

В.И. Андреев, А.Г. Паушкин, А.Н.Леонтьев

ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

для студентов строительных
вузов и факультетов

Б
А
К
А
Л
А
В
Р



В.И. Андреев, А.Г. Паушкин, А.Н. Леонтьев

ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ
по образованию в области строительства в качестве учебника
для подготовки бакалавров по направлению 270800 – «Строительство»*



Издательство АСВ
Москва
2013

УДК 539.3

Рецензенты:

кафедра «Прочность материалов и конструкций» РУДН, зав. кафедрой,
профессор, д-р техн. наук *С.Н. Кривошапко*;

профессор, д-р техн. наук *С.Б. Косицын*

Андреев В.И., Паушкин А.Г., Леонтьев А.Н.

Техническая механика (для учащихся строительных вузов и факультетов):
Учебник. Издание 2-е исправленное и дополненное. – М.: Издательство
АСВ, 2013. – 256 с. с илл.

ISBN 978-5-93093-867-8

В учебнике изложен курс технической механики, в котором рассматриваются основы сопротивления материалов и строительной механики. Содержание учебника соответствует примерной программе по данной дисциплине для студентов высших учебных заведений, обучающихся по программе бакалавриата по направлению 270800 – «Строительство».

ISBN 978-5-93093-867-8

© Андреев В.И., Паушкин А.Г.,
Леонтьев А.Н., 2013
© Издательство АСВ, 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Введение	6
Глава 1. Основные понятия	
1.1. Расчетные схемы	9
1.2. Основные принципы и предположения	17
1.3. Напряжения и деформации	19
1.4. Внутренние усилия в стержнях	23
Глава 2. Растяжение и сжатие стержней	
2.1. Основные понятия. Метод сечений	25
2.2. Дифференциальная зависимость между q и N	26
2.3. Эпюра продольных сил	26
2.4. Напряжения и деформации. Закон Гука	31
2.5. Перемещения. Вычисление удлинений	38
2.6. Механические свойства материалов	41
Глава 3. Расчеты на прочность	
3.1. Напряженное состояние в точке. Виды напряженного состояния	49
3.2. Одноосное напряженное состояние. Условия прочности	51
3.3. Двухосное напряженное состояние	59
3.4. Понятие о теориях прочности	66
Глава 4. Геометрические характеристики сечений	
4.1. Определения	70
4.2. Статические моменты. Определение центра тяжести	73
4.3. Изменение моментов инерции при параллельном переносе осей	75
4.4. Изменение моментов инерции при повороте осей	77
4.5. Главные оси и главные моменты инерции	78
4.6. Моменты инерции простых сечений	80
4.7. Радиусы инерции и моменты сопротивления сечения	84
Глава 5. Сдвиг и кручение	
5.1. Чистый сдвиг	92
5.2. Кручение стержня круглого сечения. Внутренние усилия	93
5.3. Кручение стержня круглого сечения. Напряжения. Расчеты на прочность	94
5.4. Кручение стержня круглого сечения. Расчеты на жесткость	99
Глава 6. Изгиб. Внутренние усилия	
6.1. Основные понятия	101
6.2. Определение опорных реакций	103
6.3. Дифференциальные зависимости при изгибе	105
6.4. Построение эпюр внутренних усилий	107
6.5. Построение эпюр внутренних усилий в статически определимой плоской раме	112

Глава 7. Изгиб. Напряжения

7.1. Нормальные напряжения при чистом изгибе	116
7.2. Расчеты на прочность при изгибе	121
7.3. Напряжения при поперечном изгибе	123
7.4. Главные напряжения при изгибе	130

Глава 8. Изгиб. Перемещения

8.1. Основные положения	133
8.2. Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки	134
8.3. Обобщенный закон Гука	137
8.4. Теорема Клапейрона о действительной работе статически приложенной силы	138
8.5. Действительная работа внутренних сил. Потенциальная энергия упругой деформации	140
8.6. Понятие о возможной работе внешних сил. Теоремы о взаимности работ, перемещений и реакций	143
8.7. Возможная работа внутренних сил	146
8.8. Принцип возможных перемещений. Формула Мора для определения перемещений в плоских стержневых системах	148
8.9. Правило А.К. Верещагина «перемножения эпюр»	151

Глава 9. Сложное сопротивление

9.1. Основные положения. Общий случай сложного сопротивления.....	158
9.2. Внецентренное растяжение и сжатие	161
9.3. Косой изгиб	166

Глава 10. Устойчивость сжатых стержней

10.1. Основные понятия	176
10.2. Формула Эйлера	177
10.3. Гибкость. Другой вид формулы Эйлера	180
10.4. Пределы применимости формулы Эйлера	181
10.5. Практический расчет на устойчивость	184

Глава 11. Динамические нагрузки

11.1. Определения	194
11.2. Подъем груза с ускорением	195
11.3. Удар	196
11.4. Прочность при циклических напряжениях	199

Глава 12. Расчет статически неопределимых систем

12.1. Метод сил	206
12.2. Метод перемещений	221
Приложение. Сортамент прокатной стали	239
Литература	251

ПРЕДИСЛОВИЕ

Обычно курс технической механики содержит три раздела: теоретическая механика, сопротивление материалов и строительная механика. Поскольку в учебном плане подготовки бакалавров по направлению «Строительство» теоретическая механика является самостоятельной дисциплиной, в настоящий учебник, в отступление от традиций, включены только основы *сопротивления материалов* и *строительной механики стержневых систем*. Авторы старались в простой и доступной форме донести до читателя суть основных разделов этих дисциплин. При этом изложение материала является достаточно полным, так как в соответствующих разделах приводятся выводы основных формул и решаются типовые задачи. Поскольку авторы преподают в Московском государственном строительном университете (МГСУ), в учебнике сделан акцент на расчет элементов строительных конструкций.

Знакомство с учебником позволит будущему специалисту приобрести начальные знания о напряженно-деформированном состоянии деформируемых твердых тел под действием различных нагрузок, а также иметь необходимые представления о расчетах элементов строительных конструкций на *прочность*, *жесткость* и *устойчивость*.

Нумерация глав книги примерно соответствует тематическим разделам курса, читаемого в МГСУ. Параграфы, в соответствии со стилем изложения, разделены на части, причем название каждой части параграфа выделено жирным шрифтом. Термины и определения обозначены курсивом.

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании любых конструкций – от наручных часов и до гигантских плотин необходимо обеспечить их *функциональность*, а также *минимизировать затраты*.

Функциональность – свойство конструкции обеспечить возложенные на неё функции и необходимые для эксплуатации свойства. Дом должен стоять, защищать от дождя и ветра, обеспечивать теплом и создавать человеку ещё массу других удобств, которые вы легко можете перечислить сами. Плотина должна удерживать напор воды, железнодорожный мост должен выдерживать порывы ветра и вес движущихся по нему составов. Посмотрите вокруг, и вы сами поймете, какие функции должна обеспечивать любая конструкция. Рассмотрим простейший пример – обеденный или письменный стол. Он должен выдерживать определенные нагрузки: вес компьютера, вес вашего тела, когда вы на него облокотились во время еды или когда встали, чтобы вкрутить в люстру лампочку, и т.д. Но очевидно, что стол не выдержит вес танка, если его поставить сверху – он на это не рассчитан, поэтому без воздействия танка стол служит достаточно долго, не ломаясь. Посмотрите на свой стол. Его крышка, по-видимому, сделана из дерева. Толщина этой крышки и её размеры в плане подобраны таким образом, что она выдерживает те нагрузки, о которых мы сказали. А теперь представьте, что крышка стола имеет такую же толщину, но сделана из резины. Если вы облокотитесь на такой стол, его крышка не разрушится, но сильно прогнется, а это неудобно. Суп прольется, а компьютер свалится со стола. Вывод – крышка из резины нефункциональна.

Каждой вещи, конструкции или сооружению отпущен свой срок. Для домов – это десятилетия, для одежды – годы, а для первой ступени космической ракеты – десятки секунд. Чтобы конструкция была функциональной в течение запланированного срока её эксплуатации, нужно обеспечить её *прочность, жесткость и устойчивость*.

Прочностью называется способность конструкции не разрушаться под действием внешних нагрузок. Это первое и основное требование ко всему, что создает человек. Тем не менее мы постоянно слышим о различных авариях и катастрофах. Почему они происходят? Причин много. Это может быть превышение нагрузок над теми, которые были предусмотрены при расчете, некачественное изготовление конструкции и, наконец, ошибки при проектировании или строительстве. Трудно предвидеть все причины и

последствия разрушений, но необходимо приложить все усилия к тому, чтобы разрушения не происходили.

Жесткостью называется способность тела сопротивляться деформированию, т.е. сопротивляться изменению его размеров или формы. Жесткость конструкции связана с её размерами и со свойствами материала, из которого она изготовлена. Возвращаясь к столу с резиновой крышкой, которая будет прогибаться значительно сильнее, чем деревянная, можно отметить, что дерево жестче, чем резина, а размерами, от которых в данном случае зависит прогиб крышки стола, являются её толщина и размеры в плане. В дальнейшем при решении различных задач мы встретимся с разными комбинациями физических и геометрических величин, определяющих жесткость элементов конструкций.

Устойчивостью называется способность конструкции сохранять первоначальную форму равновесия. Объясним суть явления на примере нагружения длинного стержня сжимающими силами. Дело в том, что достаточно длинные стержни при сжатии могут потерять первоначальную форму равновесия. Подобный опыт вы можете провести самостоятельно, сжимая тонкую металлическую линейку в продольном направлении. При малом усилии линейка остается прямой, а при увеличении нагрузки она искривляется. Потеря устойчивости сжатого стержня является опасным явлением и может привести к разрушению всей конструкции.

Требование того, чтобы конструкции были прочными, жесткими и устойчивыми и в то же время недорогими, во многом противоречиво. Чтобы, например, обычный стул мог служить, не ломаясь, несколькими поколениями, можно сделать его ножки из бревен, но, во-первых, это будет дорого, во-вторых, двигать такой стул по комнате будет достаточно тяжело и неудобно, и в-третьих, такой стул будет просто некрасив. Можно сделать стены и колонны здания очень массивными, но при этом стоимость его будет высокой, строительство неэкономичным, и вид такого здания будет неэстетичным. Проектировщику в своей работе всегда приходится балансировать между требованиями экономичности и прочности строительной конструкции.

В теоретической механике рассматриваются абсолютно твердые (недеформируемые) тела.

Сопротивление материалов и строительная механика стержневых систем, основы которых излагаются в настоящем учебнике, являются составляющими более крупного научного направления – механики деформируемого твердого тела.

Все тела можно разделить на три группы: 1) *массивные или трехмерные тела*, три размера которых соизмеримы (плотины, здания и т.д.);

2) *двумерные тела*, один размер которых (толщина) намного меньше двух других размеров (пластины и оболочки); 3) *одномерные тела*, один размер которых (длина) намного больше двух других. Что такое намного меньше, или намного больше? Это означает по крайней мере в 10 раз. К одномерным телам относятся колонны, столбы, балки и др. Такие элементы конструкций называют *стержнями* или *брусьями*.

В сопротивлении материалов рассматривают одномерные тела, т.е. стержни.

Конструкции, состоящие из стержней (рамы, фермы), рассматривают в строительной механике стержневых систем.

Расчет пластин, оболочек и массивных тел рассматривается в курсе теории упругости.

Из приведенных выше рассуждений становится понятным название такой традиционной дисциплины, как *сопротивление материалов*. В этом названии заложена мысль о том, что материалы, а точнее, элементы конструкций (созданных, естественно, из каких-то материалов) сопротивляются нагрузкам.

Итак, еще раз повторим, что *в настоящем учебнике будут рассмотрены основы расчета стержней (сопротивление материалов) и стержневых систем (строительная механика стержневых систем) на прочность, жесткость и устойчивость.*

ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

1.1. Расчетные схемы

Как было отмечено во введении, в сопротивлении материалов рассматриваются стержни (или брусья). *Постановка любой задачи сопротивления материалов заключается в определении (задании) следующих четырех факторов:*

- *формы и размеров стержня;*
- *вида и способа приложения нагрузок, а также их величины;*
- *способов закрепления стержня;*
- *материала стержня.*

Следует заметить, что при проведении расчетов на прочность или на жесткость не все перечисленные факторы задачи могут быть известны. Например, если заданы форма, размеры и материал стержня, то необходимо определить величины допускаемых нагрузок, при которых прочность и жесткость стержня будут обеспечены. Или, наоборот, при известных нагрузках требуется найти размеры сечения стержня и т.д.

Сложные реальные конструкции, как правило, заменяют более простыми, идеализированными объектами, которые называют расчетными схемами. При этом для каждого из указанных четырех факторов оговариваются некоторые упрощения, которые, являются общепринятыми.

Рассмотрим последовательно перечисленные выше четыре фактора с точки зрения упрощений, которые обычно используют при построении расчетной схемы.

Форма и размеры стержня. Учитывая, что длина стержня намного превышает его поперечные размеры, на расчетной схеме обычно показывают только линию, совпадающую с осью стержня, и форму его поперечного сечения.

Ось стержня представляет собой линию, которая соединяет центры тяжести его поперечных сечений. Поперечным сечением называется фигура, получаемая пересечением стержня плоскостью, перпендикулярной оси стержня.

Понятие центра тяжести произвольного поперечного сечения будет дано позже, в гл. 4, но для ряда простых фигур его положение хорошо известно. Так, например, центр тяжести прямоугольного сечения находится на пересечении диагоналей прямоугольника, а круглого – совпадает с центром окружности.

На рис. 1.1, а представлен общий вид прямого стержня, показаны поперечные сечения, их центры тяжести C и проходящая через них ось. На рис. 1.1, б видно, как стержень будет выглядеть в расчетной схеме (показана только ось стержня, а справа от нее – поперечное сечение). Начало осей координат O совместим с центром тяжести крайнего левого поперечного

сечения. Ось прямолинейного стержня совпадает с осью Ox , а в плоскости поперечного сечения для осей будем использовать обозначения Oy и Oz . В дальнейшем, иногда, для краткости изложения, вместо Ox , Oy и Oz будут использоваться обозначения x , y и z соответственно.

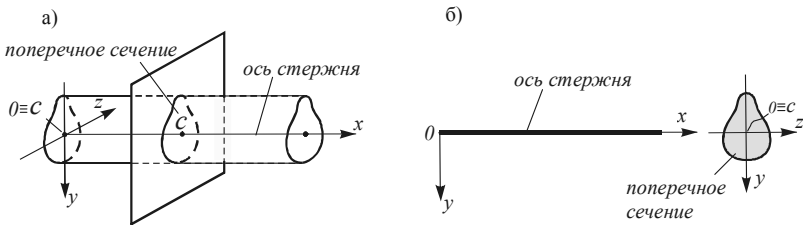


Рис. 1.1 Общий вид стержня (а) и его представление в расчетной схеме (б)

На рис. 1.2 показаны прямой, ломаный и криволинейный стержни, а на рис. 1.3 – некоторые поперечные сечения.

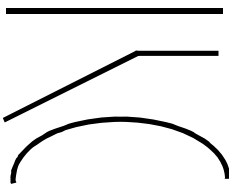


Рис. 1.2. Различные формы стержней

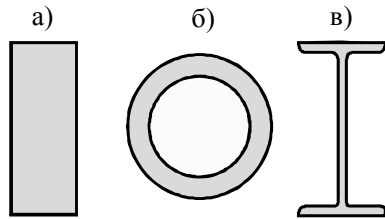


Рис. 1.3. Поперечные сечения стержней: а – прямоугольник; б – кольцо; в – двутавр

Длина стержня, форма поперечного сечения и материал, из которого он выполнен, обычно задаются, поскольку данный стержень является элементом некоторой проектируемой конструкции, и в большинстве задач наиболее часто приходится определять размеры поперечного сечения, а также допускаемые нагрузки.

Виды и способы приложения нагрузок. В подавляющем большинстве задач будем рассматривать стержни, находящиеся в состоянии равновесия. На стержень извне воздействуют *внешние силы*, которые уравниваются реактивными усилиями, возникающими в местах закрепления стержней. *Реакции опор также относят к внешним силам. Внешние силы в строительстве называют нагрузками.*

Нагрузки бывают *поверхностными* и *объемными*.

Поверхностные нагрузки приложены к поверхности тела.

Объемные силы (нагрузки) приложены к каждой частице тела. Примером таких сил может являться собственный вес тела (гравитационные силы).

Нагрузки бывают *сосредоточенными* (приложенными к точке) и *распределенными*.

Сосредоточенные нагрузки – это *сосредоточенные силы* и *сосредоточенные моменты (пары сил)* (для простоты их обычно называют *силами* и *моментами*). Сосредоточенные силы и моменты являются упрощением (схематизацией) реально действующих нагрузок.

Сосредоточенная сила вводится там, где площадка, на которую она действует, мала по сравнению с размерами стержня. На рис. 1.4 показано взаимодействие колеса вагона с рельсом. Площадь контакта колеса и рельса достаточно мала, но является конечной величиной. Через эту малую площадку и передается на рельс давление от веса вагона. Учитывая малость этой площадки, при построении расчетной схемы без большого ущерба для точности расчетов, можно считать, что сила F (от английского слова *force* – сила) приложена в точке. Сосредоточенные силы измеряются в ньютонах (Н) или килоньютонах (кН).

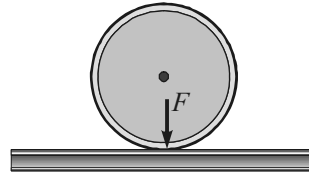


Рис. 1.4. К определению понятия сосредоточенной силы

Сосредоточенные моменты, как правило, не существуют сами по себе. Обычно, сосредоточенный момент – это результат приведения системы сил к некоторой точке. Напомним, что момент находится умножением силы на плечо (плечо – это перпендикуляр, опущенный из точки на линию действия силы). На рис. 1.5, а показана сила F , которая действует с эксцентриситетом e (плечо силы) на вертикальную колонну. Можно перенести силу F на ось стержня в точку K и рассматривать в качестве элемента расчетной схемы ось бруса, на которую действуют в точке K сосредоточенная сила F и сосредоточенный момент $M = F \cdot e$ (рис. 1.5, б).

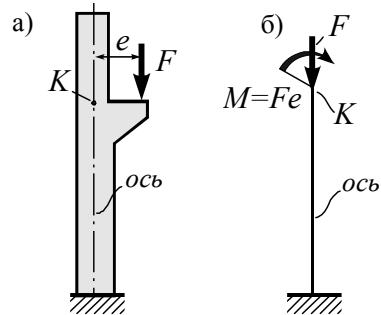


Рис. 1.5. К определению понятия сосредоточенного момента:
а – колонна с приложенной к ней силой; б – расчетная схема

Моменты измеряются в единицах силы, умноженных на единицу длины, например в кН·м.

Распределенные нагрузки наиболее часто встречаются в строительстве. Куча песка, насыпанного на плиту перекрытия, снеговая нагрузка, действующая на крышу, или собственный вес плиты – все это распределенные

нагрузки. Так как мы рассматриваем только стержни, то речь идет о нагрузках, распределенных по длине стержня.

На рис. 1.6 кроме сосредоточенных сил и сосредоточенного момента показаны также *распределенные по длине нагрузки* q , которые могут быть *равномерными* или *неравномерными*. *Интенсивность* распределенной нагрузки q измеряется в единицах силы, деленных на единицу длины, например, в кН/м.

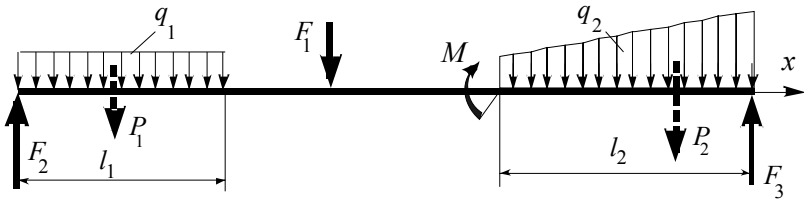


Рис. 1.6. Виды нагрузок, вызывающих изгиб стержня

Часто, для распределенной нагрузки необходимо определять ее *равнодействующую* и точку ее приложения. Для нагрузки q_1 равнодействующая равна $P_1 = q_1 \cdot l_1$, т.е. площади изображенного на рисунке прямоугольника. Точка приложения силы P_1 находится в центре тяжести условного прямоугольника, или в середине участка длины l_1 . Для нагрузки q_2 равнодействующая может быть вычислена как площадь трапеции, для чего необходимо знать, чему равна нагрузка в начале и в конце участка длины l_2 . Точка приложения силы P_2 будет проходить через центр тяжести трапеции.

Кроме рассмотренных видов нагрузок бывают случаи, когда к стержню приложены *распределенные моменты*. Интенсивность распределенного момента m измеряется в кН·м/м. В этих единицах метры, стоящие в числителе и знаменателе, не сокращаются, чтобы подчеркнуть природу рассматриваемой величины (единица момента, деленная на единицу длины).

Нагрузки также различаются *по способу их приложения*.

Первое существенное различие нагрузок по способу их приложения зависит от того, будут ли учитываться силы инерции. Различают *статические* и *динамические нагрузки*.

Нагрузки называются статическими, если они не изменяются во времени или изменяются очень медленно. Силы инерции в таком случае можно не учитывать. Такой, например, можно считать снеговую нагрузку или нагрузку от собственного веса.

При больших скоростях изменения нагрузок они называются динамическими, например, при ударе. При рассмотрении этих нагрузок нужно учитывать влияние сил инерции. Расчеты на прочность при динами-

ческих нагрузках существенно отличаются от расчетов при статических нагрузках.

Второе существенное различие по способу приложения нагрузок заключается во времени их действия. Нагрузки делят на *постоянные* и *временные*. *Постоянные нагрузки действуют на конструкцию постоянно, а временные нагрузки действуют время от времени*. Например, при расчете опор моста вес самого моста – постоянная нагрузка, а вес движущегося состава и ветровые нагрузки являются временными нагрузками. Величина постоянных нагрузок, как правило, определяется с большой точностью, а временные нагрузки прогнозируются сложнее. Поэтому при расчетах на прочность эти два типа нагрузок учитываются по-разному.

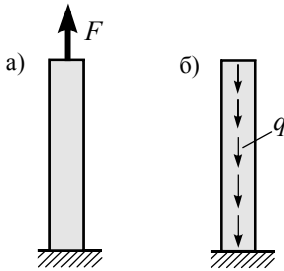


Рис. 1.7. Растяжение (а) и сжатие (б) стержня

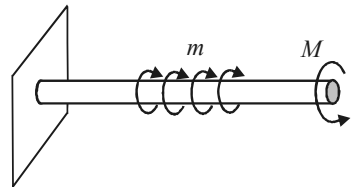


Рис. 1.8. Кручение стержня

Следует отметить, что *виды деформирования стержней* зависят от направления действия нагрузок по отношению к оси стержня. Нагрузки, приложенные вдоль оси стержня (рис. 1.7), в зависимости от их направления приводят к его *растяжению* или *сжатию*. В этом случае говорят, что *стержень работает на растяжение (сжатие)*.

Если же нагрузки действуют перпендикулярно оси стержня, то *стержень работает на изгиб* (рис. 1.6). *Стержень, подверженный изгибу, называется балкой*.

Есть еще третий простой способ нагружения стержня – сосредоточенными и распределенными скручивающими моментами (рис. 1.8). При этом говорят – *стержень работает на кручение*.

Бывают также случаи, когда на стержень действуют и те и другие нагрузки – это называется *сложным сопротивлением*. Решение таких задач получают сложением решений более простых задач.

Замечание. При определении напряженно-деформированного состояния стержня не разрешается переносить нагрузки вдоль линии их действия.

В этом можно убедиться на примере, показанном на рис. 1.9. Если силу F , приложенную к торцу стержня, перенести вдоль оси стержня вниз, то мы получим другую задачу. В первом случае (а) стержень растягивается весь, а во втором (б) – только его нижняя часть (обозначен-

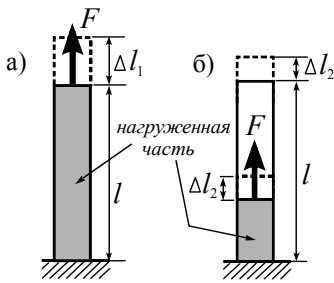


Рис. 1.9. К вопросу о переносе нагрузок

ная темным цветом). Очевидно, что удлинение стержня Δl_1 будет больше удлинения Δl_2 . Чтобы лучше понять смысл сказанного, представьте себе, что сначала вас тянут вверх за голову, а затем – за пояс. Во втором случае голова и шея нагружены не будут.

Способы закрепления стержней. *Жесткая заделка (жесткое защемление)*, показанная на рис. 1.10, а, обеспечивает стержню,

заделанному в стену или другое массивное тело, *отсутствие линейных перемещений в двух направлениях, а также отсутствие поворота сечения в заделке*. Расчетная схема жестко защемленного стержня показана на рис. 1.10, б.

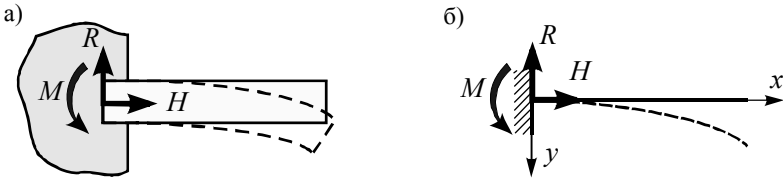


Рис. 1.10. Жесткая заделка

Линейные перемещения будем обозначать: u – вдоль оси x и v – вдоль оси y , а угловые перемещения (углы поворота сечений) – буквой φ . В жесткой заделке имеем следующие кинематические условия: $u = 0$; $v = 0$; $\varphi = 0$. Статические условия в жесткой заделке: $H \neq 0$, $R \neq 0$, $M \neq 0$ (т.е. в жесткой заделке имеются три опорные реакции – горизонтальное и вертикальное реактивные усилия H и R , а также реактивный момент M).

Каждая из опорных реакций противодействует возникновению в заделке соответствующего перемещения. Реакция H препятствует появлению перемещения u в направлении оси x , а реакции R и M , соответственно, перемещений v и φ . Можно сказать и по-другому: опорные реакции возникают по направлениям запрещенных (блокированных) перемещений. Реакция H возникает по направлению запрещенного перемещения u , а реакции R и M , соответственно, по направлениям запрещенных перемещений v и φ .

В зависимости от характера внешних нагрузок некоторые из опорных реакций могут равняться нулю. Например, при отсутствии нагрузок, действующих в продольном направлении стержня (вдоль его оси), горизонтальная реакция равна нулю ($H = 0$).

Температурная (скользящая) заделка, представлена рис. 1.11 (на левом конце балки). *Заделанный конец* (т. А) имеет возможность перемещения вдоль оси балки, что исключает появление горизонтальной реакции. Нагрев балки с двумя заделками, одна из которых скользящая, не приводит к появлению сжимающих напряжений, т.е. балка свободно удлиняется и со стороны опор на нее при этом не оказывается никакого давления. Кинематические условия в температурной заделке: $u \neq 0$; $v = 0$; $\varphi = 0$. Статические условия в температурной заделке: $R_A \neq 0$, $H_A = 0$, $M_A \neq 0$.

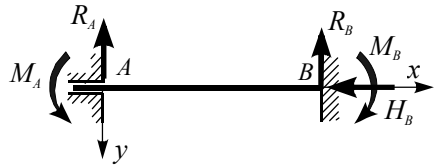


Рис. 1.11. Балка с двумя заделками

Шарнирно-неподвижная опора образуется, если стержень закрепить таким образом, чтобы ему был разрешен только угол поворота, а горизонтальное и вертикальное перемещения запретить. Эта опора обозначается двумя короткими стержнями с шарнирами по концам (рис. 1.12). Кинематические условия в шарнирно-неподвижной опоре: $u = 0$; $v = 0$; $\varphi \neq 0$ (два линейных перемещения в опоре запрещены, разрешен только угол поворота). Статические условия в шарнирно-неподвижной опоре: $R \neq 0$, $H \neq 0$, $M = 0$ (имеются две опорные реакции).

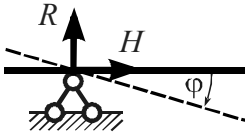


Рис. 1.12. Шарнирно-неподвижная опора

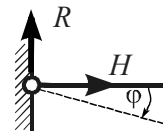


Рис. 1.13. Шарнирное закрепление

Шарнирное закрепление, показанное на рис. 1.13, имеет те же кинематические и статические условия, что и шарнирно-неподвижная опора, изображенная на рис. 1.12. Эти две опоры полностью эквивалентны.

Шарнирно-подвижная опора может быть получена, если стержень закрепить таким образом, чтобы разрешить ему горизонтальное перемещение и угол поворота и запретить вертикальное перемещение. Будем обозначать такую опору в виде короткого стержня с двумя шарнирами по концам (рис. 1.14). Кинематические

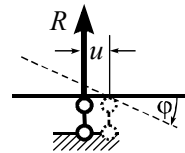


Рис. 1.14. Шарнирно-подвижная опора

условия в шарнирно-подвижной опоре: $v = 0$, $u \neq 0$, $\varphi \neq 0$ (запрещено только вертикальное перемещение, стержень на этой опоре может перемещаться горизонтально и поворачиваться). Статические условия в шарнирно-подвижной опоре: $R \neq 0$, $H = 0$, $M = 0$ (возникает только одна опорная реакция по направлению опорного стержня).

Материал стержня. Из курсов физики и технологии конструкционных материалов известно, что строительные материалы (металлы, бетон, дерево и др.) имеют разную и сложную структуру. В технической механике не рассматривают поведение материалов на микроуровне (т.е. на уровне атомов и молекул). Принимается, что мы имеем дело с неким *идеализированным материалом*, который обладает определенными свойствами, а они, в свою очередь, могут быть сформулированы в виде следующих гипотез (допущений) о свойствах материалов:

1. Гипотеза сплошности. *Материал считается сплошным, т.е. не содержащим пустот и включений.*
2. Гипотеза однородности. *Материал считается однородным. Это означает, что во всех точках тела физико-механические свойства одинаковы. Заметим, что по своей природе многие материалы в действительности являются неоднородными, например, бетон, состоящий из цементного камня, песка и щебня; стеклопластики и т.д. Но в этих случаях, условно считая материалы всё же однородными, их наделяют некими усредненными свойствами.*
3. Гипотеза изотропности. *Принимается, что материал является изотропным, т.е. обладает одинаковыми свойствами во всех направлениях. Тела, не отвечающие данной гипотезе, называются анизотропными. Примером анизотропного материала является дерево, у которого прочность вдоль и поперек волокон различна.*
4. Гипотеза об абсолютной упругости. *Материал считается абсолютно упругим, т.е. деформации (изменения формы и размеров) тела полностью исчезают после снятия нагрузок. Проявление упругих свойств демонстрируют, например, стальная пружина или теннисный мяч. Пластические свойства (когда форма и размеры не восстанавливаются) проявляет пластилин. Многие строительные материалы обладают одновременно упругими и пластическими свойствами; такие деформации называют упруго-пластическими, и расчеты конструкций с учетом такой реальной работы материала достаточно сложны и имеют свои особенности.*
5. Гипотеза о линейной зависимости между нагрузками и деформациями. *Это допущение означает, что деформации прямо пропорциональны прикладываемым нагрузкам. Тела, подчиняющиеся этой гипотезе, называются линейно деформируемыми.*

В некоторых задачах, рассматриваемых ниже, будут учитываться отличия конкретного материала от идеализированного материала (для которого справедливы перечисленные пять гипотез).

Учебник

Владимир Игоревич **Андреев**
Александр Глебович **Паушкин**
Андрей Николаевич **Леонтьев**

ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Компьютерная верстка: *Д.А. Матвеев*
Редакторы: *А.Г. Паушкин, А.Н. Леонтьев, В.Ш. Мерзлякова*
Дизайн обложки: *Н.С. Романова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Подписано к печати 16.12.12.
Формат 60x90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Усл. 16 п.л. Тираж 1000 экз. Заказ №

ООО «Издательство АСВ», 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26,
отдел реализации – оф. 511, тел., факс: (499)183-56-83,
e-mail: iasv@mgsu.ru, <http://www.iasv.ru/>