

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВПО «ПЕНЗЕНСКАЯ ГСХА»**

В.А. Овтов

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Учебное пособие для самостоятельной работы студентов
заочного отделения

Пенза 2014

УДК 539.3/6 (075)
ББК 30.121 (я7)
*О 34

Рецензент – кандидат технических наук, доцент Ю.А. Захаров.

Печатается по решению методической комиссии инженерного факультета от 21 октября 2013 года, протокол № 2.

Овтов, В.А.

Сопротивление материалов: учебное пособие для самостоятельной работы студентов заочного отделения / В.А. Овтов. – Пенза: РИО ПГСХА, 2014. – 107 с.

В учебном пособии приведены указания к выполнению контрольных работ, приводятся элементы теории и примеры расчетов, расчетные схемы и исходные данные для самостоятельного решения.

© ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА»
© В.А. Овтов, 2014

ВВЕДЕНИЕ

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

владение культурой мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (ОК-1);

способность решать инженерные задачи с использованием основных законов механики, электротехники, гидравлики, термодинамики и тепломассообмена; знанием устройства и правил эксплуатации гидравлических машин и теплотехнического оборудования (ПК);

способностью проводить и оценивать результаты измерений (ПК);

готовность к обработке результатов экспериментальных исследований (ПК);

способность осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования (ПК);

готовность к участию в проектировании новой техники и технологии (ПК).

Сопротивление материалов как наука состоит из двух равнозначных частей: теоретической и опытной.

Теоретические выводы в сопротивлении материалов, как правило, упрощают действительные явления, схематизируют их, идеализируют свойства материалов.

В современных конструкциях конфигурация отдельных деталей настолько сложна, что и пользуют не только методы сопротивления материалов, но и более мощные методы теории упругости, позволяющие решать вопросы прочности теоретическим путем.

Материал пособия позволяет студентам самостоятельно подготовиться к выполнению контрольных работ, которые предусмотрены учебным планом.

Для самоконтроля и подготовке к экзамену приводятся вопросы по рассматриваемым темам.

УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Задачи контрольной работы даны последовательно, согласно указанным темам рабочей программы, и поэтому должны решаться по порядку, по мере изучения курса.

Выполняя контрольную работу, необходимо соблюдать следующие требования:

а) контрольная работа выполняется в машинописном варианте на листах бумаги формата А4 или в ученической тетради четким почерком с полями в 4 см для возможных замечаний рецензента;

б) на обложке указать фамилию, имя, отчество, шифр, наименование предмета, номер контрольной работы, почтовый адрес с индексом отделения связи;

в) данные из таблиц для выполнения контрольной работы берутся по шифру в соответствии с номером зачетки студента (предпоследняя цифра означает номер строки в таблице, а последняя цифра номер расчетной схемы).

Например, ваш номер зачетки 134250, тогда последние две цифры зачетной книжки будут означать:

цифра 5 – номер строки в таблице (пятая строка);

цифра 0 номер расчетной схемы (схема X).

К каждой задаче контрольной работы дается таблица с исходными данными и расчетные схемы (I – X);

г) перед решением каждой задачи надо выписать ее условие числовыми данными, а также выполнить соответствующий чертеж с указанием всех величин в числах, необходимых для расчета; само решение должно сопровождаться краткими последовательными и грамотными пояснениями. Следует также указывать размерность всех полученных величин;

д) вычисления должны производиться с помощью калькулятора с точностью до сотых долей целого числа;

е) каждую задачу следует научиться решать с новой страницы, оставляя поля и свободную страницу в конце тетради для замечаний рецензента;

ж) по получении проверенной работы студент должен исправить в ней ошибки и выполнить данные ему указания;

з) все расчеты производить в единицах физических измерений системы СИ.

1 РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ (СЖАТИИ)

1.1 Напряжения и деформации при растяжении (сжатии)

На растяжение (сжатие) работают многие детали и элементы конструкций (цепи, тросы, колонны сваи и т. д.).

Возьмем стержень постоянного поперечного сечения и загрузим его растягивающей силой F .

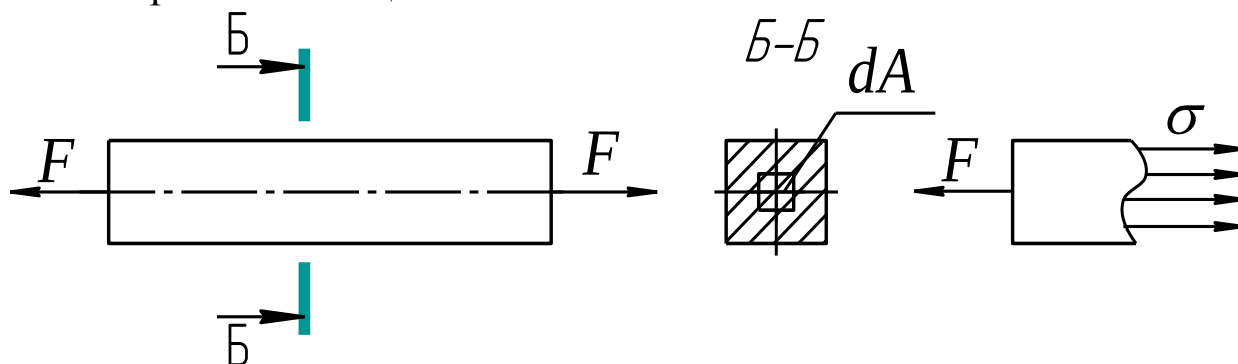


Рисунок 1.1 – Схема нагружения бруса внешней силой

Рассечем стержень плоскостью, отбросим его правую часть и рассмотрим, какие внутренние силы упругости будут действовать в сечении левой части стержня. Внутренние силы упругости перпендикулярны сечению, направлены в противоположную сторону действующей внешней нагрузке и уравнивают ее.

На основании гипотезы плоских сечений и многочисленных экспериментов можно заключить, что нормальные напряжения распределяются по поперечному сечению равномерно $\sigma = \text{const}$.

Напряжения, возникающие в поперечном сечении стержня, определяются по формуле

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

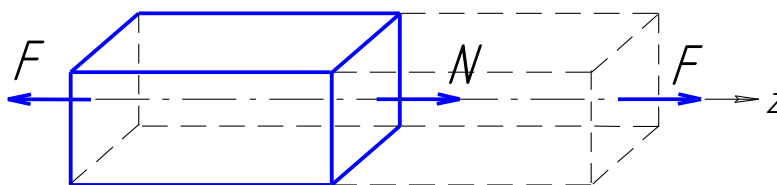
где N – продольная сила в поперечном сечении, Н;

A – площадь поперечного сечения, м².

Растяжение сжатие вызывает продольная сила (N).

Продольная (нормальная) сила N представляет собой сумму проекций на продольную ось стержня (балки) всех внутренних нормальных сил, возникающих в поперечном сечении.

Продольная сила численно равна алгебраической сумме проекций на ось всех внешних сил, действующих на отсеченную часть рамы (балки).



Правило знака для продольной силы: при сжатии «минус», при растяжении – «плюс».

Линейные деформации прямо пропорциональны нормальным напряжениям и определяются по закону Гука по формуле

$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{A \cdot E},$$

где Δl – абсолютная деформация бруса, м;

l – длина бруса или его участков, м;

E – модуль продольной упругости первого рода (модуль Юнга) измеряется в МПа, характеризует сопротивляемость материала упругой деформации при растяжении (сжатии). Зависит от материала, определяется экспериментально (для стали $1,9 \dots 2,1 \times 10^5$ МПа, для чугуна $1,15 \dots 1,16 \times 10^5$ МПа).

Закон Гука, показывает прямую зависимость между продольной абсолютной линейной деформацией и действующей внешней силой.

Произведение $A \cdot E$ называют жесткостью поперечного сечения стержня при растяжении (сжатии), измеряется в ньютонах (Н).

При выборе размеров и материала для того или иного элемента конструкции, мы должны обеспечить определенный запас против возможности его разрушения или изменения формы.

Величина напряжений, достижения которых обуславливает разрушение материала, называется *пределом прочности* или *временным сопротивлением*.

Величина напряжений, при превышении которых материал получает незначительные деформации, называется *пределом упругости*.

Величина напряжений, при которых при постоянной нагрузке материал испытывает деформации (течет), называется *пределом текучести*.

Допускаемые напряжения определяются следующим образом [1, 2]:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_B}{n}; \quad [\sigma] = \frac{\sigma_T}{n},$$

где: σ_B – предел прочности;

σ_T – предел текучести;

n – коэффициент запаса прочности.

Условие прочности записывается при растяжении (сжатии) в следующем виде [2, 3]:

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

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение, Па.

Условие прочности позволяет производить три вида расчета на прочность:

1) проверка прочности (проверочный расчет). По известной нагрузке (продольной силе N_{max} в опасном сечении бруса) и поперечным размерам (площади сечения A) определяют наибольшее рабочее напряжение и сравнивают с допускаемым напряжением материала;

2) подбор сечения (проектный расчет). По найденному усилию от заданной нагрузки и допускаемому напряжению применяемого материала определяют требуемую площадь поперечного сечения бруса, а значит, и размеры заданной формы сечения;

3) определение несущей способности. По известным поперечным размерам бруса и допускаемому напряжению материала устанавливают значение допускаемой продольной силы.

Задача № 1

Стальной брус жестко закреплен одним концом и загружен сосредоточенными силами, как показано на рисунке 1.3.

Требуется:

- 1) построить эпюры продольных сил N ;
- 2) из условия прочности определить размеры поперечного сечения заданной формы;
- 3) построить эпюры напряжений σ ;
- 4) определить перемещение свободного конца бруса (сечение $a-a$).

Данные взять из таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные данные к задаче 1

№ строки	$F, \text{кН}$	$l, \text{м}$	Материал	$\sigma_t, \text{МПа}$	n	Форма сечения
1	48	0,5	Сталь	200	1,4	Круг
2	40	0,4	Ст. 2	210	1,5	Квадрат
3	58	0,7	Сталь	230	1,7	Прямоугольник, $h/b = 3,5$
4	62	1,2	Ст. 3	240	1,6	Круг
5	45	1,1	Сталь	260	1,8	Квадрат
6	55	1,0	Ст. 4	270	2,0	Прямоугольник, $h/b = 2,5$
7	52	0,9	Сталь	280	2,1	Круг
8	65	0,8	Ст. 5	290	2,2	Квадрат
9	54	0,6	Сталь	310	2,4	Прямоугольник, $h/b = 3,0$
0	60	1,3	Ст. 6	320	2,5	Круг

Пример расчета

Дано:

сила $F = 50 \text{ кН}$;

длина $l = 1,0 \text{ м}$;

материал бруса – сталь – Сталь 20;

форма сечения – прямоугольная, $h : b = 2$.

Решение

Способ закрепления бруса – жесткая заделка (рисунок 1.2, а). В соответствии с типом опоры, предположим направление реакций связей – H_K , R_K и m_K . Но по способу нагружения бруса $H_K = 0$; $m_K = 0$. Таким образом, на расчетной схеме представлена реакция связи R_K , величина которой и действительное направление неизвестны.

Так как один конец бруса жестко заземлен, а другой свободен, реакцию R_K можно не определять. Рассмотрим конструкцию со свободного конца.

Мысленно разделим конструкцию на участки: BC , CD , DK . Границами участков являются сечения, где приложены внешние силы.

Произвольно на каждом участке проведем сечения. Роль каждого из них – рассечь конструкцию только на две части.

Чтобы составить уравнения внутренних силовых факторов, обратимся к расчетной схеме бруса (рисунок 1.2, а). По способу приложения нагрузок он работает на растяжение (сжатие), и в его

поперечных сечениях возникает только один внутренний силовой фактор – продольная сила N . Продольная сила в произвольном поперечном сечении бруса численно равна алгебраической сумме проекций всех внешних сил, приложенных по одну сторону от рассматриваемого сечения, на его продольную ось.

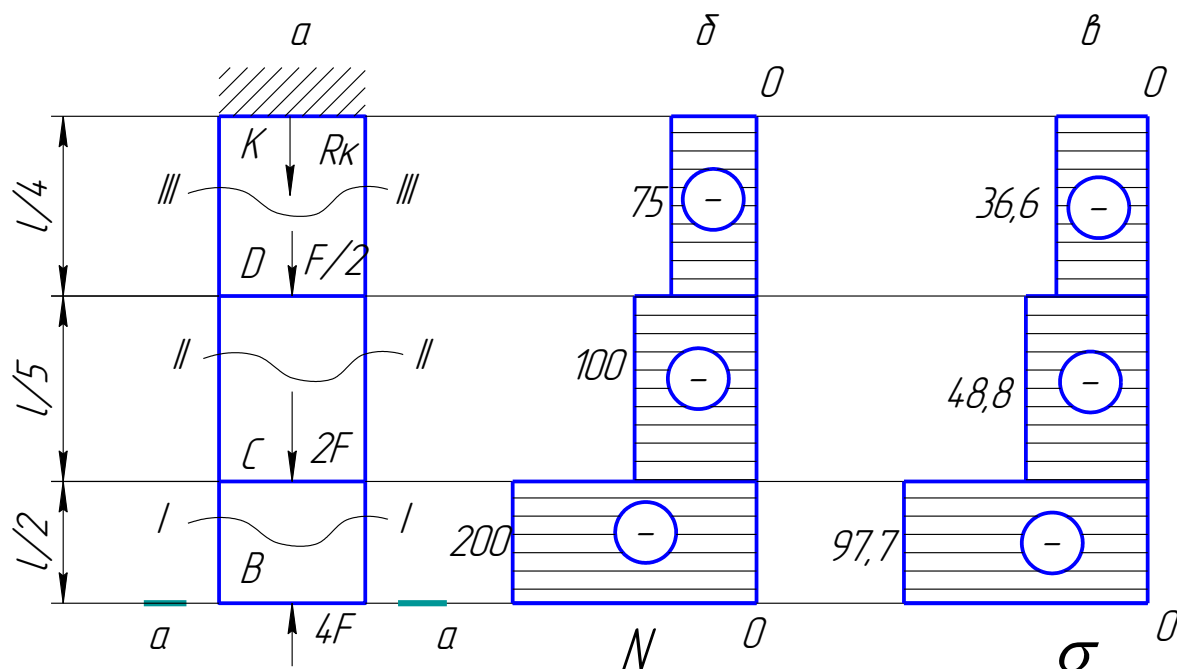


Рисунок 1.2 – Расчетная схема бруса. Эпюры продольных сил и напряжений

Правило знака для продольной силы: если сила стремится сжать указанное сечение, берем ее со знаком «минус», растянуть – «плюс».

Проведем произвольно сечение $I-I$ на участке BC и рассмотрим равновесие отсеченной нижней части:

$$N_I = -4F = -4 \cdot 50 = -200 \text{ кН.}$$

Проведем произвольно сечение $II-II$ на участке CD и рассмотрим равновесие отсеченной части:

$$N_{II} = -4F + 2F = -4 \cdot 50 + 2 \cdot 50 = -100 \text{ кН.}$$

Проведем произвольно сечение $III-III$ на участке DK и рассмотрим равновесие отсеченной части:

$$N_{III} = -4F + 2F + F/2 = -4 \cdot 50 + 2 \cdot 50 + 50/2 = -75 \text{ кН.}$$

Закон изменения продольной силы по длине бруса представим в виде графика – эпюры продольных сил N . Для этого проведем нулевую линию, параллельную оси бруса, от которой в произвольно выбранном нами масштабе по оси абсцисс будем откладывать полученные числовые значения. Причем положительные значения можно откладывать вправо, отрицательные – влево. Так как в пре-

делах одного участка продольная сила постоянна, то эпюра ее ограничена прямыми, параллельными оси бруса. Эпюры принято штриховать, при этом штриховка должна быть перпендикулярна оси элемента конструкции.

Анализируя построенную эпюру, видим, что опасными будут сечения бруса участка BC , так как именно на этом участке внутренний силовой фактор – продольная сила – достигает своего максимального абсолютного значения, т. е.

$$|N_{max}| = 200 \text{ кН.}$$

Размеры поперечного сечения бруса определим из проектного расчета на прочность.

Условие прочности при растяжении (сжатии) [1, 2]:

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

где σ_{max} – напряжения в опасном сечении бруса, Па;

A – площадь поперечного сечения, м^2 ;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение, Па.

Для прямоугольного сечения бруса

$$A = b \cdot h,$$

где b, h – стороны сечения, м.

При $h : b = 2$ получаем $h = 2b$ и $A = 2b^2$.

Величину допускаемых напряжений $[\sigma]$, МПа, определим по формуле [4, 5].

Для пластичных материалов:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{n},$$

где σ_T – предел текучести, МПа;

n – коэффициент запаса прочности.

Для стали – Сталь 10 [3]:

$$\sigma_T = 220 \text{ МПа.}$$

Коэффициент запаса прочности принимаем [2, 3]

$$n = 2,2.$$

Тогда допускаемые напряжения определяются

$$[\sigma] = 220 / 2,2 = 100 \text{ МПа.}$$

Из условия прочности определяем размеры стороны прямоугольного поперечного сечения