

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Югорский государственный университет

**Инженерный факультет**

*Кафедра «Строительные технологии и конструкции»*

**РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ  
ПРИ ОСЕВОМ ДЕЙСТВИИ НАГРУЗОК**

**Методические указания к расчетно-графической работе  
по сопротивлению материалов для студентов всех форм  
обучения**

Ханты-Мансийск  
2006

**ББК 30.121**  
**УДК 624.04**

*Рецензент* канд. техн. наук. доц. кафедры  
«Строительная механика» СибАДИ В.М. Романовский

**Расчеты на прочность и жесткость при осевом действии нагрузок:** Методические указания к расчетно-графической работе по сопротивлению материалов для студентов всех форм обучения / сост. А.Е. Ищенко. – Ханты-Мансийск: РИЦ ЮГУ, 2006. – 24 с.

Содержатся краткие теоретические сведения и примеры расчетов при осевом приложении внешних сил к стержням.

В приведенных примерах излагается методика решения различных типов задач с использованием условий прочности и жесткости и дается численное решение всех задач. Сформулированы вопросы для самоконтроля, указана рекомендуемая для изучения литература. В пособии даются варианты и расчетные схемы индивидуальных заданий, и излагается последовательность выполнения расчетно-графической работы.

**ББК 30.121**  
**УДК 624.04**



*Составитель Александр Евгеньевич Ищенко*

**Расчеты на прочность и жесткость  
при осевом действии нагрузок**

Методические указания к расчетно-графической работе  
по сопротивлению материалов для студентов  
всех форм обучения

*Оригинал-макет подготовлен РИЦ ЮГУ*

Формат 60x84/16. Гарнитура Times New Roman.  
Усл. п. л. 1,5. Тираж 60. Заказ № 107.

Редакционно-издательский центр ЮГУ,  
628012, Ханты-Мансийский автономный округ-Югра,  
г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16

## Введение

Растяжение и сжатие – виды напряженного состояния, которые очень часто встречаются в элементах строительных конструкций, машин и механизмов. Например, в тросе подъемника, поднимающего груз, или в канате, которым буксируется автомобиль, возникают растягивающие усилия. В фабричной трубе от ее собственного веса или в колоннах каркаса здания, поддерживающих перекрытие, действуют сжимающие усилия. В зависимости от положения подвижной нагрузки на пролетном строении, в элементах мостовых ферм могут возникать как растягивающие, так и сжимающие усилия.

В приводимых примерах будем рассматривать только центральное действие нагрузок, вызывающее одинаковые деформации продольных волокон.

В тех случаях, когда внутренние усилия меняются по сложному закону, строится график, называемый эпюрой продольных сил. Каждая ордината такого графика показывает величину продольной силы в рассматриваемом сечении. Зная величину продольной силы можно рассчитать напряжения в сечении и продольные деформации элемента.

# 1. Напряжения и деформации при растяжении и сжатии стержней

Рассмотрим стержень, нагруженный системой сил (рис. 1), действующих вдоль его оси и приложенных в центре тяжести поперечных сечений.

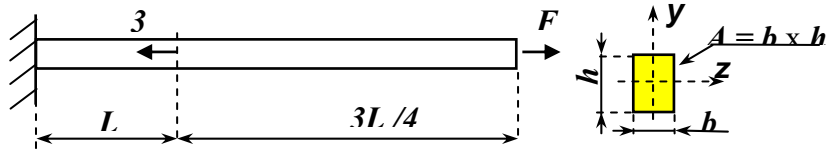
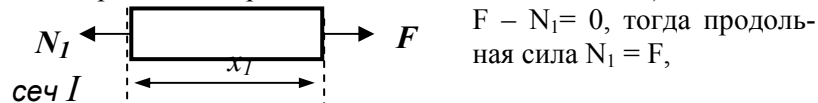


Рис. 1. Расчетная схема стержня

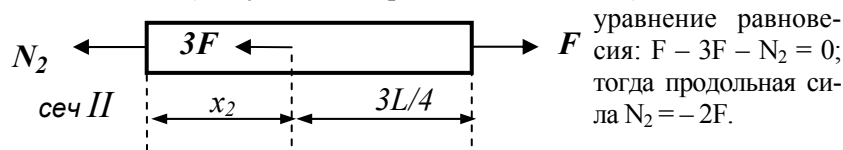
Для анализируемой расчетной схемы стержня на рис. 2 показаны эпюры внутренних усилий, нормальных напряжений, возникающих в сечениях от этих усилий и перемещений сечений стержня.

Для определения внутренних усилий в сечениях стержня используется метод сечений. В том сечении, где требуется определить внутреннее усилие, стержень мысленно рассекается плоскостью на две части, одна из которых отбрасывается, а ее влияние на оставшуюся заменяется внутренним усилием. Составляется уравнение равновесия для рассматриваемой отсеченной части, в которое входят все внешние силы, расположенные по одну сторону сечения и внутреннее усилие. Из этого уравнения определяется внутреннее усилие.

Из уравнения равновесия для сечения I (рассматривается участок стержня в интервале от 0 до  $3L/4$ :  $0 \leq x_1 \leq 3L/4$ )  $\sum F_x = 0$ :



В сечении II (для участка стержня  $0 \leq x_2 \leq L/4$ ):



Деформация стержня при таком действии нагрузки происходит в соответствии с гипотезой Бернулли: **поперечные сечения стержня, плоские и перпендикулярные его продольной оси до приложения нагрузки, остаются плоскими и перпендикулярными оси и после приложения нагрузки.**

Так как все сечения стержня перемещаются параллельно начальным положениям, то все волокна стержня удлиняются или укорачиваются одинаково, в этом случае и нормальные напряжения распределяются по поперечному сечению равномерно.

Используя зависимость между продольной силой в рассматриваемом сечении и нормальным напряжением  $N = \int \sigma dA$ , получим  $N = \sigma A$ ; следовательно, нормальные напряжения в произвольном сечении стержня:

$$\sigma_i = N_i / A_i \quad (1)$$

Знаки нормальных напряжений определяются по знаку продольной силы в рассматриваемом сечении: растягивающие напряжения положительны, сжимающие – отрицательны. Нормальные напряжения, действующие в сечениях первого участка рассматриваемого стержня:  $\sigma_1 = F / A$ ; в сечениях второго участка:  $\sigma_2 = - 2F / A$ .

При расчетах на прочность фактические нормальные напряжения в поперечных сечениях проектируемого конструктивного элемента не должны превышать предела, обеспечивающего его способность сохранять в процессе эксплуатации качество, заложенное при проектировании.

Существует два метода расчета конструкций:

1. Все элементы строительных конструкций рассчитываются **по методу предельных состояний**, критерием прочности материала служит его расчетное сопротивление при растяжении или при сжатии –  $R_p$  или  $R_{сж}$ . Условие прочности в этом случае:

$$|\sigma_{\max}| \leq R_i \quad (2)$$

2. Детали машиностроительных конструкций рассчитываются **по методу допускаемых напряжений** критерием прочности материала при этом служит допускаемое напряжение при растяжении  $[\sigma_p]$  или сжатии  $[\sigma_{сж}]$ . Условие прочности элемента при таком подходе:

$$|\sigma_{\max}| \leq [\sigma_i] \quad (3)$$

Для проектной задачи условия прочности (2) и (3) могут быть использованы при нахождении площади поперечного сечения стержня.

В рассматриваемом примере требуемая площадь поперечного сечения должна назначаться с учетом соблюдения двух условий:

**а) при расчетах строительных конструкций по предельным состояниям:**

1.  $\sigma_1 = F / A \leq R_p \Rightarrow A_{тр} \geq F / R_p$
2.  $\sigma_2 = 2F / A \leq R_{сж} \Rightarrow A_{тр} \geq 2F / R_{сж}$

**б) при расчетах машиностроительных конструкций по допускаемым напряжениям:**

1.  $\sigma_1 = F / A \leq [\sigma_p] \Rightarrow A_{тр} \geq F / [\sigma_p]$
2.  $\sigma_2 = 2F / A \leq [\sigma_{сж}] \Rightarrow A_{тр} \geq 2F / [\sigma_{сж}]$

В том случае, если в поперечных сечениях стержня действуют напряжения разных знаков, площадь поперечного сечения назначается с учетом выполнения обоих условий  $|\sigma_{max}| \leq R_p$ ;  $|\sigma_{min}| \leq R_{сж}$ .

При осевом действии нагрузки происходит продольная и поперечная деформация стержня. Для определения продольной деформации используется закон Гука:  $\sigma = \varepsilon \cdot E$ , здесь  $\varepsilon = \Delta L / L$  – относительное удлинение или укорочение стержня, а  $E$  – модуль упругости материала при растяжении или сжатии.

Величина продольной деформации рассматриваемого участка стержня, т.е. его абсолютного удлинения или укорочения определяется по формуле:

$$\Delta L_i = N_i \cdot L_i / E \cdot A_i \quad (4)$$

Эта величина ограничивается эксплуатационными требованиями, предъявляемыми ко всем элементам конструкций. Нормативное удлинение или укорочение стержня, обозначаемое  $[\Delta L]$ , в зависимости от назначения элемента колеблется в широком интервале от  $L / 500$  до  $L / 10000$ .

Условие жесткости стержня:

$$|\Delta L_{max}| \leq [\Delta L] \quad (5)$$

В рассматриваемом примере удлинение растянутого участка, длина которого равна  $3L / 4$ :  $\Delta L_1 = 3FL / 4EA$ ; укорочение сжатого участка длиной  $L / 4$ , примыкающего к жесткой заделке:  $\Delta L_2 = - 2FL / 4EA = - FL / 2EA$ .



Построение эпюры перемещений сечений стержня (рис. 2), следует начать от опорного сечения, т.к. в жесткой заделке перемещение сечения равно 0.

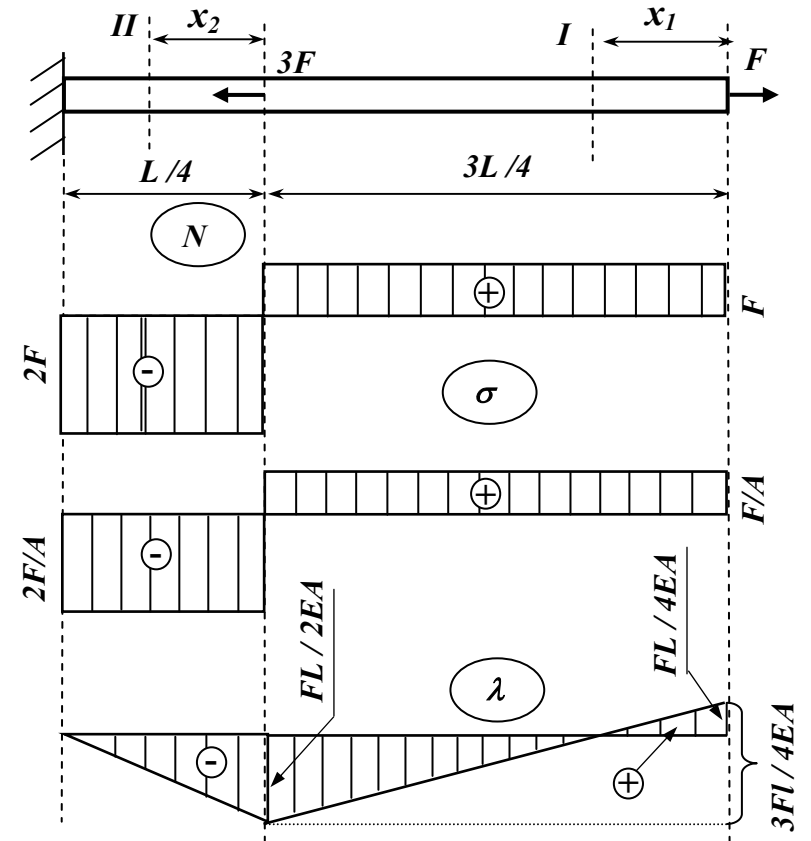


Рис. 2. Эпюры внутренних усилий, напряжений и перемещений

Полная продольная деформация стержня равна алгебраической сумме деформаций всех участков:

$$\lambda = \Delta L_{\text{п}} = \Sigma \Delta L_i = FL / 2EA - FL / 4EA = FL / 4EA.$$

При назначении размеров поперечного сечения из условия жесткости следует оценить величину максимальной продольной деформации:

$$|\Delta L_{\text{max}}| = 3FL / 4EA \leq [\Delta L] \Rightarrow A_{\text{тр}} \geq 3AL / 4E [\Delta L]$$

Размеры поперечного сечения стержня должны быть назначены таким образом, чтобы соблюдались оба критерия – условие прочности по нормальным напряжениям и условие жесткости. Следовательно, окончательно назначается большее, полученное из этих условий, сечение.

## 2. Пример расчета (проектная задача)

Для стержня, расчетная схема которого показана на рис. 3, требуется назначить размеры прямоугольного поперечного сечения с отношением сторон  $h:b = 2$  из условий прочности и жесткости.

Исходные данные для проектирования:

$L = 0.6\text{ м}$ ,  $F = 40\text{ кН}$ ,  $R_p = 5\text{ МПа}$ ,  $R_{сж} = 15\text{ МПа}$ ,  $E = 0.2 \cdot 10^5\text{ МПа}$ ,  
 $[\Delta L] = L / 2000$ .

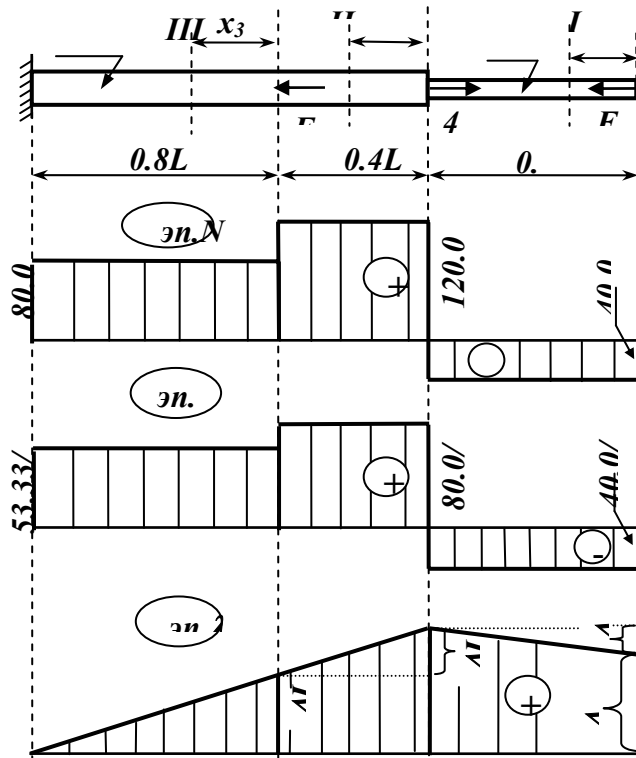


Рис. 3. Эпюры внутренних усилий, напряжений и перемещений

Расчет на прочность произвести по первому предельному состоянию.

Для определения положения опасных сечений стержня, т.е. сечений, в которых от действия внешней нагрузки возникают экстремальные нормальные напряжения, необходимо построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений.

Для построения этих эпюр стержень разбивается на характерные участки, границами участков служат сечения, в которых приложены сосредоточенные силы или меняются размеры поперечного сечения.

Сечение I ( $0 \leq x_1 \leq 0.5 L$ ) из уравнения равновесия отсеченной части стержня:

$$\sum x = 0 \Rightarrow N_1 = -F = -40 \text{ кН}$$

Нормальные напряжения в сечениях первого участка:

$$\sigma_1 = N_1 / A_1 = -F / A = \sigma_{\min}$$

Сечение II ( $0 \leq x_2 \leq 0.4 L$ ) из уравнения равновесия отсеченной части стержня:

$$\sum x = 0 \Rightarrow N_2 = -F + 4F = 3F = 120 \text{ кН}$$

Нормальные напряжения в сечениях второго участка:

$$\sigma_2 = N_2 / A_2 = 3F / 1.5A = 2F / A = \sigma_{\max}$$

Сечение III ( $0 \leq x_3 \leq 0.8 L$ ) из уравнения равновесия отсеченной части стержня

$$\sum x = 0 \Rightarrow N_3 = -F + 4F - F = 2F = 80 \text{ кН}$$

Нормальные напряжения в сечениях третьего участка:

$$\sigma_3 = N_3 / A_3 = 2F / 1.5A = 1.333F / A$$

Условие прочности по растягивающим напряжениям:

$$\sigma_{\max} = \sigma_2 = 2F / A \leq R_p, \text{ отсюда } A_{\text{тр}} \geq 2F / R_p$$

$$A_{\text{тр}} \geq 2 \cdot 40 \cdot 10^{-3} / 5 = 160 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 160 \text{ см}^2$$

Условие прочности по сжимающим напряжениям:

$$\sigma_{\min} = |\sigma_1| = F / A \leq R_{\text{сж}}, \text{ отсюда } A_{\text{тр}} \geq F / R_{\text{сж}}$$

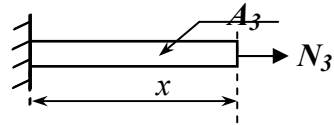
$$A_{\text{тр}} \geq 40 \cdot 10^{-3} / 15 = 26.7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 26.7 \text{ см}^2$$

Из условий прочности требуемая площадь поперечного сечения стержня должна быть не менее  $160 \text{ см}^2$ .

Для назначения размеров поперечного сечения из условия жесткости необходимо построить эпюру продольных деформаций стержня (эп.  $\lambda$ ).

Анализ расчетной схемы стержня показывает, что поперечное сечение, примыкающее к жесткой заделке, не может перемещаться, следовательно, при построении эпюры перемещений за начало отсчета нужно принять жесткую заделку.

Расчетная схема для определения удлинения третьего участка:  
Перемещение произвольного сечения стержня на этом участке:



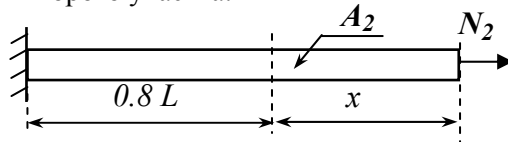
$$\Delta L_{3(x)} = N_3 \cdot x / E \cdot A_3 \quad (0 \leq x \leq 0.8L);$$

удлинение третьего участка составляет:

$$\Delta L_3 = 2F \cdot 0.8 L / 1.5E \cdot A = 1.07F \cdot L / E \cdot A$$

Продольные деформации второго участка:

$\Delta L_{2(x)} = N_2 \cdot x / E \cdot A_2$ ,  
удлинение второго участка:



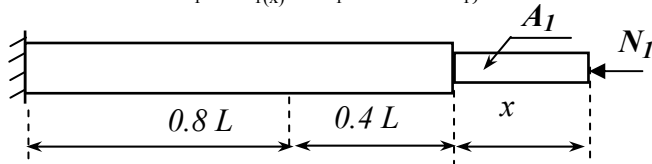
$$\Delta L_2 = 3F \cdot 0.4 L / 1.5 E \cdot A = 0.8FL / EA,$$

тогда деформация второго и третьего участков:

$$\Delta L_3 + \Delta L_2 = 1.87FL / EA$$

Укорочение первого участка от действия сжимающей силы

$$N_1: \Delta L_{1(x)} = N_1 \cdot x / E \cdot A_1,$$



деформация этого участка:  $\Delta L_1 = - F \cdot 0.5 L / E \cdot A$ .

Продольная деформация стержня, определяемая как алгебраическая сумма деформаций каждого из участков, равна:

$$\lambda = \Sigma \Delta L = \Delta L_3 + \Delta L_2 - \Delta L_1 = 1.37F \cdot L / E \cdot A$$

Построение эпюры продольных деформаций и эпюр внутренних усилий и напряжений показано на рис. 3. Назначение размеров поперечного сечения стержня производится по величине максимальной деформации участка. Условие жесткости:

$$\Delta L_3 = |\Delta L_{\max}| = 1.07 F L / E A \leq L / 2000;$$

$$A_{\text{тр}} \geq 1.07 \cdot 600 F / E$$

$$A_{\text{тр}} \geq 1.07 \cdot 2000 \cdot 40 \cdot 10^{-3} / 0.2 \cdot 10^5 = 42.8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 42.8 \text{ см}^2$$

Так как площадь поперечного сечения, вычисленная из условий прочности, превышает величину площади, полученной из условия жесткости, окончательно назначено:  $A=160 \text{ см}^2$ . Размеры сечения получены из условия  $b \times h = 2b^2 = 160 \text{ см}^2$ .

$$b = 160 / 2 = 8.9 \text{ см}, h = 2b = 17.8 \text{ см}.$$

### 3. Пример расчета (проверочная задача)

Требуется оценить прочность и жесткость стержня, расчетная схема которого показана на рис. 4. Расчет на прочность произвести по методу допускаемых напряжений.

Данные для расчета:  $L = 1.0 \text{ м}$ ,  $F = 0.65 \text{ МН}$ ,  $q = 1.0 \text{ МН / м}$ ,  $A_1 = 0.04 \text{ м}^2$ ,  $A_2 = 0.1 \text{ м}^2$ ,  $[\sigma_{сж}] = 50 \text{ МПа}$ ,  $[\sigma_{р}] = 20 \text{ МПа}$ ,  $E = 0.15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ,  $[\Delta L] = L / 1000$ .

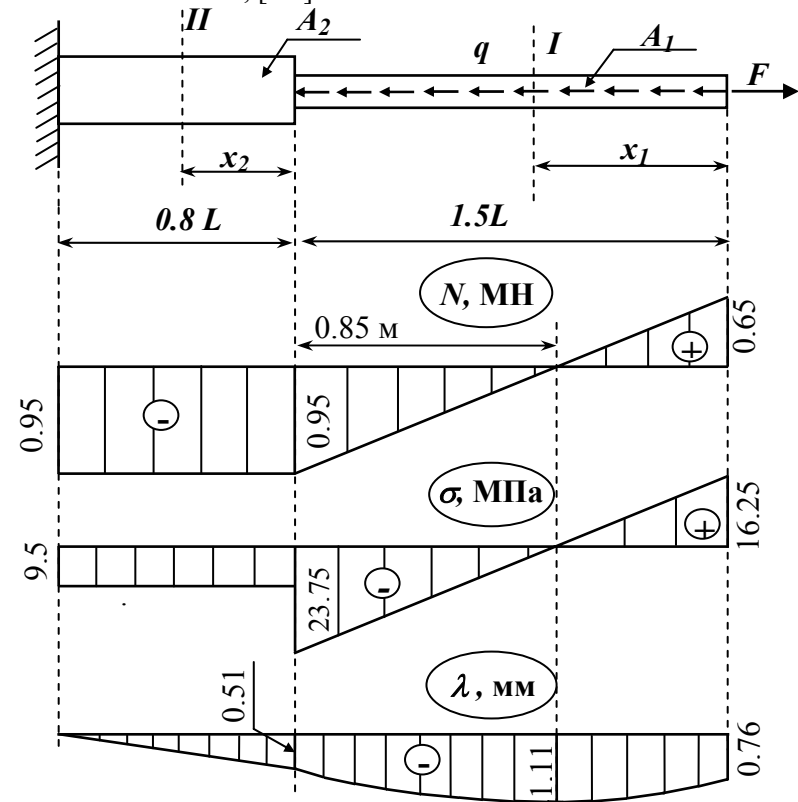


Рис. 4. Эпюры внутренних усилий, напряжений и перемещений

Для выполнения проверочного расчета на прочность необходимо построить эпюры внутренних усилий и нормальных напряжений, затем сравнить полученные результаты с напряжениями, допускаемыми для данного материала.

Стержень разбивается на два характерных участка, для каждого из них составляются аналитические выражения для определения продольной силы и нормального напряжения.

Сечение I ( $0 \leq x_1 \leq 1.5L$ )

$$N_1 = F - q x_1; \quad x_1 = 0 \Rightarrow N_1 = F = 0.65 \text{ МН},$$

$$x_1 = 1.5 \text{ м} \Rightarrow N_1 = 0.65 - 1.5 \cdot 1.0 = -0.95 \text{ МН};$$

$$\sigma_{1(x)} = N_{1(x)} / A_1;$$

$$x_1 = 0 \Rightarrow \sigma_1 = 0.65 / 0.04 = 16.25 \text{ МПа},$$

$$x_1 = 1.5 \text{ м} \Rightarrow \sigma_1 = -0.95 / 0.04 = -23.75 \text{ МПа}.$$

Сечение II ( $0 \leq x_2 \leq 0.8L$ )

$$N_2 = F - 1.5ql; \quad N_2 = 0.65 - 1.5 \cdot 1.0 = -0.95 \text{ МН};$$

$$\sigma_2 = N_2 / A_2; \quad \sigma_2 = -0.95 / 0.1 = -9.5 \text{ МПа}.$$

Анализ эпюры нормальных напряжений приводит к следующим выводам:

- максимальное (растягивающее) напряжение

$$\sigma_{max} = 16.25 \text{ МПа} \leq [\sigma_p] = 20 \text{ МПа} -$$

условие прочности соблюдается;

- минимальное (сжимающее) напряжение

$$|\sigma_{min}| = 23.75 \text{ МПа} \leq [\sigma_{сж}] = 50 \text{ МПа} -$$

условие прочности соблюдается.

Эпюры продольных сил и нормальных напряжений показаны на рис. 4.

Для расчета на жесткость необходимо определить продольную деформацию каждого участка стержня и построить эпюру перемещений, показанную на рис. 4. За начало отсчета принимается опорное сечение, т.к. его перемещение равно 0.

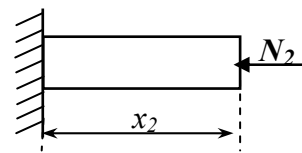
Рассматривая расчетную схему для определения деформации второго участка, получим:

$$\Delta L_2 = N_2 \cdot x_2 / E \cdot A_2; \quad (0 \leq x_2 \leq 0.8L)$$

$$\text{при } x = 0 \quad \Delta L_2 = 0;$$

$$\text{при } x = 0.8 \text{ м} \Rightarrow \Delta L_2 = -0.65 \cdot 1.5 / 0.15 \cdot 10^5 \cdot 0.04 = -0.51 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Полная деформация этого участка  $\Delta L_{2п} = -0.51 \text{ мм}.$



Из расчетной схемы для определения продольной деформации первого участка:

$$\Delta L_1 = N_{1(x)} \cdot x_1 / E \cdot A_1 - q \cdot x_1^2 / 2E \cdot A_1; \quad (0 \leq x_1 \leq 1,5L)$$

где  $N_1 = F - q(1,5L - x_1)$ .

При  $x_1 = 0 \Rightarrow \Delta L_1 = 0$ .

Так как продольная деформация стержня на рассматриваемом участке нелинейная, дополнительно определяется величина перемещения для сечения, в котором  $N_1 = 0$  ( $x = 0,85$  м).

$$\text{при } x = 0,85 \text{ м} \Rightarrow \Delta L_1 = (0,65 - 1,0 \cdot 0,65) \cdot 0,85 / 0,15 \cdot 10^{-5} \cdot 0,04 - 1,0 \cdot 0,85^2 / 2 \cdot 0,15 \cdot 10^{-5} \cdot 0,04 = - (0,0 + 0,60) \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$\Delta L_1 = - 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$\text{при } x = 1,5 \text{ м} \Rightarrow \Delta L_1 = 0,65 \cdot 1,5 / 0,15 \cdot 10^{-5} \cdot 0,04 -$$

$$- 1,0 \cdot 1,5^2 / 2 \cdot 0,15 \cdot 10^{-5} \cdot 0,04 = (1,625 - 1,875) 10^{-3} \text{ м};$$

$$\Delta L_1 = - 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Полная деформация первого участка  $\Delta L_{1п} = - 0,25$  мм.

При построении эпюры перемещений сечений этого участка необходимо учитывать укорочение участка стержня, примыкающего к заделке. Тогда ординаты  $\Delta L_i$  на эпюре следующие:

$$\text{при } x = 0 \Rightarrow \Delta L = - 0,51 + 0 = - 0,51 \text{ мм};$$

$$\text{при } x = 0,85 \text{ м} \Rightarrow \Delta L = - (0,51 + 0,60) = - 1,11 \text{ мм};$$

при  $x = 1,5$  м полная деформация всего стержня:

$$\Delta L_{\text{полн}} = - (0,51 + 0,25) = - 0,76 \text{ мм}.$$

Заданная величина нормативной продольной деформации  $[\Delta L] = L / 1000 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 1,0$  мм

Следовательно, условие жесткости  $|\Delta L_{\text{max}}| \leq [\Delta L]$  выполняется как для каждого из участков, так и для всего стержня.

Все полученные результаты расчетов позволяют сделать вывод о том, что условия прочности и жесткости для рассматриваемого стержня соблюдены, его нормальная эксплуатация при действии заданной нагрузки обеспечивается.

Студентам очной формы обучения перед выполнением индивидуальной расчетно-графической работы или студентам заочникам перед выполнением контрольной работы рекомендуется

изучить теоретический материал о расчетах на прочность и жесткость при осевом действии нагрузок и проанализировать приведенные примеры таких расчетов в следующих учебниках:

[1], гл.2, § 2.1, 2.2; гл.3, § 3.1-3.11;

[2], гл. 3, § 3.1-3.3, 3.7;

[3], гл.3, § 13-15, гл.4, § 27, 28, гл.5, § 35, 36;

[4], гл.2, § 2.1 -2.3, 2.8, 2.10.

#### **4. Вопросы для самоконтроля**

1. Как определяются внутренние усилия и нормальные напряжения в поперечных сечениях при осевом действии нагрузок?
2. Как сформулировать условия прочности стержня при растяжении и сжатии и как использовать эти условия при назначении размеров поперечного сечения?
3. Что означает выражение «жесткость поперечного сечения» и как сформулировать условие жесткости при растяжении-сжатии стержней?
4. Как используется закон Гука при расчетах на жесткость?
5. Какие три типа задач позволяют решать условия прочности и жесткости?



**Расчетно-графическая работа**  
**Расчеты на прочность и жесткость при кручении**  
**при осевом действии нагрузок**

Для заданной расчетной схемы ступенчатого бруса (см. приложение №1) требуется:

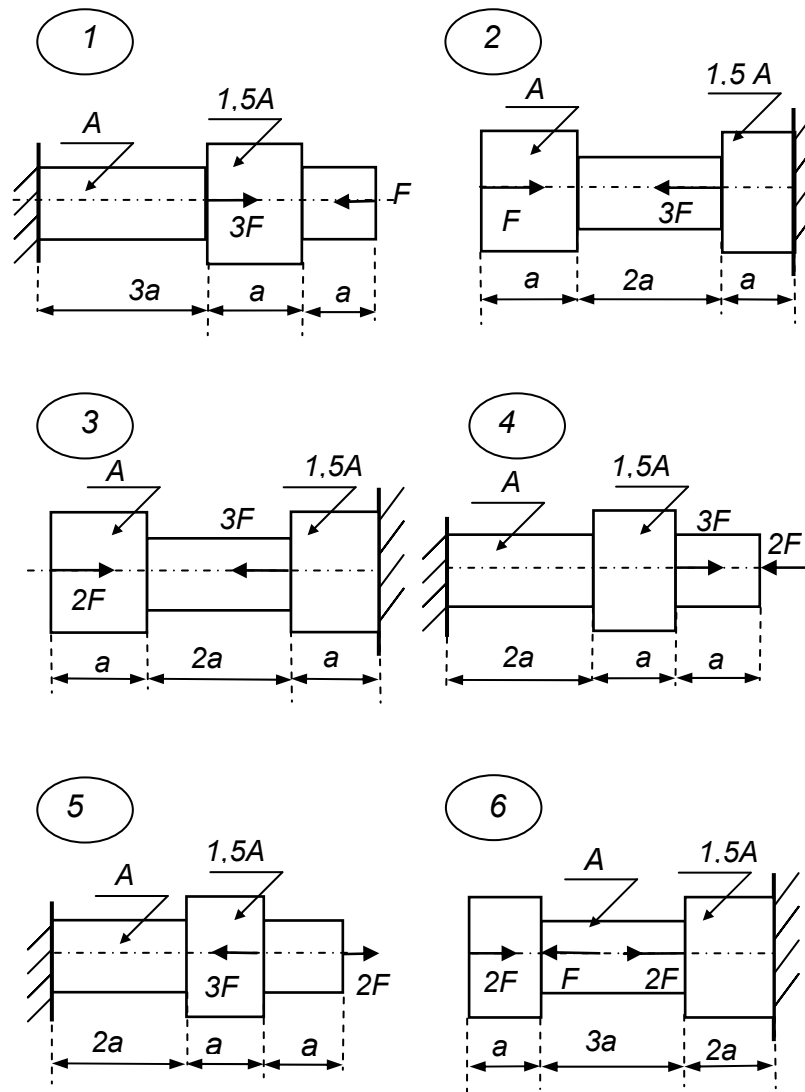
1. Разбить брус на характерные участки в зависимости от схемы приложения нагрузок и изменения размеров поперечного сечения.
2. Составить аналитические выражения для определения внутренних усилий по каждому участку, рассчитать их величину в характерных точках и построить эпюру продольных сил (эп.  $N$ , кН).
3. Записать условие прочности для каждого участка бруса. Назначить размеры прямоугольного поперечного сечения из условий прочности. Принять для всех нечетных вариантов расчетных схем соотношение сторон  $b:h = 1:2$  и для всех четных вариантов  $b:h = 1:1,5$ . Построить эпюру нормальных напряжений (эп.  $\sigma$ , кПа или МПа).
4. Для каждого участка бруса составить уравнения для определения продольных деформаций; записать условие жесткости для каждого участка и из этого условия назначить размеры поперечного сечения. Построить эпюру перемещений (эп.  $\lambda$ , мм).
5. Сравнить размеры сечений, полученных из условий прочности и жесткости; окончательно назначить размеры, удовлетворяющие обоим условиям.

Параметры расчетных схем, необходимые для выполнения своего варианта задания, принять по табл. 1 приложения № 2.

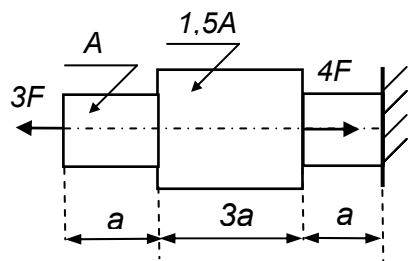
## Литература

1. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 2001. – 560 с.
2. Дарков А.В., Шпиро Г.С. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк. 1989, – 624 с.
3. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности: Учеб. для вузов / под ред. Г.С. Варданяна. – М.: Изд-во АСВ, 1995. – 568 с.
4. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов / под ред. Г.С. Писаренко. – Киев: Высш. шк., 1986. – 736 с.

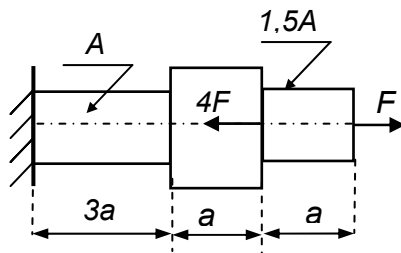
Расчетные схемы ступенчатых брусьев



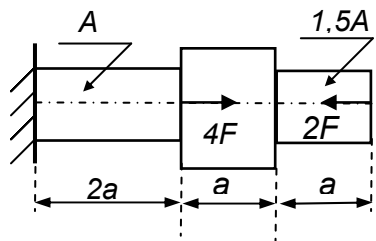
7



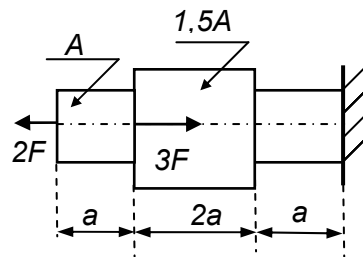
8



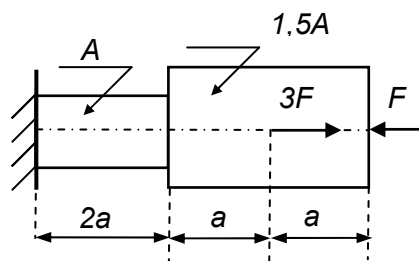
9



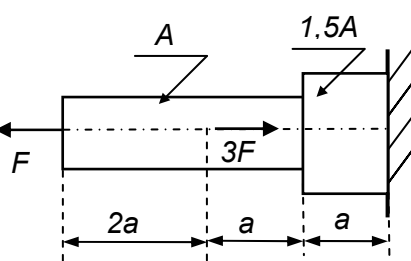
10



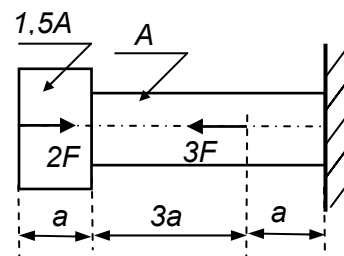
11



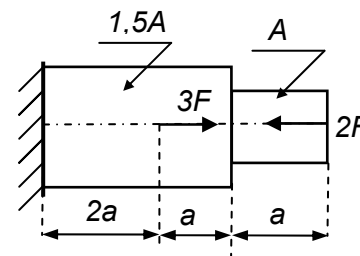
12



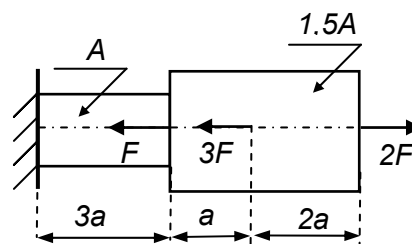
13



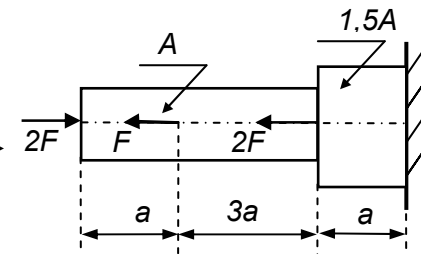
14



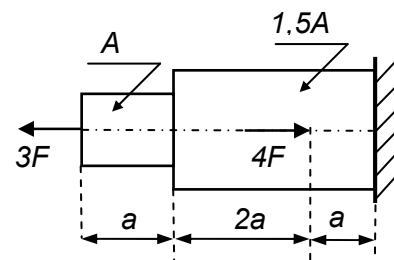
15



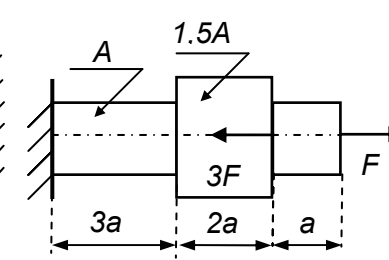
16



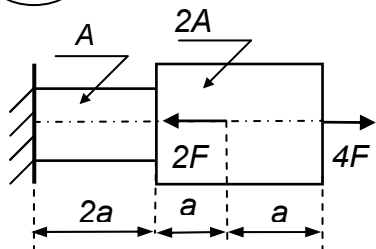
17



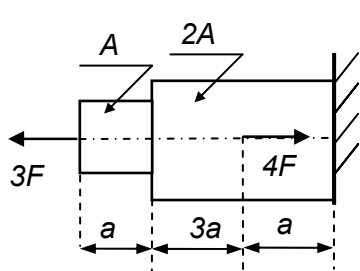
18



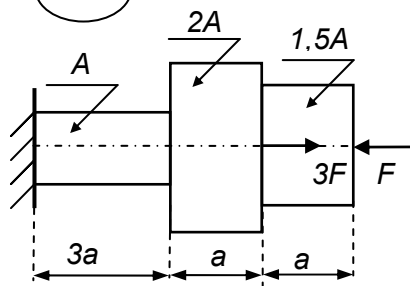
19



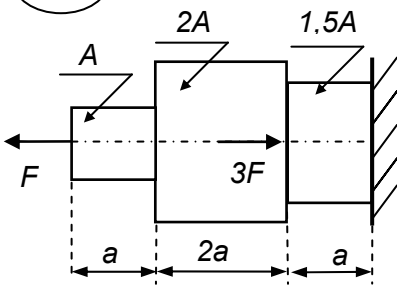
20



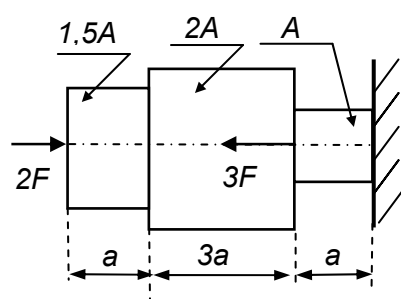
21



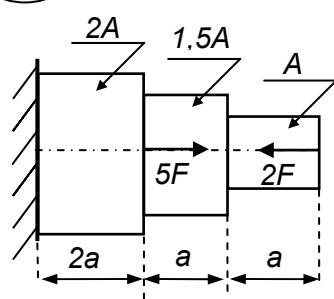
22



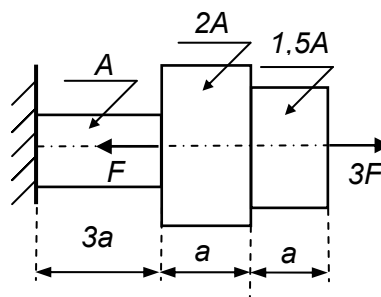
23



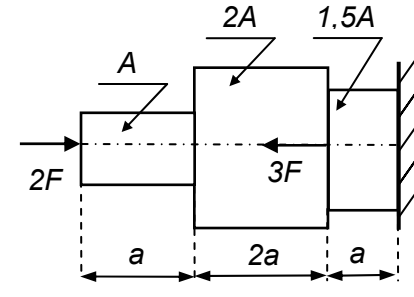
24



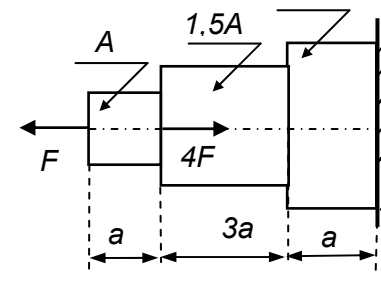
25



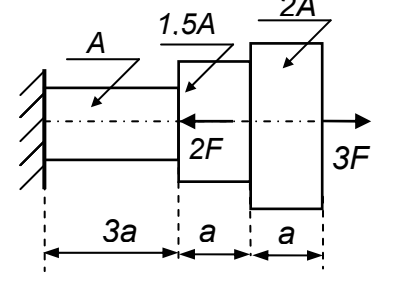
26



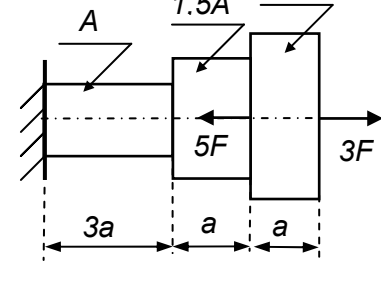
27



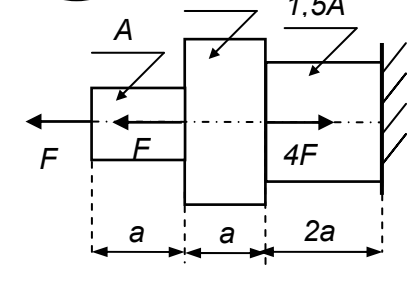
28



29



30



Приложение № 2

Таблица 1

Варианты исходных данных

№ вар.	a, м	F, кН	E, ГПа	R <sub>p</sub> , МПа	R <sub>сж</sub> , МПа	Δa
1	0,20	200	160	150	120	a/500
2	0,25	190	170	160	125	a/600
3	0,30	180	180	170	130	a/700
4	0,35	170	190	180	135	a/800
5	0,40	160	200	190	140	a/900
6	0,45	150	210	200	145	a/1000
7	0,50	140	150	140	110	a/800
8	0,55	130	140	130	100	a/700
9	0,60	120	130	120	90	a/600
10	0,65	110	120	100	80	a/500
11	0,60	130	150	130	90	a/600
12	0,55	140	160	150	100	a/800
13	0,45	150	170	170	110	a/900
14	0,40	160	180	190	120	a/1000
15	0,35	170	190	210	140	a/700



## Содержание

Введение.....	3
1. Напряжения и деформации при растяжении и сжатии стержней.....	4
2. Пример расчета (проектная задача).....	8
3. Пример расчета (проверочная задача).....	11
4. Вопросы для самоконтроля.....	14
Расчетно-графическая работа «Расчеты на прочность и жесткость при осевом действии нагрузок».....	15
Литература.....	16
Приложение № 1.....	17
Приложение № 2 .....	22