

Министерство образования и науки Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В.Г. АТАПИН

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

КРАТКИЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ КУРС

Утверждено
Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

НОВОСИБИРСК
2011

УДК 620.1(075.8)
А 92

Рецензенты: *профессор, доктор техн. наук В.П. Гилета*
профессор, доктор техн. наук Г.А. Куриленко

Работа подготовлена на кафедре
теоретической механики и сопротивления материалов
для студентов механико-технологического факультета
всех форм обучения

Атапин В.Г.

А 92 Сопротивление материалов. Краткий теоретический курс :
учеб. пособие / В.Г. Атапин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. –
204 с.

ISBN 978-5-7782-1593-1

В пособии изложен теоретический курс сопротивления материалов,
предназначенный для быстрой и эффективной подготовки студентов к
сдаче экзамена и зачета, защите расчетно-графических заданий, тести-
рованию, контрольным работам.

УДК 620.1(075.8)

ISBN 978-5-7782-1593-1

© Атапин В.Г., 2011
© Новосибирский государственный
технический университет, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ	7
1.1. Задачи, термины.....	7
1.2. Модели прочностной надежности	9
1.3. Виды деформации стержня.....	15
1.4. Внутренние силы. Метод сечений.....	16
1.5. Напряжения	19
1.6. Деформации и перемещения.....	20
1.7. Закон Гука.....	23
1.8. Принципы сопротивления материалов	23
1.9. Методы расчета элементов конструкций.....	24
2. РАСТЯЖЕНИЕ И СЖАТИЕ СТЕРЖНЕЙ	26
2.1. Нормальная сила. Напряжение	26
2.2. Деформации и перемещения.....	29
2.3. Испытание материалов на растяжение и сжатие	32
2.4. Расчеты на прочность	36
2.5. Растяжение стержня с учетом собственного веса	41
2.6. Статически неопределимые задачи.....	42
2.7. Учет влияния температуры	45
2.8. Стержневые системы.....	46
3. ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАПРЯЖЕННОГО И ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ. МОДЕЛИ РАЗРУШЕНИЯ	48
3.1. Напряженное состояние в точке	48
3.2. Напряжения в площадке общего положения.....	50
3.3. Главные площадки. Главные напряжения	51
3.4. Плоское напряженное состояние.....	54

3.5. Исследование напряженного состояния с помощью кругов Мора .	56
3.6. Деформированное состояние	59
3.7. Модели упругости.....	61
3.8. Потенциальная энергия деформации	61
3.9. Модели статического разрушения.....	62
4. КРУЧЕНИЕ СТЕРЖНЕЙ	66
4.1. Чистый сдвиг	66
4.2. Кручение стержня с круглым поперечным сечением.....	68
4.3. Кручение стержня с некруглым поперечным сечением.....	76
4.4. Статически неопределимые задачи	77
5. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ СТЕРЖНЕЙ	78
5.1. Геометрические характеристики сечений	78
5.2. Статические моменты площади поперечного сечения.....	80
5.3. Моменты инерции площади поперечного сечения.....	81
6. ИЗГИБ СТЕРЖНЕЙ	85
6.1. Внутренние силовые факторы	85
6.2. Напряжения в стержне при чистом изгибе.....	89
6.3. Напряжения в стержне при поперечном изгибе.....	98
6.4. Касательные напряжения при поперечном изгибе тонкостенных стержней	103
6.5. Перемещения при изгибе	108
6.6. Балки равного сопротивления	111
7. СЛОЖНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СТЕРЖНЕЙ	114
7.1. Косой изгиб	114
7.2. Внецентренное растяжение и сжатие.....	118
7.3. Изгиб с кручением	121
7.4. Пространственные стержневые системы.....	123
8. ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ДЕФОРМАЦИИ. ОБЩИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ	127
8.1. Потенциальная энергия деформации стержня	127
8.2. Теоремы взаимности работ и перемещений.....	131

8.3. Интеграл Максвелла-Мора.....	132
8.4. Способ Верещагина	134
9. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ СИЛ.....	141
9.1. Связи. Степень статической неопределимости.....	141
9.2. Метод сил	146
9.3. Определение перемещений в статически неопределимых системах	153
10. УСТОЙЧИВОСТЬ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ.....	154
10.1. Понятие об устойчивости.....	154
10.2. Задача Эйлера.....	155
10.3. Потеря устойчивости при напряжениях, превышающих предел пропорциональности	160
10.4. Расчеты на устойчивость.....	161
11. ПРОЧНОСТЬ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЯХ	165
11.1. Основные определения.....	165
11.2. Кривая усталости. Предел выносливости	169
11.3. Диаграмма предельных амплитуд	171
11.4. Факторы, влияющие на предел выносливости.....	174
11.5. Модели усталостного разрушения	178
12. ДИНАМИКА	183
12.1. Динамические нагрузки.....	183
12.2. Расчет движущихся с ускорением систем	184
12.3. Удар.....	187
12.4. Колебания упругих систем.....	192
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	203

ВВЕДЕНИЕ

Изучение сопротивления материалов студентами сопровождается различными контрольными мероприятиями – защита расчетно-проектировочных заданий, тестирование, контрольные работы, сдача экзаменов и зачетов и др. В ходе этих мероприятий от студента требуются как практические навыки решения задач, так и теоретические знания.

Настоящее учебное пособие содержит краткие теоретические сведения, позволяющие быстро и эффективно подготовиться к перечисленным выше контрольным мероприятиям. В каждом разделе даются базовые знания по теории, формулы без выводов с необходимыми пояснениями и рекомендациями для их практического применения, решения коротких задач.

По тексту введены специальные элементы с целью концентрации внимания на наиболее значимых положениях сопротивления материалов.

■ **Важные моменты.** Этот элемент содержит обзор или краткое изложение наиболее важных положений главы, которые должны быть реализованы при решении практических задач.

■ **Процедура для анализа.** Этот элемент рекомендует студенту единую методику применения конкретной рассмотренной теории (метода) для решения задач.

■ **Словарь терминов.** Этот элемент содержит терминологию, принятую в сопротивлении материалов.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

1.1. Задачи, термины

- Задачи дисциплины “Сопротивление материалов”:
 - овладение теоретическими основами и практическими методами расчетов на прочность, жесткость и устойчивость элементов и деталей, входящих в состав конструкций (сооружений, машин);
 - ознакомление с современными подходами к расчету сложных конструкций.

Основным содержанием сопротивления материалов является разработка моделей прочностной надежности элементов и деталей, входящих в состав конструкций (сооружений, машин). С помощью таких моделей назначаются первоначальные размеры элементов и деталей, выбирается материал для их изготовления, оценивается их сопротивление внешним воздействиям.

Словарь терминов



Конструкцию считают *прочной*, если в ней под воздействием внешних сил не возникает разрушения, не происходит разделения единого целого на части (рис. 1.1, а).

Если изменения формы и размеров конструкции при действии на нее внешних сил невелики и не мешают ее эксплуатации, то считается, что такая конструкция обладает необходимой *жесткостью* (рис. 1.1, б).

Нагруженная конструкция находится в *устойчивом состоянии*, если, будучи отклоненной из этого состояния какими-либо причинами, не учитываемыми в расчете, она возвращается в первоначальное состояние по устранении указанных причин. В противном случае состояние нагруженной конструкции *неустойчивое* (рис. 1.1, в).

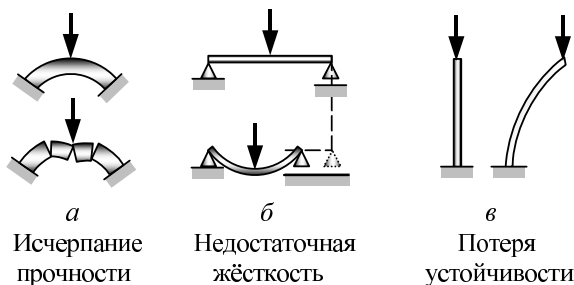


Рис. 1.1

Прочностной надёжностью называется отсутствие отказов, связанных с разрушением или недопустимыми деформациями элементов и деталей, входящих в состав конструкций.

Примечание



Согласно ГОСТ 27.002–89 *надёжность* есть свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Объект – предмет, подлежащий исследованию. Объектом могут быть система и части системы, изделие и группа изделий, технические сооружения, оснащенные разнообразными техническими средствами и укомплектованные обслуживающим персоналом.

Надёжность характеризуется рядом состояний и событий, в частности:

- *работоспособность* – состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации;
- *отказ* – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

1.2. Модели прочностной надежности

Модель – совокупность представлений, зависимостей, условий, ограничений, описывающих процесс, явление. Наиболее часто используются математические модели, отображающие реальный процесс, явление с помощью установления зависимостей между параметрами в виде различного рода уравнений.

Критерии прочностной надежности

■ Основной количественной характеристикой надежности является *вероятность безотказной работы* $P(t)$ – вероятность того, что в заданном интервале времени $t = T$ отказ объекта не возникнет. Значение $P(t)$ находится в пределах $0 \leq P(t) \leq 1$. Нахождение вероятности безотказной работы на стадии проектирования объекта представляет очень сложную задачу.

■ В настоящее время основным методом оценки прочностной надежности элементов и деталей, входящих в состав конструкций, является определение *коэффициента запаса* или просто *запаса*.

Пусть q – параметр работоспособности элемента конструкции (например, действующее усилие, напряжение и др.). *Коэффициентом запаса* n называется отношение

$$n = \frac{q_{\text{пред}}}{q_{\text{max}}},$$

где $q_{\text{пред}}$ – предельное (критическое) значение параметра, нарушающее работоспособность элемента конструкции; q_{max} – наибольшее (максимальное) значение параметра в рабочих условиях.

■ *Условие прочностной надежности* записывается в виде

$$n \geq [n],$$

где $[n]$ – допускаемый коэффициент запаса.

Значение допускаемого коэффициента запаса $[n]$ зависит от стабильности условий нагружения, уровня технологии, методов определения коэффициента запаса и ряда других факторов. Допускаемые значения коэффициента запаса назначают с учетом инженерного опыта создания подобных конструкций.

Модели прочностной надежности. Для определения критериев прочностной надежности следует разработать или принять четыре вспомогательные модели – материала, формы, нагружения и разрушения (рис. 1.2).

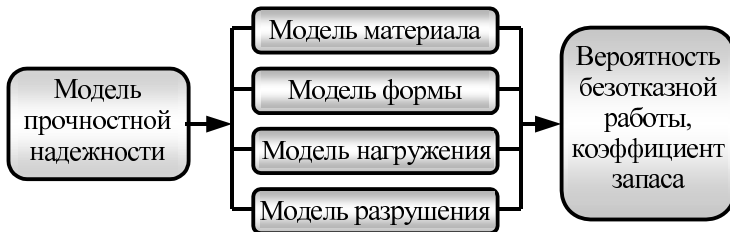


Рис. 1.2

■ **Модель материала.** В сопротивлении материалов используется *модель сплошного тела* – реальное твердое тело заменяется воображаемой модельной сплошной средой.

Словарь терминов



Среда называется *сплошной*, если любой объем, выделенный из нее, содержит вещество, т.е. имеет массу. Другими словами, под *сплошностью* тела понимается заполненность материалом всего объема, ограниченного его поверхностью.

Модель сплошного тела наделяется рядом свойств:

- *однородность* – если в окрестности любой точки тела, при изучении любого по величине элемента свойства тела оказываются одинаковыми, то оно считается однородным. Здесь речь идет об однородности в среднем, обнаруживаемой в том случае, когда объем рассматриваемого элемента тела намного превосходит объем структурных единиц, его составляющих. Так, бетонный куб с ребрами 20 см можно считать обладающим осредненными свойствами составляющих его частей; для стали – объем 1 мм^3 и меньше;

- *изотропность* – одинаковость свойств материала во всех направлениях, проходящих через исследуемую точку тела; в противном случае – *анизотропность*;

- *деформируемость (деформация)* – изменение телом формы и размеров после приложения внешних нагрузок;
- *упругость* – свойство тела восстанавливать свою форму и размеры после снятия внешних нагрузок (например, прогиб доски или ветки дерева, прогиб моста, железнодорожного полотна);
- *пластичность* – свойство тела сохранять после прекращения действия нагрузки полностью или частично полученную при нагружении деформацию (например, изменения формы тел из глины под давлением, проволоки при большом изгибе).

Обычно в сопротивлении материалов принимают, что изменение формы тела под действием внешних нагрузок невелико.

- **Модели формы.** На практике применяют упрощенные геометрические модели формы элементов конструкции, которые могут быть отнесены к одной из трех групп.

Словарь терминов



- Первую группу составляют элементы, у которых поперечные размеры малы по сравнению с длиной l . Такие элементы называются *стержнями* (рис. 1.3).

Ось стержня – это линия, соединяющая центры тяжести его поперечных сечений. Плоская фигура, имеющая свой центр тяжести на оси и нормальная к ней, называется *поперечным сечением* стержня. В зависимости от формы оси различают *прямые* и *криволинейные* стержни. Их поперечные сечения могут быть постоянными по длине оси либо переменными.

- Ко второй группе относятся элементы, размеры которых в двух направлениях намного больше размера в третьем направлении. Геометрическое место точек, равноудаленных от наружных поверхностей таких элементов, называется *срединной поверхностью*. Если срединная поверхность плоская, элемент называют *пластиной*; если же криволинейная, то

оболочкой (рис. 1.3). Наименьший размер h (толщина) из трех характерных размеров располагается в направлении нормали к срединной поверхности.

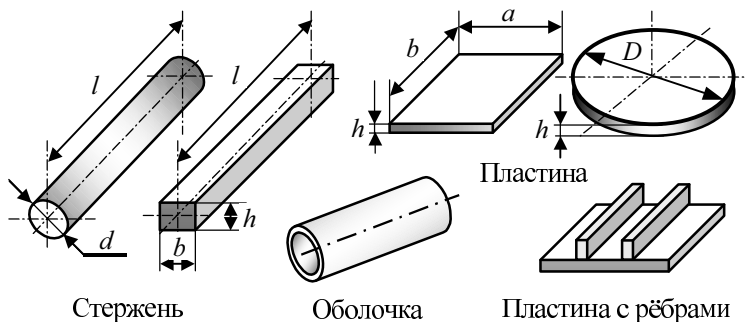


Рис. 1.3

- Третью группу образуют элементы, у которых все три размера одного порядка. Такие элементы конструкции называют *массивами* (массивными телами).

Реальные детали машин, элементы конструкций могут быть представлены сочетанием простых моделей формы. На рис. 1.3 показан пример сочетания моделей стержня и пластины (пластина с ребрами).

→ В сопротивлении материалов основным расчетным объектом является стержень.

Модели нагружения. Внешние силы, действующие на тело (конструкцию), следует рассматривать как проявление взаимодействия его с окружающими телами или внешней средой. Внешние силы могут быть классифицированы по нескольким признакам.

■ По месту расположения точек приложения сил к телу (или способу приложения сил к телу):

- *объемные* или *массовые силы* непрерывно распределены по всему объему, занятому телом (силы веса, инерции); их интенсивность имеет размерность $[\text{Н}/\text{м}^3]$;

- *поверхностные силы* приложены к поверхности тела; интенсивность поверхностной силы имеет размерность $[\text{Н}/\text{м}^2]$.

→ В тех случаях, когда площадка, на которой действует нагрузка, очень мала по сравнению с размерами тела, будем говорить о *сосредоточенной силе* как о равнодействующей сил, распределенных по указанной площадке (например, давление колеса на рельс). Размерность сосредоточенной силы [Н].

→ Если два тела соприкасаются друг с другом по очень узкой площадке (например, соприкосновение двух цилиндрических тел при параллельном расположении осей цилиндров), то допустимо считать, что поверхностная нагрузка действует по линии или, как говорят, распределена вдоль линии. Такая нагрузка называется *погонной*. Интенсивность силы, распределенной по линии, имеет размерность [Н/м].

■ По учету величин внешних нагрузок и характеру их изменения по времени:

- *статическая нагрузка* возрастает от нуля до своей номинальной величины с очень небольшой скоростью, так что возникающими при этом ускорениями можно пренебречь, и остается постоянной во всем процессе нагружения (например, нагружение крыши здания снегом, нагружение планера самолета в условиях установившегося горизонтального полета);

- *переменное нагружение* – это нагружение, изменяющееся во времени.

→ Наиболее важный класс переменных нагружений – *циклические нагружения*:

- если циклы образуются за счет запуска и остановки машины, то нагружение обычно не превышает $10^4 \dots 10^5$ циклов, и такое нагружение называется *малоцикловым*;

- при нагружении, связанном с упругими колебаниями элементов конструкции, число циклов нагружения часто превышает $10^5 \dots 10^6$ циклов, и такое нагружение называется *многоцикловым*.

→ Часто встречается *динамическое ударное нагружение* (соударения элементов конструкции, взрывное нагружение и т.п.). Ударное нагружение характеризуется очень высокой скоростью возрастания нагрузки, что влияет на характеристики деформирования материала.

Модели разрушения. После обоснованного выбора моделей материала, формы и нагружения переходят к непосредственной оценке надежности с помощью моделей разрушения.



Словарь терминов

Модели разрушения представляют собой уравнения (условия), связывающие параметры работоспособности изделия (элемента конструкции) в момент разрушения с параметрами, обеспечивающими прочность. Подразумевается начало перехода от состояния прочности к началу разрушения. Эти условия часто называют *условиями прочности*.

Обычно рассматриваются четыре модели разрушения: 1) статическое разрушение, 2) длительное статическое разрушение, 3) малоцикловое разрушение, 4) усталостное разрушение.

На рис. 1.4 показан характер разрушения материала, обладающего высокой пластичностью, в зависимости от числа циклов нагружения N . При малом числе циклов ($N < 10^2$) развиваются значительные пластические деформации (статическое разрушение), при большом числе циклов ($N > 10^5$) пластические деформации отсутствуют (усталостное разрушение). В промежуточной области ($10^2 < N < 10^5$) разрушение носит смешанный характер (малоцикловое разрушение).

Длительное статическое разрушение (длительная прочность материала) рассматривается в случае, если на элемент конструкции действует высокая температура (для алюминиевых сплавов больше $200\text{ }^\circ\text{C}$, для стальных и титановых сплавов больше $400\text{ }^\circ\text{C}$, для жаропрочных сплавов больше $600\text{ }^\circ\text{C}$).

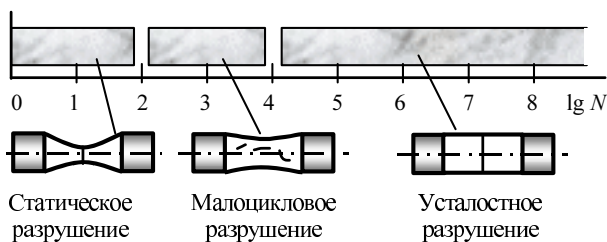


Рис. 1.4

ПРИМЕР 1 – 1

Построить расчетную модель (схему) подкрановой балки (рис. 1.5, а), по которой перемещается тележка с грузом массой m .

Решение

Для подкрановой балки принимаем модель формы – стержень, так как длина балки много больше ее размеров поперечного сечения. Стержень условно изображается прямой линией с опорами на краях (рис. 1.5, б–г).

На рис. 1.5, б–г показано, как для реальной подкрановой балки применяются модели нагружения – сосредоточенные силы, моделирующие вес груза $G = mg$, и равномерно распределенные силы от собственного веса балки $q = \gamma A$ (γ – удельный вес материала балки, A – площадь поперечного сечения балки):

- простейшая расчетная схема на рис. 1.5, б принимается в случае, если база тележки c мала по сравнению с длиной пролета l ($c < l/20$),
- если $c > l/20$, то лучше принять расчетную схему по рис. 1.5, в, так как расчет по схеме на рис. 1.5, б даст погрешность более 5%,
- если необходимо учесть собственный вес балки, что существенно для длинных балок, то используется расчетная схема по рис. 1.5, г.

Для формирования модели разрушения необходимо разобраться с видом деформации балки, что является предметом дальнейшего изучения.

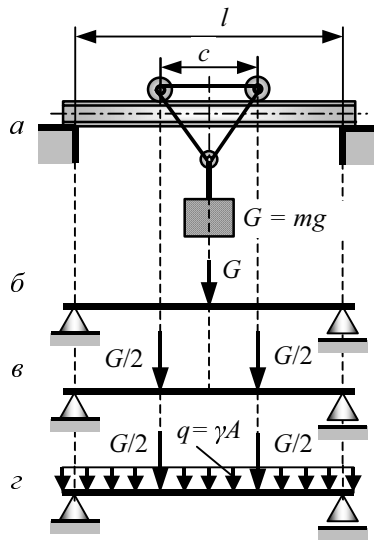


Рис. 1.5

1.3. Виды деформации стержня

Любую деформацию стержня можно представить в виде сочетания некоторых *элементарных* видов деформации: осевая деформация (растяжение и сжатие), кручение, изгиб (рис. 1.6).

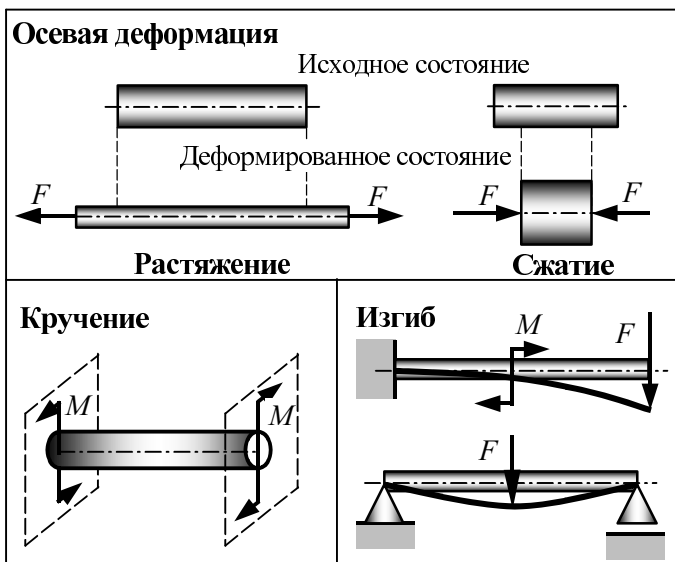


Рис. 1.6

■ *Растяжение* или *сжатие* стержня возникает в случае приложения сил, направленных вдоль его оси.

■ *Кручение* стержня возникает в случае приложения моментов, плоскость действия которых перпендикулярна оси.

■ *Изгиб* стержня возникает при действии на него сил (сосредоточенных и (или) распределенных), перпендикулярных оси, и (или) моментов, плоскость действия которых проходит через ось или параллельна ей.

В сопротивлении материалов изучается и *деформация общего вида* (*сложная деформация*), являющаяся комбинацией указанных элементарных видов деформации.

1.4. Внутренние силы. Метод сечений

Внутренние силы. Внутри любого материала имеются внутренние межатомные силы, наличие которых определяет способность тела воспринимать действующие на него внешние силы, сопротивляться раз-

рушению, изменению формы и размеров. Приложение к телу внешней нагрузки вызывает изменение (увеличение или уменьшение) внутренних межатомных сил, т.е. появление дополнительных внутренних сил.

■ В сопротивлении материалов изучаются дополнительные внутренние силы. Под *внутренними силами* (или *внутренними усилиями*) в сопротивлении материалов понимаются силы между отдельными элементами конструкции или между отдельными частями элемента, возникающие под действием внешних сил.

Метод сечений. Метод, позволяющий определить внутренние силы в сечении стержня, называется *методом сечений*.

Рассмотрим стержень, находящийся в равновесии под действием пространственной системы внешних сил (рис. 1.7). Применение метода сечений включает несколько шагов.

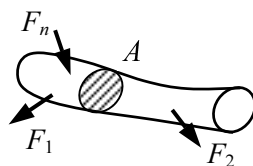


Рис. 1.7

1. *Рассекаем* стержень *мысленно* на две части, например, сечением A (рис. 1.7).

2. *Отбрасываем* одну из частей стержня, например правую.

3. *Заменяем* действие отброшенной части внутренними силами, уравновешивающими действие внешних сил на оставшуюся (левую) часть. Приведем внутренние силы к центру тяжести C сечения, получаем главный вектор \mathbf{R} и главный момент \mathbf{M} внутренних сил. Введем

следующую систему координат (рис. 1.8): ось x направим по нормали к сечению, оси y и z расположим в плоскости сечения. Спроектировав \mathbf{R} и \mathbf{M} на оси x, y, z , получаем шесть составляющих (рис. 1.8), которые называются *внутренними силовыми факторами* или *внутренними силами* и обозначаются $N, Q_y, Q_z, M_x, M_y, M_z$. В том же сечении правой части будут те же силы, но имеющие противоположное направление.

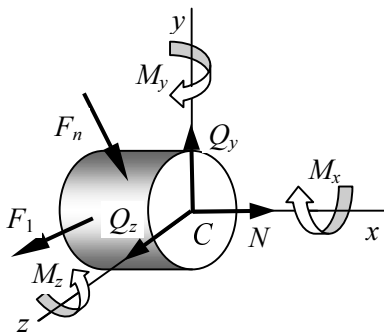


Рис. 1.8

4. Из *уравнений равновесия* для внутренних и внешних сил, составленных для отсеченной (левой) части стержня,

$$\sum_{\text{лев}} X = 0 \quad N + \sum_{\text{лев}} F_{ix} = 0, \quad \sum_{\text{лев}} M_x = 0 \quad M_x + \sum_{\text{лев}} M_x(F_i) = 0,$$

$$\sum_{\text{лев}} Y = 0 \quad Q_y + \sum_{\text{лев}} F_{iy} = 0, \quad \sum_{\text{лев}} M_y = 0 \quad M_y + \sum_{\text{лев}} M_y(F_i) = 0,$$

$$\sum_{\text{лев}} Z = 0 \quad Q_z + \sum_{\text{лев}} F_{iz} = 0, \quad \sum_{\text{лев}} M_z = 0 \quad M_z + \sum_{\text{лев}} M_z(F_i) = 0,$$

далее определяются указанные внутренние силы.

Словарь терминов



Внутренние силовые факторы (внутренние силы):

N – *нормальная*, или *продольная сила*; направлена вдоль оси стержня (имеет место при растяжении и сжатии),

Q_y, Q_z – *перерезывающие силы*; действуют в плоскости поперечного сечения (изгиб),

M_x – *крутящий момент*; действует в плоскости сечения (кручение),

M_y, M_z – *изгибающие моменты*; плоскости действия моментов перпендикулярны плоскости сечения (изгиб).

ПРИМЕР 1 – 2

Найти усилия в стержнях BC и BD стержневой системы (рис. 1.9).

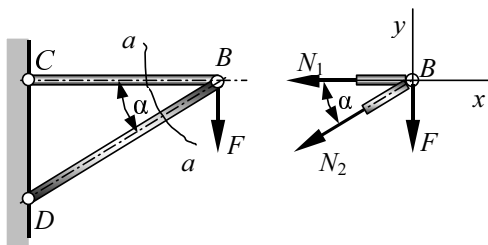


Рис. 1.9

Решение

Метод сечений. Проведем сечение $a-a$ по стержням, отбросим левую часть и рассмотрим равновесие правой части – узел B со стержнями. Предположим, что усилия в стержнях направлены от узла (от сечения стержня), и обозначим их N_1 и N_2 . Уравнения равновесия для правой части стержневой системы и результаты их решения:

$$\sum Y = 0 \quad -F - N_2 \sin \alpha = 0 \rightarrow N_2 = -F / \sin \alpha \quad \text{Ответ}$$

(знак минус показывает, что усилие N_2 будет не растягивающим, как мы предполагали, а сжимающим, т.е. направлено в противоположную сторону),

$$\sum X = 0 \quad -N_1 - N_2 \cos \alpha = 0 \rightarrow N_1 = -N_2 \cos \alpha = F \operatorname{ctg} \alpha. \quad \text{Ответ}$$

1.5. Напряжения

■ Величина, характеризующая интенсивность внутренних сил, называется *напряжением*.

Рассмотрим сечение B некоторого тела (рис. 1.10). В окрестности точки K выделим элементарную площадку ΔA , в пределах которой действует элементарная внутренняя сила ΔR .

■ За *среднее напряжение* на площадке ΔA принимаем отношение

$$\bar{p} = \frac{\Delta R}{\Delta A}.$$

■ *Полным напряжением* (или *напряжением*) в данной точке K сечения называется предел отношения элементарной внутренней силы к площади выделенной в сечении площадки при стремлении последней к нулю (“стягивании” в точку), т.е.

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta R}{\Delta A}.$$

В Международной системе единиц (СИ) размерность напряжения – **паскаль** (Па): $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$. Практически расчеты ведутся с использованием большей величины – мегапаскаль: $1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}$.

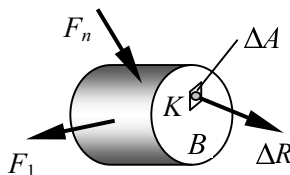


Рис. 1.10

Нормальные и касательные напряжения. Полное напряжение p может быть разложено на три составляющие (рис. 1.11): по нормали к плоскости сечения n и по двум осям s' , s'' в плоскости сечения.

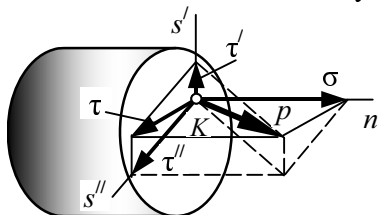


Рис. 1.11

■ Проекция полного напряжения на нормаль обозначается σ и называется *нормальным напряжением*.

■ Составляющие в плоскости сечения обозначаются τ и называются *касательными напряжениями*.

В зависимости от расположения и наименования осей обозначения σ и τ снабжаются системой индексов, порядок которых будет установлен в дальнейшем. Очевидно, что

$$\tau = \sqrt{(\tau')^2 + (\tau'')^2}, \quad p = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}.$$

Если через точку K в теле провести другую секущую площадку, напряжение p в той же точке будет, вообще говоря, другим.

Словарь терминов



Совокупность напряжений σ и τ , действующих по различным площадкам, проходящим через рассматриваемую точку, называется *напряженным состоянием*.

1.6. Деформации и перемещения

■ Изменение линейных размеров тела или его частей называется *линейной деформацией*, а изменение угловых размеров – *угловой деформацией*.

Линейная деформация. Пусть линейная деформация в точке C деформируемого тела (рис. 1.12) определяется в направлении, задаваемом единичным вектором s . На указанной прямой

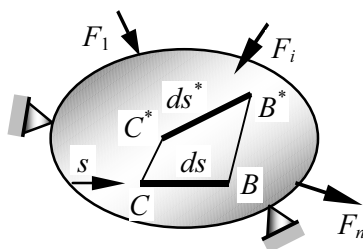


Рис. 1.12