

## § 1.5. ВНЕШНИЕ СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИЙ

**Нагрузки.** При работе конструкций их детали и элементы воспринимают внешние силы. Под внешними силами (нагрузками) понимают всякое воздействие на рассматриваемое тело других соприкасающихся с ним тел.

По способу приложения внешние силы делятся на объемные и поверхностные.

*Объемные силы*—это силы, распределенные по всему объему тела. Примеры объемных сил: собственный вес, силы инерции, магнитные силы и т. п.

*Поверхностными силами* называются силы, приложенные по поверхности детали или элемента. Различают четыре основных вида поверхностных сил: 1) силы, непрерывно распределенные по площади; 2) силы, непрерывно распределенные по линии; 3) сосредоточенные силы; 4) сосредоточенные или распределенные по длине моменты сил.

**Силы, непрерывно распределенные по площади.** Примерами нагрузки, распределенной по площади, являются: давление пара или газа в цилиндре двигателя, ветровая и снеговая нагрузки и др. Сплошная поверхностная нагрузка характеризуется *интенсивностью*, т. е. величиной нагрузки, приходящейся на единицу площади. Интенсивность нагрузки измеряется в ньютонах на квадратный метр ( $\text{н/м}^2$ ) или в более крупных (кратных) единицах ( $\text{кн/м}^2$ ,  $\text{Мн/м}^2$ ).

Если интенсивность нагрузки  $q_1$  постоянна (нагрузка распределена равномерно по площади тела), то

$$q_1 = \frac{R}{\omega}, \quad (1.1)$$

где  $R$  — величина нагрузки;  $\omega$  — площадь приложения нагрузки.

Если нагрузка распределена по площади неравномерно, то приходится говорить об интенсивности нагрузки в данной точке:

$$q_1 = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta R}{\Delta\omega}, \quad (1.2)$$

где  $\Delta R$  — величина нагрузки, приходящаяся на бесконечно малую площадку  $\Delta\omega$ , включающую в себя рассматриваемую точку.

**Силы, непрерывно распределенные по линии.** Если поперечные размеры элемента малы по сравнению с длиной, распределенную нагрузку заменяют погонной нагрузкой. Она характеризуется интенсивностью погонной нагрузки  $q$  — величиной нагрузки, приходящейся на единицу длины рассчитываемого бруса. Размерность  $q$  — ньютоны на метр ( $\text{н/м}$ ) или кратные единицы ( $\text{кн/м}$ ,  $\text{Мн/м}$ ). Чаще всего погонная нагрузка — это результат приведения распределенной по площади нагрузки.

На рис. 1.8а показана равномерно распределенная по площади нагрузка интенсивности  $q_1$ , а на рис. 1.8б—равномерно распределенная погонная нагрузка интенсивностью  $q$ . Интенсивность погонной нагрузки  $q$  определяется произведением интенсивности распределенной нагрузки  $q_1$  на ширину бруса  $b$ :

$$q = q_1 \cdot b. \quad (1.3)$$

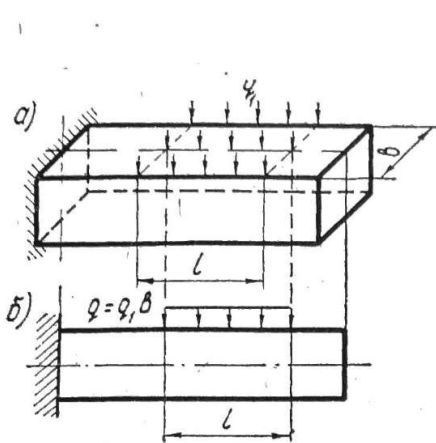


Рис. 1.8

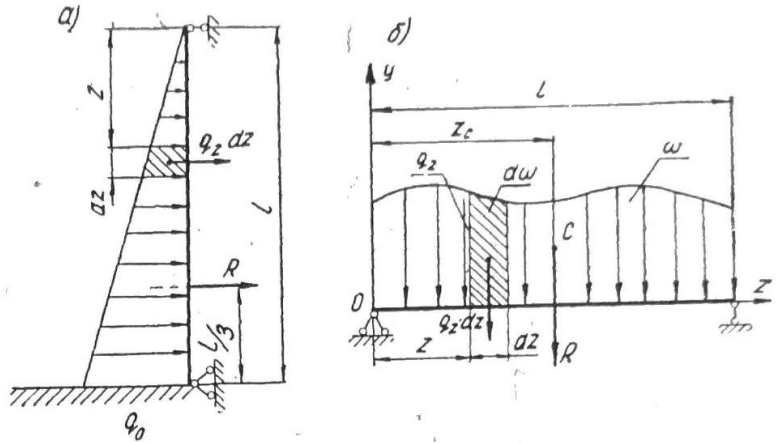


Рис. 1.9

В случае равномерно распределенной погонной нагрузки имеем:

$$q = \frac{R}{l}, \quad (1.4)$$

где  $R$ —равнодействующая распределенной нагрузки,  
 $l$ —длина бруса, по которой эта нагрузка приложена.

Характер изменения  $q$  по длине обычно показывают в виде эпюры (графика). На рис. 1.8б показана эпюра равномерно распределенной по длине балки нагрузки, на рис. 1.9а—эпюра треугольной нагрузки (давление воды на плотину).

Если интенсивность  $q_z$  меняется по произвольному закону (рис. 1.9б), то равнодействующая  $R$  распределенной нагрузки равна площади  $\omega$  эпюры  $q_z$  и проходит через центр тяжести  $C$  эпюры:

$$R = \int_0^l q_z dz = \int_0^l d\omega = \omega. \quad (1.5)$$

По теореме о моменте равнодействующей, момент силы  $R$  относительно оси, проходящей через точку  $O$  (неизвестное пока для силы  $R$  плечо обозначим через  $z_R$ ), равен:

$$R \cdot z_R = \int_0^l q_z dz \cdot z = \int_0^l z d\omega = \omega \cdot z_C,$$

откуда  $z_R = z_C$ .

Момент распределенной нагрузки:

$$M = \int_0^l q_z z dz. \quad (1.6)$$

**Сосредоточенные силы.** Если поверхность соприкосновения между взаимодействующими телами мала по сравнению с размерами самих тел, то в этом случае условно считают силу взаимодействия сосредоточенной в точке касания. Размерность сосредоточенной силы — ньютоны и килоньютоны. Понятие сосредоточенной силы является условным понятием, вводимым для удобства технических расчетов.

**Сосредоточенные или распределенные по длине моменты сил.** Этот вид нагрузки тоже результат абстрагирования от действительного распределения

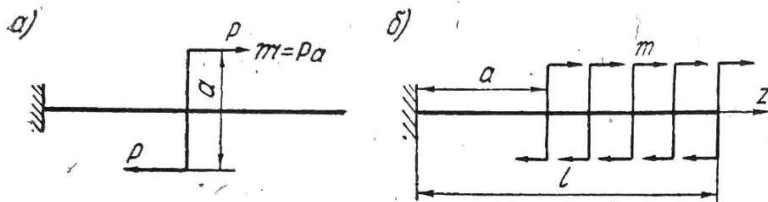


Рис. 1.10

ствительного распределения поверхностной нагрузки. На рис. 1.10а показана нагрузка в виде сосредоточенного момента  $m$ . Сосредоточенный момент имеет размерность — ньютонметр (нм) и килоньютонметр (кнм).

Нагрузка в виде распределенных по длине моментов сил  $m$  дана на рис. 1.10 б). В этом случае интенсивность нагрузки определяется величиной момента, приходящегося на единицу длины, а суммарный момент находится интегрированием:

$$m_{\text{сум}} = \int_0^l m dz \quad (1.7)$$

Размерность  $m$  — ньютонметр на метр (нм/м) или килоньютонметр на метр (кнм/м).

По характеру действия внешние силы делятся на статические и динамические.

Сила называется *статической*, если она возрастает сравнительно медленно от нуля до своего конечного значения, а затем остается постоянной или меняющейся очень незначительно. При действии статической силы ускорения элементов конструкции отсутствуют или весьма малы, так что ими можно пренебречь.

*Динамическими* силами называются такие, которые вызывают значительные ускорения элементов конструкций. Почти все материалы воспринимают динамическую нагрузку намного хуже, чем статическую.

Динамические нагрузки в свою очередь подразделяются на три вида: 1) ударные нагрузки; 2) мгновенно или внезапно приложенные нагрузки; 3) повторно-переменные или циклические нагрузки.

Примером *ударной нагрузки* является нагрузка, испытываемая деталями парового молота при ковке, при этом время действия нагрузки измеряется тысячными долями секунды.

*Внезапно приложенная нагрузка* передается на конструкцию сразу полной своей величиной, так как она возрастает до своего



конечного значения за очень короткий промежуток времени (обычно доли секунды). Такие нагрузки возникают при вхождении железнодорожного состава на мост, при воспламенении горючей смеси в цилиндре двигателя внутреннего сгорания.

*Повторно-переменными нагрузками* называются такие, которые периодически изменяются во времени по величине или по величине и знаку. Повторно-переменные нагрузки испытывают зубья зубчатых колес, шток паровой машины и др.

Кроме приведенной классификации внешних сил, можно подразделять их еще по следующим признакам:

а) по времени действия — на *постоянные*, действующие непрерывно во все время службы конструкции (собственный вес конструкции), и на *временные*, имеющие ограниченную продолжительность действия, например, давление поезда на мост, вес снега и т. п.;

б) по характеру возникновения нагрузки подразделяются на *активные* (известные) и на *реактивные*.

**Способ определения внешних сил.** В большинстве случаев нагрузка, воспринимаемая конструкциями, замеряется либо непосредственно с помощью специальных приборов, либо косвенно по измеренной деформации деталей.

В некоторых случаях силы, действующие на конструкцию или на ее элементы, могут быть определены аналитически (например, собственный вес, реакции опор, силы инерции, давление газов в цилиндре двигателя и др.).

**Расчетная схема.** При расчете конструкций и их элементов на действие внешних сил реальный объект заменяется так называемой расчетной схемой. При составлении расчетных схем допускаются некоторые отступления от действительных условий работы конструкций.

Реальный объект, освобожденный от несущественных особенностей, называется *расчетной схемой*. Для одного и того же объекта возможно несколько вариантов расчетных схем, в зависимости от цели и требуемой точности расчета.

В качестве примера на рис. 1.11 а показана реальная балка, а на рис. 1.11 б — соответствующая ей расчетная схема. Брус при составлении расчетной схемы заменен его осью с идеализированными опорами. Нагрузки, приложенные к небольшим площадкам поверхности бруса, заменены сосредоточенной силой и перенесены на ось бруса. Так как в действительности внешние

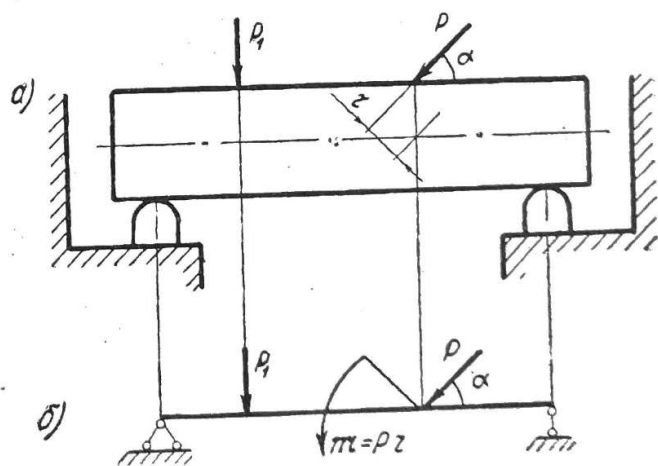


Рис. 1.11

силы приложены к поверхности бруса, а не к его оси, то при переносе сил на ось бруса появился сосредоточенный момент. Точки приложения сил и сосредоточенных моментов на оси бруса располагаются в тех же поперечных сечениях, в которых приложены силы.

Указанная схематизация основывается на так называемом *принципе Сен-Венана*. Согласно этому принципу в точках тела, достаточно удаленных от места приложения нагрузки (превышающем в 1—1,5 раза наибольший линейный размер загруженной площадки), внутренние силы не зависят от конкретного способа осуществления нагрузки, а зависят лишь от ее статического эквивалента. Такая замена скажется лишь на величине и характере местных деформаций, но не повлияет на общие деформации в местах, достаточно удаленных от точек приложения нагрузки. Принцип Сен-Венана подтверждается экспериментальными данными и точными теоретическими решениями.

При расчете сложных инженерных конструкций составление расчетной схемы требует от проектировщика большого опыта и искусства.

*В выборе расчетной схемы и определении всех внешних сил, действующих на рассчитываемый элемент конструкций, и состоит первый этап решения задачи о прочности.*

пр 2-й этап: с. 28  
3-й этап: с. 33.

## § 1.6. ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ В ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЯХ БРУСА

**Основные понятия.** Внутри любого материала имеются внутренние силы межуатомного сцепления. Эти силы являются первопричиной прочности твердого тела.

Под действием внешних сил тело деформируется, вследствие чего меняется взаимное расстояние между отдельными частицами материала. Это вызывает в теле изменение (увеличение или уменьшение) внутренних сил, т. е. появление дополнительных сил взаимодействия между частицами тела. Эти дополнительные внутренние силы и изучаются в сопротивлении материалов.

Итак, *внутренними силами*, или *силами упругости*, называются силы взаимодействия между отдельными частицами тела, возникающие при его деформировании под действием внешних сил.

Говоря о внутренних силах, мы всегда будем иметь в виду дополнительные силы, не принимая во внимание силы молекулярного взаимодействия между частицами ненагруженного тела. Это равносильно принятию допущения, что в теле до приложения к нему внешних нагрузок нет внутренних (начальных) сил (*гипотеза о ненапряженном начальном состоянии тела*).

В природе не существует материалов, для которых это предположение строго выполняется. Так в стальных деталях возникают внутренние усилия из-за неравномерного нагревания (остыва-