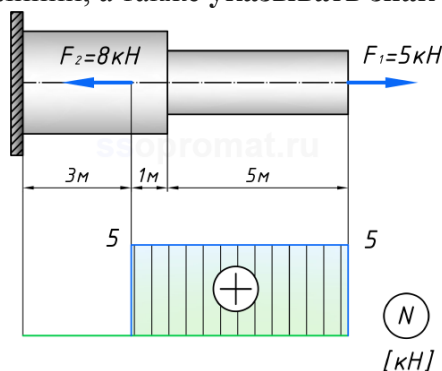


Расчёт продольных сил на участках

На первом участке сила F_1 **растягивает** брус на величину 5 кН, поэтому на этом участке, **продольная сила будет положительной и равной**:

$$N_1 = F_1 = 5 \text{ кН}$$

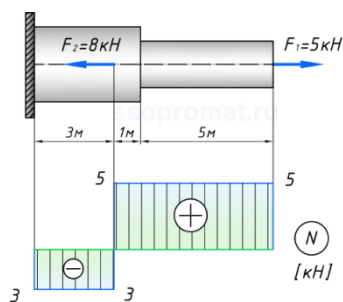
Откладываем это значение на графике — **эпюре**. Эпюры, принято заштриховывать перпендикулярно к нулевой линии, а также **указывать знак** продольной силы:



На втором же участке, помимо силы F_1 , также действует сила F_2 , которая сжимает брус, поэтому в уравнении ее нужно учесть со знаком «минус»:

$$N_2 = F_1 - F_2 = 5 - 8 = -3 \text{ кН}$$

Откладываем полученное значение на эпюре:



Расчёт реакции в жёсткой заделке

Прежде всего, следует разобраться с тем, что вообще такое **реакция**. Всё дело в том, что помимо внутренних усилий, возникающих внутри нагруженного элемента конструкции, в том месте, где закреплён этот элемент, также возникают некоторые силы (сила), которые являются реакцией на внешнюю нагрузку и удерживающие эту конструкцию в состоянии статического равновесия.

Например, стул на котором ты сейчас сидишь и давишь на него своим весом, сопротивляется, чтобы удерживать тебя в состоянии равновесия. Если переводить на язык сопромата, твой вес в этом случае это **внешняя сила**, а сила с которой стул реагирует на твой вес — это реакция опоры, равная по модулю этой силе, но противоположно направленная.

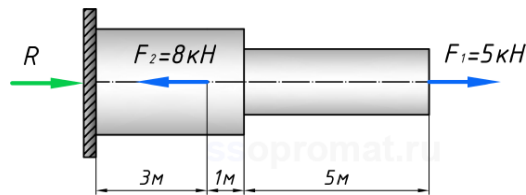
Так и в нашей конструкции, в жёсткой заделке, также возникает реакция! Осталось только научиться — определять эту силу. Так как она должна компенсировать всю нагрузку, которая приложена к стержню, условие равновесия для нашей схемы можно записать так:

$$\Sigma F = 0$$

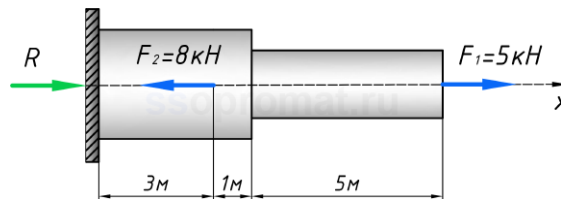
То есть, так как система находится в состоянии равновесия, то сумма всех сил, действующих на конструкцию, **будет равна нулю**.

Из этого условия равновесия и найдём искомую реакцию. Приложим некоторую силу R в месте, где закреплён наш стержень, при этом направить её можно в любую

сторону, хоть влево, хоть вправо, главное, чтобы она была направлена горизонтально, так как у нас вся нагрузка, направлена так, то и реакция в заделке будет возникать исключительно — **горизонтальная**:



Чтобы составить уравнение равновесия, введём продольную ось — x , относительно неё будем составлять это уравнение, при этом силы, которые будут совпадать с положительным направлением оси x , в уравнении будем учитывать с «плюсом», а противоположно направленные с «минусом»:



$$\Sigma F_x = R - F_2 + F_1 = 0$$

Находим из этого уравнения реакцию в заделке:

$$R = F_2 - F_1 = 8 - 5 = \mathbf{3 \text{ кН}}$$

5. Построение эпюры нормальных напряжений

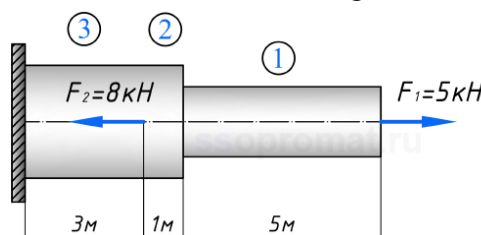
В отличие от продольных сил, нормальные напряжения уже зависят от формы бруса, а если точнее, то от **площади его поперечных сечений**.

Формула для определения **нормальных напряжений** выглядит так:

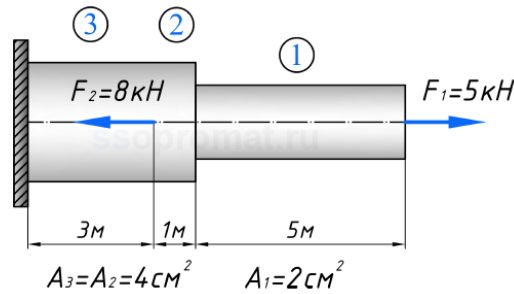
$$\sigma_i = \frac{N_i}{A_i}$$

Таким образом, чтобы найти нормальное напряжение в любом сечении бруса, нужно: продольную силу в этом сечении разделить на площадь сечения.

Нормальные напряжения, как и продольные силы, изменяются по одному закону в пределах участков. Однако, так как форма бруса сказывается на распределении нормальных напряжений, здесь границами участков также служат места изменения геометрии бруса. Таким образом, для нашей расчетной схемы, нужно рассмотреть три участка и вычислить напряжения, соответственно, 3 раза:



Будем считать, что по условию задачи нам известны все параметры бруса, включая площади поперечных сечений: на первом участке площадь поперечного сечения $A_1=2\text{ см}^2$, а на втором и третьем $A_2 = A_3 = 4\text{ см}^2$.



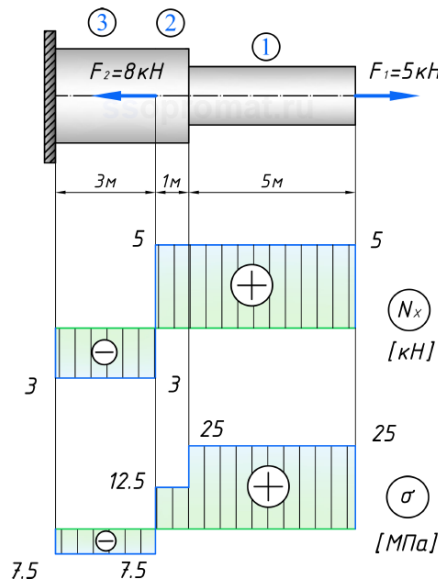
Вычисляем напряжения на каждом участке:

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = \frac{5 \cdot 10^3 \text{ Н}}{2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} = 25 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \mathbf{25 \text{ МПа}}$$

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{A_2} = \frac{5 \cdot 10^3 \text{ Н}}{4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} = 12.5 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \mathbf{12.5 \text{ МПа}}$$

$$\sigma_3 = \frac{N_3}{A_3} = -\frac{3 \cdot 10^3 \text{ Н}}{4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} = -7.5 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \mathbf{-7.5 \text{ МПа}}$$

По полученным значениям строим эпюру нормальных напряжений:

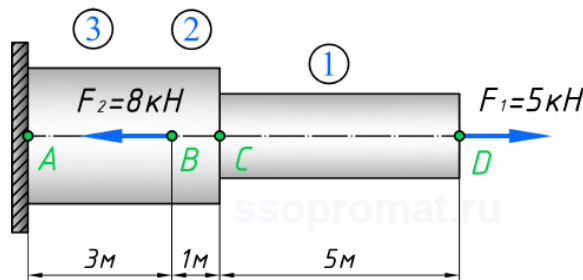


По полученной эпюре нормальных напряжений, можно определить те поперечные сечения, в которых напряжения будут **максимальными** (все сечения на участке 1), что полезно при проведении прочностного расчёта.

6. Определение осевых перемещений поперечных сечений бруса

Под действием внешней нагрузки поперечные сечения бруса перемещаются вдоль продольной оси. Под нагрузкой брус может как удлиниться, так и укоротиться. И в этом разделе будем учиться определять эти перемещения.

Для начала подготовимся к расчету и расставим точки в характерных сечениях. Чтобы потом к ним привязываться по ходу решения:



Если для первых двух эпюр, расчет начинался справа налево, от свободного конца. То здесь нам нужно начать считать с закрепленного конца, с жесткой заделки и так как сечение А, закреплено жестко, то никакие перемещения этого сечения невозможны, поэтому сразу можем записать:

$$w_A = 0$$

Эпюра перемещений так же, как и остальные эпюры, меняется по одному закону, в пределах участков. Поэтому, чтобы построить эпюру, достаточно определить эти перемещения в характерных точках.

Перемещение точки В будет складываться из **перемещения предыдущего расчетного сечения**:

$$w_B = w_A +$$

А также **удлинения (или укорочения) участка** между расчетными сечениями:

$$w_B = w_A + \Delta l_{AB}$$

В свою очередь, удлинение (или укорочение) любого участка, можно определить по следующей формуле:

$$\Delta l_i = \frac{N_i \cdot l_i}{E \cdot A_i}$$

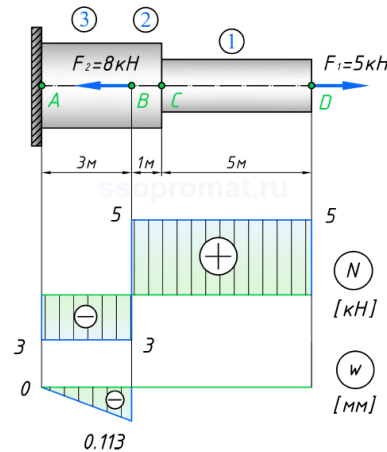
Поэтому формулу, для нахождения перемещения сечения В, можно записать и в другом виде:

$$w_B = w_A + \frac{N_3 \cdot l_{AB}}{E \cdot A_3}$$

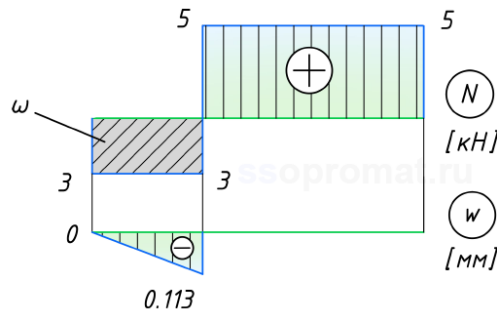
Подставив все численные значения, найдем искомое перемещение:

$$w_B = 0 - \frac{3 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot 3 \text{ м}}{2 \cdot 10^{11} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} = -0.113 \cdot 10^{-3} \text{ м} = -0.113 \text{ мм}$$

Откладываем полученное значение на эпюре:



Также важно отметить, что при вычислении удлинения или укорочения участка (Δl), фактически **площадь эпюры продольных сил (ω)** делится на жесткость при растяжении или сжатии (EA).



$$\Delta l_{AB} = \frac{N_3 \cdot l_{AB}}{E \cdot A_3} = \frac{\omega}{E \cdot A_3}$$

Это свойство нам еще пригодится, когда будем рассматривать более сложную задачу.

Для точек **C** и **D** перемещения находятся аналогичным способом, так же как и для точки **B**, поэтому подробно комментировать не буду, приведу решение.

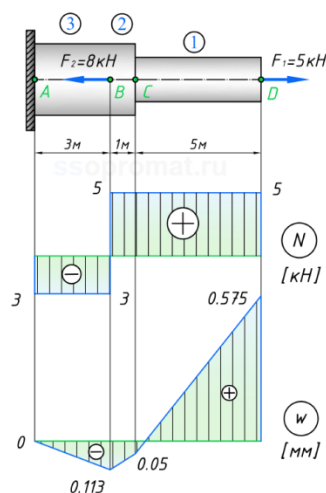
Точка C

$$\begin{aligned} w_C &= w_B + \Delta l_{BC} = w_B + \frac{N_2 \cdot l_{BC}}{E \cdot A_2} = \\ &= -0.113 \cdot 10^{-3} \text{ м} + \frac{5 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м}}{2 \cdot 10^{11} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} = \\ &= (-0.113 + 0.063) \cdot 10^{-3} \text{ м} = -0.05 \cdot 10^{-3} \text{ м} = \mathbf{-0.05 \text{ мм}} \end{aligned}$$

Точка D

$$\begin{aligned} w_D &= w_C + \Delta l_{CD} = w_C + \frac{N_1 \cdot l_{CD}}{E \cdot A_1} = \\ &= -0.05 \cdot 10^{-3} \text{ м} + \frac{5 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot 5 \text{ м}}{2 \cdot 10^{11} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} = \\ &= (-0.05 + 0.625) \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0.575 \cdot 10^{-3} \text{ м} = \mathbf{0.575 \text{ мм}} \end{aligned}$$

Откладываем полученные значения на эпюре:



По полученной эпюре, можно увидеть — в какую сторону и насколько переместится любое поперечное сечение стержня. Наиболее интересной характеристикой здесь является перемещение сечения D, то есть перемещение свободного конца бруса или фактическое удлинение. Как видим, сечение D переместится **вправо** на величину W_D (т. к. значение W_D — положительное). То есть, под действием всей нагрузки брус удлинится на 0.575 мм.

Задание для самостоятельной работы:

1. Разобрать задание, приведенное в лекции, законспектировать решение с построением эпюр в рабочую тетрадь!!!

2. Фотографии отчета прислать в личном сообщении ВК <https://vk.com/id139705283>

На фотографиях сверху должна быть фамилия, дата выдачи задания, группа, дисциплина. Например: «Иванов И.И, 29.11.2022, группа ХКМ 2/1, Техническая механика».