

Калужский филиал ПГУПС

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению практических занятий
по учебной дисциплине
Техническая механика
программы подготовки специалистов среднего звена
по специальности СПО
13.02.07 Электроснабжение
(по отраслям)

Базовая подготовка

Тема: «Растяжение и сжатие»
(построение эпюр)

Составил: преподаватель Степанян М.Г.

2016г

одобрено

**цикловой комиссией
общепрофессиональных
дисциплин**

Председатель _____ В.В. Куприянова

Пр. № _____ от _____ 2015г.

Зам. директора филиала по УМР

_____ **Г. Е. Калинкина**

« _____ » _____ 2015г.

Разработчик:

Калужский филиал МИИТ

преподаватель М. Г. Степанян

РАСТЯЖЕНИЕ И СЖАТИЕ

ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ, НАПРЯЖЕНИЯ, ДЕФОРМАЦИИ

Растяжение (сжатие) – вид деформации, при котором из шести внутренних усилий не равно нулю одно – продольное усилие N . Растяжение возникает, если противоположно направленные силы приложены вдоль оси стержня. **Растягивающие** продольные силы принято считать **положительными**, а **сжимающие** – **отрицательными**.

Стержень – брус, работающий на растяжение или сжатие. Для определения опасного участка строят эпюры внутренних усилий и напряжений.

Эпюра – график, изображающий закон изменения внутренних усилий или напряжений по длине бруса, а также напряжений по поперечному сечению бруса.

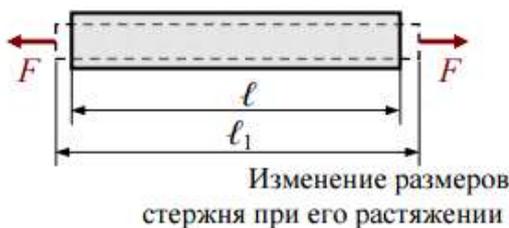
Деформация – изменение формы и размеров тела под действием приложенных сил.

Деформация упругая Δl_e – исчезающая после снятия нагрузки (от англ. *elastic*).

Деформация пластическая Δl_p – остающаяся после снятия нагрузки (от англ. *Plastic*).

Деформация абсолютная (полная) $\Delta l = \Delta l_e + \Delta l_p$

Деформация относительная $\varepsilon = \Delta l / l$.



$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{\Delta l}{l} = \frac{l_1 - l}{l}; \\ \varepsilon_1 &= \frac{\Delta a}{a} = \frac{a_1 - a}{a} < 0; \\ \varepsilon_2 &= \frac{\Delta b}{b} = \frac{b_1 - b}{b} < 0.\end{aligned}$$

При растяжении стержня происходит увеличение его длины и уменьшение поперечных размеров

Коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона) – абсолютная величина отношения поперечной относительной деформации к продольной (упругая постоянная материала)

$$\mu = \left| \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon} \right| = \left| \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon} \right|$$

- $\mu \approx 0$ – кора пробкового дерева, **min**;
- $\mu \approx 0,28$ – стали;
- $\mu \approx 0,5$ – каучук, парафин, **max**.

СВЯЗЬ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ

На основании гипотезы Бернулли (плоских сечений) и принципа Сен-Венана (о равномерном распределении напряжений по сечению) внутренние усилия:

$$N = \int_A \sigma \cdot dA; \quad N = \sigma \int_A dA; \quad N = \sigma \cdot A,$$

откуда

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

Закон Гука – нормальное напряжение σ прямо пропорционально относительной линейной деформации ε

$$\sigma = E \cdot \varepsilon.$$

Подставив $\sigma = N/A$ и $\varepsilon = \Delta l/l$, получим иную форму записи закона Гука:

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

Здесь E – модуль нормальной упругости, модуль упругости первого рода, модуль Юнга – константа материала.

$E = 200$ ГПа – стали;

$E = 110$ ГПа – титановые сплавы;

$E = 100$ ГПа – медные сплавы;

$E = 70$ ГПа – алюминиевые сплавы.

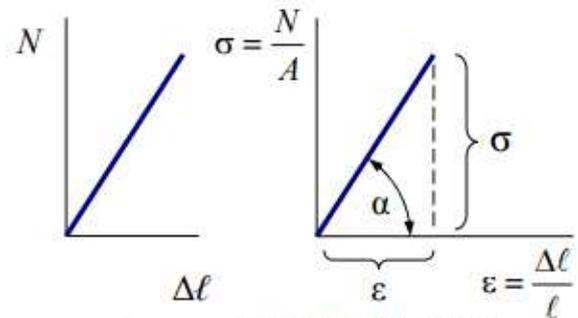
Произведение $E \cdot A$ – жесткость сечения при растяжении.

Модуль упругости характеризует сопротивление материала деформированию растяжением (сжатием) в упругой области.

Геометрический смысл модуля упругости – тангенс угла наклона начального участка диаграммы растяжения

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \sim \operatorname{tg} \alpha.$$

Физический смысл модуля упругости – напряжение, требующееся для удлинения стержня вдвое: $E = \sigma$ при $\varepsilon = 1$, то есть при $\Delta l = l$. Реально достижимые напряжения в упругой области деформирования примерно в тысячу раз меньше.



Линейный участок диаграммы растяжения

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Предел текучести физический σ_T – напряжение, при котором образец деформируется при практически постоянной нагрузке

Предел текучести условный $\sigma_{0,2}$ – напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,2 % расчетной длины образца

Временное сопротивление (предел прочности) σ_B – напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрыву образца

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_0}; \quad \sigma_{0,2} = \frac{F_{0,2}}{A_0}; \quad \sigma_B = \frac{F_B}{A_0}.$$

Пластичность – способность материала получать большие пластические деформации без разрушения. Мерой пластичности являются относительное остаточное удлинение и относительное сужение.

Относительное удлинение после разрыва δ – отношение приращения расчетной длины образца ($\ell_k - \ell_0$) после разрушения к начальной расчетной длине ℓ_0 , выраженное в процентах

$$\delta_k = \frac{\ell_k - \ell_0}{\ell_0} \cdot 100.$$

Относительное сужение после разрыва ψ – отношение разности A_0 и минимальной A_k площади поперечного сечения после разрушения к начальной площади поперечного сечения образца A_0 , выраженное в процентах

$$\psi = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \cdot 100.$$

Чем пластичнее материал, тем больше относительное удлинение и относительное сужение после разрыва. Материалы условно подразделяют на пластичные ($\delta_k > 5\%$) и хрупкие ($\delta_k < 5\%$).

РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Основной задачей расчета конструкции на растяжение является обеспечение ее прочности в условиях эксплуатации.

Условие прочности – оценка прочности элемента конструкции, сводящаяся к сравнению расчетных напряжений с допускаемыми:

$$\sigma_p \leq [\sigma_p]; \quad \sigma_c \leq [\sigma_c],$$

где σ_p и σ_c – наибольшие расчетные растягивающие и сжимающие напряжения;

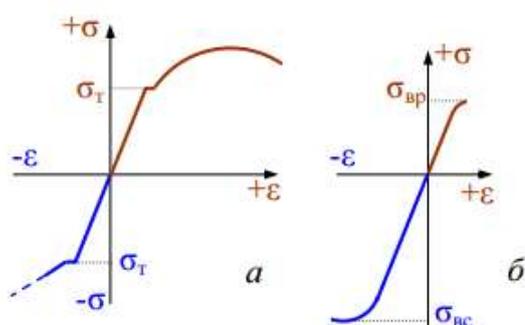
$[\sigma_p]$ и $[\sigma_c]$ – допускаемые напряжения при растяжении и сжатии.

Допускаемое напряжение – наибольшее напряжение, которое можно допустить в элементе конструкции при условии его безопасной, долговечной и надежной работы:

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

Здесь $\sigma_{\text{пред}}$ – предельное напряжение (состояние), при котором конструкция перестает удовлетворять эксплуатационным требованиям; им могут быть предел текучести, предел прочности, предел выносливости, предел ползучести и др.

Для конструкций из пластичных материалов при определении допускаемых напряжений используют **предел текучести σ_T**



Диаграммы растяжения и сжатия пластичного (а) и хрупкого (б) материалов

Допускаемое напряжение в этом случае определяют как

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{[n_T]}.$$

Для хрупких материалов (чугун, бетон, керамика)

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_{вр}}{[n_B]}, \quad [\sigma_c] = \frac{\sigma_{вс}}{[n_B]},$$

где $\sigma_{вр}$ и $\sigma_{вс}$ – пределы прочности при растяжении и сжатии

Здесь $[n]$ – нормативный коэффициент запаса прочности. В зависимости от той предельной характеристики, с которой сравнивают расчетное напряжение σ , различают $[n_T]$ – нормативный коэффициент запаса прочности по отношению к пределу текучести σ_T и $[n_B]$ – нормативный коэффициент запаса прочности по отношению к пределу прочности σ_B .

Запас прочности – отношение предельно допустимой теоретической нагрузки к той нагрузке, при которой возможна безопасная работа конструкции с учетом случайных перегрузок, непредвиденных дефектов и недостоверности исходных данных для теоретических расчетов.

Запас прочности – отношение предельно допустимой теоретической нагрузки к той нагрузке, при которой возможна безопасная работа конструкции с учетом случайных перегрузок, непредвиденных дефектов и недостоверности исходных данных для теоретических расчетов.

Нормативные коэффициенты запаса прочности зависят:

- от класса конструкции (капитальная, временная),
- намечаемого срока эксплуатации,
- условий эксплуатации (радиация, коррозия, загнивание),
- вида нагружения (статическое, циклическое, ударные нагрузки)
- неточности задания величины внешних нагрузок,
- неточности расчетных схем и приближенности методов расчета
- и других факторов.

Нормативный коэффициент запаса прочности не может быть единым на все случаи жизни. В каждой отрасли машиностроения сложились свои подходы, методы проектирования и приемы технологии. В изделиях общего машиностроения принимают $[n_T] = 1,3 - 2,2$; $[n_B] = 3 - 5$.

Вероятность выхода из строя приближенно можно оценить с помощью коэффициента запаса в условии прочности:

- $n = 1$ соответствует вероятности невыхода из строя 50 %;
- $n = 1,2$ соответствует вероятности невыхода из строя 90 %;
- $n = 1,5$ соответствует вероятности невыхода из строя 99 %;
- $n = 2$ соответствует вероятности невыхода из строя 99,9 %.

Для неответственных деталей $n = 2$ много. Для ответственных – мало. Так для каната подъемного лифта это означает на 1000 подъемов одно падение.

При расчете конструкций на прочность встречаются три вида задач, которые вытекают из условия прочности

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma]:$$

а) проверочный расчет (проверка прочности). Известны усилие N и площадь A . Вычисляют $\sigma = N/A$ и, сравнивая его с предельным σ_T или σ_B (для пластичного и хрупкого материалов соответственно), находят фактический коэффициент запаса прочности

$$n_T = \frac{\sigma_T}{\sigma}, \quad n_B = \frac{\sigma_B}{\sigma},$$

который затем сопоставляют с нормативным $[n]$;

б) проектный расчет (подбор сечения). Известны внутреннее усилие N и допускаемое напряжение $[\sigma]$. Определяют требуемую площадь поперечного сечения стержня

$$A \geq [A] = \frac{N}{[\sigma]};$$

в) определение грузоподъемности (несущей способности). Известны площадь A и допускаемое напряжение $[\sigma]$. Вычисляют внутреннее усилие

$$N \leq [N] = A \cdot [\sigma],$$

а затем в соответствие со схемой нагружения – величину внешней нагрузки $F \leq [F]$.

2.5. РАСЧЕТЫ НА ЖЕСТКОСТЬ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Иногда наряду с условиями прочности добавляют ограничения на перемещение некоторых элементов конструкции, то есть вводят условие жесткости $\delta_{\max} \leq [\delta]$, где $[\delta]$ – величина допускаемого перемещения (изменение положения в пространстве) некоторого контролируемого сечения. Деформацию растягиваемого или сжимаемого элемента вычисляют по формуле закона Гука.

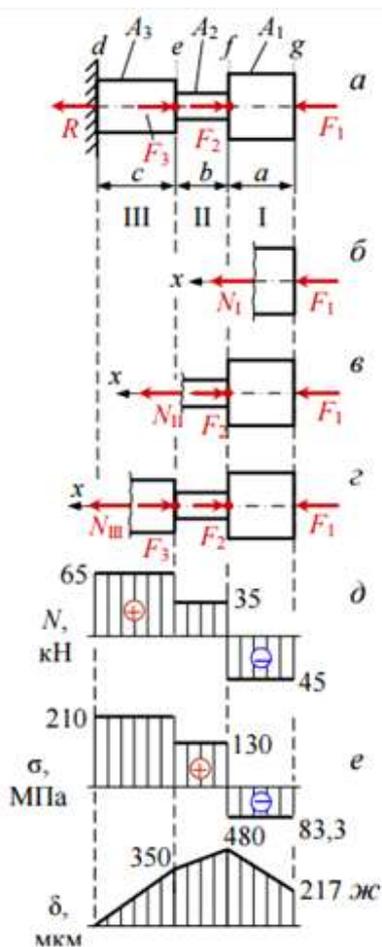


Рис. Схемы к определению внутренних усилий, напряжений и перемещению сечений

всегда принимаем **положительным, растягивающим**, его вектор направлен от сечения (рис. б).

Пример Выполнить поперечный и проектный расчеты ступенчатого бруса. По результатам проектного расчета построить эпюру перемещения сечений. Исходные данные представлены в таблице:

$F_1 = 45 \text{ кН};$	$A_1 = 5,4 \text{ см}^2;$	$a = 0,3 \text{ м};$
$F_2 = 80 \text{ кН};$	$A_2 = 2,7 \text{ см}^2;$	$b = 0,2 \text{ м};$
$F_3 = 30 \text{ кН};$	$A_3 = 3,1 \text{ см}^2;$	$c = 0,4 \text{ м};$
Мат-л: сталь	$\sigma_T = 250 \text{ МПа}$	$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Решение

Разбиваем брус на участки. Границей участка считают: а) точку приложения силового фактора; б) изменение размеров или формы поперечного сечения; в) изменение материала бруса. Брус одним концом зашпелен, и в опоре возникает реакция R (рис а). Для нахождения внутренних усилий при подходе слева направо, придется определять опорную реакцию R . Указанную процедуру можно избежать при подходе справа налево, то есть со свободного конца.

1. Поверочный расчет

А. Определение внутренних усилий.

Применяем метод сечений. Рассекаем брус на две части в произвольном сечении участка I. Отбрасываем одну из частей (левую). Заменяем действие отброшенной части внутренним усилием N_I . Внутреннее усилие

Уравнение равновесия составляем проецируя

все силы на продольную ось x бруса

$$\sum x = 0; N_I + F_1 = 0; \Rightarrow N_I = -F_1 = -45 \text{ кН}.$$

Знак минус указывает на то, что усилие является сжимающим.

Аналогично находим внутренние усилия на втором и третьем участках (рис. 2.5, в и г):

$$\sum x = 0; N_{II} + F_1 - F_2 = 0; \Rightarrow N_{II} = -F_1 + F_2 = -45 + 80 = 35 \text{ кН}.$$

$$\sum x = 0; N_{III} + F_1 - F_2 - F_3 = 0; \Rightarrow N_{III} = -F_1 + F_2 + F_3 = -45 + 80 + 30 = 65 \text{ кН}.$$

Строим **эпюру внутренних усилий** – график, изображающий закон изменения внутренних усилий по длине бруса. Параллельно оси бруса проводим базисную линию (абсциссу графика) и по нормали к ней откладываем

ем найденные выше значения внутренних усилий (ординаты графика) в выбранном масштабе с учетом знака. Положительные значения откладываются выше базисной линии, отрицательные – ниже (рис. д). Поскольку в пределах каждого из участков внутренние усилия неизменны, высоты ординат графика – постоянны и огибающие линии (жирные) – горизонтальны.

Б. Определение напряжений на каждом из участков:

$$\sigma_I = \frac{N_I}{A_I} = \frac{-45 \cdot 10^3}{5,4 \cdot 10^{-4}} = -8,33 \cdot 10^7 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = -83,3 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{II} = \frac{N_{II}}{A_2} = \frac{35 \cdot 10^3}{2,7 \cdot 10^{-4}} = 1,30 \cdot 10^8 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 130 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{III} = \frac{N_{III}}{A_3} = \frac{65 \cdot 10^3}{3,1 \cdot 10^{-4}} = 2,10 \cdot 10^8 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 210 \text{ МПа}.$$

Строим **эпюру напряжений**.

В. Коэффициенты запаса прочности по отношению к пределу текучести:

$$\text{I участок: } n_\tau = \frac{\sigma_\tau}{\sigma_I} = \frac{250}{|-83,3|} = 3,0; \quad \text{прочность избыточна};$$

$$\text{II участок: } n_\tau = \frac{\sigma_\tau}{\sigma_{II}} = \frac{250}{130} = 1,92; \quad \text{прочность обеспечена};$$

$$\text{III участок: } n_\tau = \frac{\sigma_\tau}{\sigma_{III}} = \frac{250}{210} = 1,19; \quad \text{прочность недостаточна}.$$

В. Коэффициенты запаса прочности по отношению к пределу текучести:

$$\text{I участок: } n_\tau = \frac{\sigma_\tau}{\sigma_I} = \frac{250}{|-83,3|} = 3,0; \quad \text{прочность избыточна};$$

$$\text{II участок: } n_\tau = \frac{\sigma_\tau}{\sigma_{II}} = \frac{250}{130} = 1,92; \quad \text{прочность обеспечена};$$

$$\text{III участок: } n_\tau = \frac{\sigma_\tau}{\sigma_{III}} = \frac{250}{210} = 1,19; \quad \text{прочность недостаточна}.$$

Вывод: недогружен участок I, перегружен участок III. Для этих участков выполняем проектный расчет.

3. Определение перемещений сечений

А. Удлинения каждого из участков

$$\Delta l_I = \frac{N_I \cdot a}{E \cdot A_I} = \frac{-45 \cdot 10^3 \cdot 0,3}{2 \cdot 10^{11} \cdot 2,57 \cdot 10^{-4}} = -263 \text{ мкм.}$$

$$\Delta l_{II} = \frac{N_{II} \cdot b}{E \cdot A_{II}} = \frac{35 \cdot 10^3 \cdot 0,2}{2 \cdot 10^{11} \cdot 2,7 \cdot 10^{-4}} = 130 \text{ мкм.}$$

$$\Delta l_{III} = \frac{N_{III} \cdot c}{E \cdot A_{III}} = \frac{65 \cdot 10^3 \cdot 0,4}{2 \cdot 10^{11} \cdot 3,71 \cdot 10^{-4}} = 350 \text{ мкм.}$$

Б. Перемещения сечений. За начало отсчета принимаем сечение d . Оно зашпемлено, его перемещение равно нулю $\delta_d = 0$.

$$\delta_e = \Delta l_{III} = 350 \text{ мкм;}$$

$$\delta_f = \Delta l_{III} + \Delta l_{II} = 350 + 130 = 480 \text{ мкм;}$$

$$\delta_g = \Delta l_{III} + \Delta l_{II} + \Delta l_I = 350 + 130 - 263 = 217 \text{ мкм.}$$

Строим эпюру перемещений.

Выводы

1. Выполнен поверочный расчет ступенчатого бруса. Прочность одного из элементов обеспечена; другого – избыточна; третьего – недостаточна.
2. Из условия прочности при растяжении подобраны площади поперечных сечений двух элементов конструкции.
3. По результатам проектного расчета вычислены деформации каждого элемента конструкции. Крайнее сечение переместится относительно зашпемления на 217 мкм в сторону от зашпемления.

Пример К стальному брусу постоянного сечения вдоль его оси приложены две силы. По условиям эксплуатации введено ограничение на величину перемещения $[\delta]$ концевого сечения C . Из условий прочности и жесткости подобрать размер поперечного сечения.

$$\begin{aligned} F_1 &= 40 \text{ кН;} \\ F_2 &= 60 \text{ кН;} \\ a &= 0,5 \text{ м;} \\ [\sigma] &= 180 \text{ МПа;} \\ [\delta] &= 1 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Решение

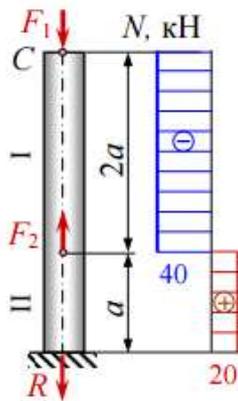
1. Определение внутренних усилий

Покажем возникающую в опоре реакцию R ; определение внутренних усилий методом сечений начнем вести со свободного конца. Ось x – продольная ось бруса (на рисунке не показана).

$$\text{I участок: } \sum x = 0; -N_I + F_1 = 0; \Rightarrow N_I = F_1 = 40 \text{ кН.}$$

$$\text{II участок: } \sum x = 0; -N_{II} + F_1 - F_2 = 0; \Rightarrow N_{II} = F_1 - F_2 = 40 - 60 = -20 \text{ кН.}$$

Строим эпюру внутренних усилий. Опасным является участок I, на котором действует $N_{\max} = -40$ кН (пластичные материалы одинаково сопротивляются деформации растяжения и сжатия).



2. Проектный расчет из условия прочности

Из условия прочности при растяжении

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

находим требуемую площадь поперечного сечения стержня

$$A \geq \frac{N_I}{[\sigma]} = \frac{|-40 \cdot 10^3|}{180 \cdot 10^6} = 2,22 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

3. Проектный расчет из условия жесткости

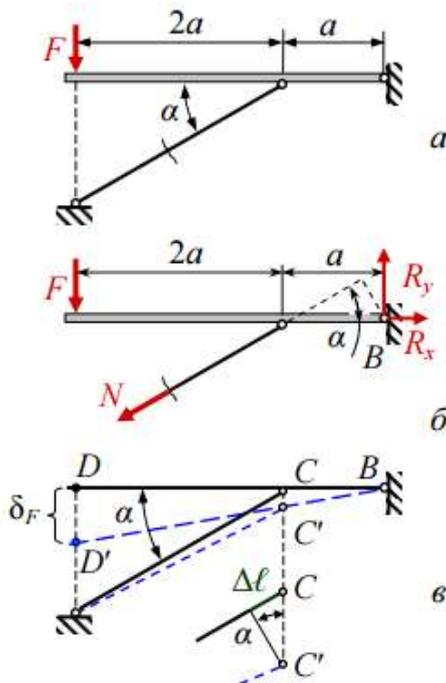
Перемещение сечения C является суммой двух слагаемых:

$$\delta_C = \Delta l_I + \Delta l_{II} = \frac{N_I \cdot 2a}{E \cdot A} + \frac{N_{II} \cdot a}{E \cdot A} = \frac{a}{E \cdot A} (N_I \cdot 2 + N_{II}) \leq [\delta],$$

откуда требуемая площадь поперечного сечения стержня

$$A \geq \frac{a}{E \cdot [\delta]} (N_I \cdot 2 + N_{II}) = \frac{0,5}{2 \cdot 10^{11} \cdot 0,001} (-40 \cdot 10^3 \cdot 2 + 20 \cdot 10^3) = | -1,5 \cdot 10^{-4} | \text{ м}^2.$$

Сравнивая результаты проектных расчетов из условия прочности и жесткости, назначаем **большее** из двух значений площади поперечного сечения: 2,22 и 1,5 см², удовлетворяющее **обоим** условиям: $A \geq 2,22 \text{ см}^2$.



Пример

Жесткая балка (ее деформацией пренебречь) подперта стальным стержнем (подкосом). Проверить прочность стержня. Определить допускаемую нагрузку F для заданного размера поперечного сечения стержня. Выполнить проектный расчет из условия прочности и жесткости ($[\delta_F]$ – допускаемая величина перемещения балки в точке приложения силы).

$F = 80$ кН;
$A = 15$ см ² ;
$a = 1$ м;
$\alpha = 30^\circ$;
$\sigma_t = 340$ МПа;
$[\delta_F] = 10$ мм.

Решение

1. Поверочный расчет

А. Определение внутреннего усилия в стержне

Рассекаем стержень на две части (рис. а). Отбрасываем одну из частей и показываем внешнюю нагрузку F , внутреннее усилие N и две составляющих опорной реакции R (рис. б). Составляем такое уравнение равновесия, в которое не вошли бы опорные реакции:

$$\sum M_B = 0; \quad F \cdot 3a + N \cdot a \cdot \sin \alpha = 0;$$
$$N = -\frac{F \cdot 3a}{a \cdot \sin \alpha} = -\frac{80 \cdot 3 \cdot 1}{1 \cdot 0,5} = -480 \text{ кН.}$$

Усилие в стержне сжимающее.

Б. Определение напряжения

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{-480 \cdot 10^3}{15 \cdot 10^{-4}} = -320 \text{ МПа.}$$

В. Коэффициент запаса прочности

Фактический коэффициент запаса $n_T = \frac{\sigma_T}{\sigma} = \frac{340}{|-320|} = 1,06$ не входит в рекомендуемый (нормативный) диапазон значений $[n_T] = 1,3-2,3$. Вывод: прочность недостаточна.

2. Определение допускаемой нагрузки на конструкцию для заданного размера поперечного сечения стержня

Из условия прочности при растяжении $\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma]$ находим допускаемую нагрузку на стержень $[N] \leq A \cdot [\sigma] = 15 \cdot 10^{-4} \cdot 170 \cdot 10^6 = 255 \text{ кН}$. Здесь допускаемое напряжение $[\sigma] = \frac{\sigma_T}{[n_T]} = \frac{340}{2} = 170 \text{ МПа}$. Нормативный коэффициент запаса по текучести назначили из рекомендуемого диапазона $[n_T] = 1,3-2,3$.

Из условия равновесия (см. этап 1) находим связь между допускаемой внешней нагрузкой $[F]$ на конструкцию и внутренним усилием $[N]$ в стержне:

$$[F] = \frac{-[N] \cdot a \cdot \sin \alpha}{3a} = \frac{|-255| \cdot 0,5}{3} = 42,5 \text{ кН.}$$

3. Проектный расчет из условия прочности

Требуемое значение площади поперечного сечения из условия прочности при растяжении:

$$A \geq \frac{N}{[\sigma]} = \frac{|-480 \cdot 10^3|}{170 \cdot 10^6} = 2,82 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 = 28,2 \text{ см}^2.$$

4. Проектный расчет из условия жесткости

Под действием внешней нагрузки стержень деформируется; сечения балки изменяют свое положение в пространстве. Установим связь между внутренним усилием, деформацией стержня и перемещением заданного сечения конструкции. Покажем схему в исходном и деформированном (пунктирные линии) состояниях (рис. 6). Контролируемое перемещение сечения балки в точке D приложения силы δ_F связано с перемещением узла C точки прикрепления стержня к балке соотношением:

$$\frac{DD'}{CC'} = \frac{3a}{a} = 3, \quad \text{что следует из подобия треугольников } BDD' \text{ и } BCC'.$$

Вследствие перемещения узла C стержень укорачивается на $\Delta\ell = CC' \cdot \sin \alpha$.

Деформацию стержня определяем по закону Гука: $\Delta\ell = \frac{N \cdot \ell}{E \cdot A} = \frac{N \cdot 2a}{E \cdot A \cdot \cos \alpha}$.

Здесь ℓ – длина стержня, определяется из схемы нагружения (рис. а). Тогда из условия жесткости конструкции:

$$\delta_F = DD' = 3CC' = 3 \frac{N \cdot 2a}{E \cdot A \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha} \leq [\delta_F] \quad \text{находим требуемое значение}$$

площади поперечного сечения стержня

$$A \geq \frac{3 \cdot N \cdot 2a}{[\delta_F] \cdot E \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha} = \frac{6 \cdot |-480000| \cdot 1}{0,01 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,5 \cdot 0,866} = 3,33 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 = 33,3 \text{ см}^2.$$

Сравнивая результаты проектных расчетов из условия прочности и жесткости, назначаем **большее** из двух значений: 28,2 и 33,3 см², удовлетворяющее **обоим** условиям, то есть $A \geq 33,3 \text{ см}^2$.

Выводы

1. Выполнен поверочный расчет стержня. Прочность элемента конструкции недостаточна.
2. Для заданного размера поперечного сечения нагрузка F , приложенная к конструкции, не должна превышать 42,5 кН.
3. Из условий прочности и жесткости при растяжении найдено значение площади поперечного сечения элемента конструкции, удовлетворяющее обоим условиям: 33,3 см².

- **Литература:**

1.Архуша А.И. Техническая механика. Высшая школа 1983

2.Архуша А.И. Руководство к решению задач по технической механике.
Высшая школа 1971

3.Сборник задач по технической механике под ред. Г.М. Ицковича.
Судостроение 1973