**ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

**Значение курса «Прикладная механика» в формировании**

**инженера химика-технолога**

Современное химическое производство невозможно без различных высокоэффективных машин и аппаратов, различных сооружений и коммуникаций. Химическое предприятие представляет собой сложный комплекс, состоящий их отдельных цехов, участков и установок, соединенных между собой системой трубопроводов и транспортеров. В технологическую схему объединены различные машины и аппараты. При различии технологического назначения и внутреннего устройства аппараты имеют схожее внешнее конструктивное оформление. Чаще всего это горизонтальные или вертикальные цилиндрические сосуды, снабженные внешней трубопроводной обвязкой и дополнительными устройствами.

Машины и аппараты, приборы и устройства состоят из деталей.

***Деталь*** *– элемент конструкции, изготовленный из одного материала без применения сборочных операций.*

В каждом аппарате или машине число деталей составляет сотни. Однако большинство деталей, узлов и элементов конструкции являются типовыми (стандартными). К их числу относятся различные соединения (резьбовые, сварные, клеевые и др.), передачи (зубчатые, винтовые, ременные и др.) и их детали, валы, муфты и опоры, уплотнения, обечайки, днища, мешалки и др.

Для изучения типовых элементов конструкций и химического оборудования, необходимо рассмотреть основные требования, предъявляемые к ним, уметь от конкретной конструкции перейти к расчетной схеме, знать механические свойства материалов и методы расчета.

**Основные требования, предъявляемые к химическому**

**оборудованию**

Для того чтобы машины и аппараты были работоспособны, выполняли заданные функции с параметрами, установленными нормативно-технической документацией, они должны удовлетворять следующим критериям работоспособности: прочности, жесткости, устойчивости, виброустойчивости, герметичности, коррозионной стойкости, износостойкости, теплостойкости и др.

Выбор определенных критериев зависит от условий эксплуатации и назначения машины или аппарата.

В курсе прикладной механики подробно остановимся на первых трех критериях работоспособности.

***Прочность*** *– способность тела, детали, элемента конструкции сопротивляться разрушению под действием приложенной системы сил.*

***Жесткость*** *– это способность элементов конструкции сопротивляться деформации под действием приложенной системы сил.*

***Устойчивость*** *– способность элемента конструкции сохранять первоначальную заданную форму под действием приложенной системы сил.*

**Элементы статики**

Прежде чем переходить к описанию и расчетам элементов конструкций машин и аппаратов, необходимо вспомнить основные понятия статики, которые будут использоваться в дальнейшем.

***Статика*** *– часть теоретической механики, изучающая условия, при которых тело находится в равновесии (находится в покое).*

В теоретической механике предполагают, что тела абсолютно твердые и физико-механические свойства их не учитывают.

***Абсолютно твердое тело*** *– тело, в котором расстояние между любыми его точками не изменяется при действии на него других тел.*

Тела взаимодействуют между собой или с окружением. Механическое взаимодействие тел характеризуется силами.

***Сила*** *– мера механического взаимодействия тел, является величиной векторной.*

Условия, при которых тело может находиться в равновесии, основаны на основных аксиомах статики (сформулированы И. Ньютоном):

– силы взаимодействия между собой двух тел всегда равны по модулю и направлены по одной прямой в противоположные стороны;

– механическое состояние твердого тела не нарушится от перенесения силы вдоль линии ее действия (следствие из аксиом).

В случаях, когда на тело действуют больше трех сил или направление некоторых сил неизвестно, при решении задач используют аналитическое условие равновесия, которое основано на методе проекций (рис. 1.1).

***Проекция силы на ось*** *– отрезок оси, заключенный между двумя перпендикулярами, опущенными на ось из начала и конца вектора силы.*

*F*

*Fy*

*Fx*

*Fx=F*cos

*Fy=F*sin



*y*

*x*

*Fy=F*

*F*

*Fx*=0

*F*

*Fx*=-*F*

*Fy=0*

*y*

*y*

+

+

*а*

*б*

*в*

Рис. 1.1. Метод проекций сил на оси

Равнодействующая системы параллельных сил равна их алгебраической сумме

. 1.1

***Правило знаков****: если направление проекции сил на ось координатной системы совпадает с направлением этой оси, то ее принимают со знаком «+», в ином случае – со знаком «–» (рис. 1.1, б, в).*

Плоская система распределенных сил характеризуется ее интенсивностью. Распределенная нагрузка, имеющая постоянную интенсивность, называется равномерно распределенной.

***Интенсивность*** *– сила, приходящаяся на единицу длины нагруженного участка.*

При решении задач статики распределенную нагрузку заменяют ее равнодействующей. Приложена равнодействующая в середине отрезка распределения (рис. 1.2).

*q*

*Qq*

*l*/2

*l*

Рис. 1.2. Равномерно распределенная нагрузка и ее равнодействующая

Модуль равнодействующей равномерно распределенной нагрузки равен

 , 1.2

где *Qq* – равнодействующая равномерно распределенной нагрузки, *q* – интенсивность распределения, *l* – длина участка распределения.

Вращательное действие силы характеризуется моментом силы.

***Моментом силы*** *относительно точки называется произведение модуля силы на ее плечо (рис. 1.3).*

*F*

т*. A*

*h*

*MA=F⋅h*

Рис. 1.3 Понятие момента от силы

Момент силы относительно точки, лежащей на линии действия этой силы, равен нулю, так как в этом случае плечо равно нулю. Момент силы относительно точки не меняется при переносе силы вдоль линии ее действия, так как модуль силы и плечо остаются неизменными.

***Правило знаков****: считают, что момент силы положительный, если сила стремится вращать свое плечо вокруг центра момента против часовой стрелки, и наоборот. Одна и та же сила относительно разных точек может давать и положительный и отрицательный момент.*

Для равновесия пространственной системы произвольно расположенных сил необходимо и достаточно, чтобы алгебраическая сумма проекций всех сил на оси *x*, *y* и *z* равнялась нулю и чтобы алгебраическая сумма моментов всех сил относительно каждой из этих осей также равнялась нулю. Основные уравнения равновесия (статики) записываются в виде:

  1.3

**Механика деформируемых тел**

Все рассмотренные в предыдущем параграфе положения относятся к абсолютно твердому недеформируемому телу. В реальности таких тел не существует. Все тела под действием приложенных к ним внешних нагрузок в той или иной степени деформируются, а в некоторых случаях происходит разрушение конструкции.

***Деформация*** *– изменение размеров или формы тела под действием внешних нагрузок.*

Деформации, возникающие при действии обычных эксплуатационных нагрузок, невелики, и их можно обнаружить только специальными приборами. Небольшие деформации не оказывают существенного влияния на законы равновесия, однако, без их изучения невозможно решить важную для практики задачу, при каких условиях может произойти разрушение детали или при каких условиях деталь может безопасно работать.

Под действием приложенных нагрузок элементы конструкций деформируются. В процессе эксплуатации возникают следующие основные деформации: растяжение, сжатие, сдвиг, кручение и изгиб.

*Растяжение* испытывают трубопроводы, оболочки под воздействием внутреннего давления, сварные швы, болты с зазором, канаты, тросы, ремни, цепи.

На *сжатие* работают колонны гидропрессов, нажимные плиты щековых дробилок, кирпичная и бетонная кладка, стенки вакуумныи аппаратов, трубки кожухотрубчатого теплообменника, сварные швы.

Деформацию *сдвига* испытывают заклепки, болты без зазора, шпонки, сварные швы. Деформацию сдвига, доведенную до разрушения материала, называют *срезом*. Срез возникает при резке ножницами или штамповкн деталей из листового материала.

На *кручение* работают валы перемешивающих устройств, валы центрифуг, дробилок, вальцов, каландров, аппараты барабанного типа, вращающиеся печи. Обычно деформация кручения сопровождается изгибом.

На *изгиб* работают балки, трубопроводы, оси, зубья зубчатых колес и конструкции, указанные выше при рассмотрении кручения.

**Основные допущения и принципы сопротивления материалов**

Приступая к расчету элемента конструкции необходимо установить, что является существенным и что несущественным для расчета. Для этого следует произвести схематизацию объекта, отбросить второстепенные факторы, а затем создать расчетную схему объекта.

***Расчетная схема*** *– реальный объект, освобожденный от несущественных факторов.*

Если, например, требуется произвести расчет на прочность вала мешалки, то в первую очередь надо учесть гидродинамические силы, возникающие при перемешивании, силы инерции, вызванные эксцентриситетом вала и мешалки, массу вала и мешалки. В то же время можно не учитывать влияние давление внутри аппарата, способа крепления мешалки к валу и т.п.

Для одного и того же объекта может быть предложено несколько расчетных схем, в зависимости от того, что интересует инженера-технолога в данном конкретном случае.

При выборе расчетной схемы вводят упрощения в геометрию реальных объектов, схематизацию приложенных нагрузок, свойств материала и характера деформирования твердого тела.

**Упрощения в геометрии объекта.**

Основным упрощающим приемом является приведение геометрической формы элемента конструкции к схеме бруса или оболочки.

***Брус*** *– тело, у которого одно измерение (линейный размер) гораздо больше двух других (рис. 1.5).*

***Ось бруса*** *– это линия, которая соединяет центры тяжести (рис. 1.5, 1) его поперечных сечений (рис. 1.5, 2).*

Брус может иметь постоянное или переменное сечение. В зависимости от формы оси брус может быть прямым (рис. 1.5, а) или кривым (рис. 1.5, б).

*l*

*h*

*b*

*1*

*2*

*3*

*б*

*a*

*а*

*a*

Рис. 1.5. Брус: *а* – прямой, *б* – кривой.

*1* – центр тяжести, *2* – поперечное сечение, *3* – ось бруса

Брус с прямолинейной осью, нагруженный силами вдоль оси, называется *стержнем* (рис. 1.6, а), при поперечном нагружении – *балкой* (рис. 1.6, б).

На рис. 1.7 и 1.8 приведены примеры реальных объектов и их расчетных схем в виде стержней и балок.

*F*

*F*

*a*

*a*

*б*

*a*

Рис. 1.6. Схематизация геометрических элементов: *а* – стержень, *б* – балка

*l*

*F*

*F*

*a*

*a*

*б*

*б*

*a*

Рис. 1.7. Трубки кожухотрубчатого теплообменника:

*а* – расчетная схема в виде стержня, *б* – реальный объект

*a*

*a*

*б*

*б*

*a*

Рис. 1.8. Трубопровод:

*а* – реальный объект, *б* – расчетная схема в виде балки

***Оболочка*** *– тело, ограниченное двумя криволинейными поверхностями, одно из измерений которого (толщина) значительно меньше двух других (рис. 1.9, а).*

К схеме оболочки сводятся такие конструктивные элементы, как стенки сосудов для хранения жидкостей, газов и сыпучих материалов (стенки резервуаров, бункеров, химических аппаратов, реакторов, стенки кожухотрубчатых теплообменников и т.п.), листовые конструкции (кожух воздухонагревателя, пылеуловителя), купола и своды зданий.

Если при тех же соотношениях размеров тело ограничено параллельными плоскостями, то оно называется *пластиной* (рис. 1.9, б).

*l*

*l*

*b*

*b*

*t*

*t*

*a*

*a*

*б*

*a*

Рис. 1.9. Геометрические элементы:

*а* – оболочка, *б* – пластина.

**Схематизация нагрузок.**

При схематизации реальных машин и аппаратов делают упрощения и в системе сил, приложенных к элементу конструкции.

Внешние силы делят на активные силы и реакции связей. Активные внешние силы называют нагрузками.

*Нагрузки, действующие на конструкции и их элементы извне, называют* ***внешними****.*

Если внешние силы являются результатом непосредственного взаимодействия элемента в другими телами (твердыми, жидкими, газообразными), то они прикладываются только по площадкам контакта и называются *поверхностными*. Сюда можно отнести: давление жидкости или газа на стенки сосудов, снеговая нагрузка на кровлю здания, ветровая нагрузка и др.

Так как соприкосание реальных (деформируемых) тел всегда происходит не в точке, а по некоторой, пусть даже очень малой, площадке, то все поверхностные нагрузки являются распределенными. Однако, когда площадка контакта пренебрежимо мала по сравнению с размерами нагруженнаемого элемента, вводят понятие *сосредоточенной* силы как равнодействующей давления по указанной площадке (например сила, обусловленная давлением обода колеса на рельс).

В практических расчетах часто встречается нагрузка, арспределенная по длине элемента конструкции. Так, например, на каждую промежуточную балку перекрытия здания приходится полоса поверхностной нагрузки, равномерно распределенной по длине балки. Такая нагрузка называется *равномерно распределенной* и графически изображается в виде прямоугольника с интенсивностью распределения *q* (см. рис. 1.8).

В процессе расчетной схематизации реальные нагрузки не всегда могут быть сведены к сосредоточенным и распределенным силовым воздействиям. Возможны и моментные воздействия – в виде сосредоточенных моментов и моментов, распределенных по длине элемента или его поверхности как результат действия пары сил.

В Международной системе единиц (СИ) единицы нагрузок следующие:

– силы в ньютонах (Н, чаще в килоньютонах, кН=103⋅Н);

– моменты в Н⋅м (иногда в кН⋅м);

– давление в паскалях (Па=Н/м2, чаще в МПа=106⋅Па);

– интенсивность распределенной нагрузки в Н/м (чаще кН/м).

*По характеру действия* принято различать статические, динамические и повторно-переменные нагрузки.

***Статическая нагрузка*** *прикладывается к объекту постепенно с небольшой скоростью (ускорение ≈0) и с течением времени не изменяется (например, нагрузка от собственного веса, снеговая нагрузка).*

***Динамическая нагрузка*** *зависит от ускорения взаимодействующих элементов конструкций и изменяется во времени с большой скоростью (например, ударные нагрузки).*

***Повторно-переменная нагрузка*** *изменяется циклически с течением времени.*

Все элементы в реальных конструкциях соединяются между собой и с основанием различными способами. При взаимодействии нескольких тел образуются связи между ними.

***Связями*** *называются ограничения, налагаемые на положения и скорости точек в пространстве.*

***Опора*** *это тип связи между контактирующими телами.*

Сила, с которой тело действует на связь, называется *силой давления*; сила, с которой связь действует на тело, называется *силой реакции* (*реакция*). Эти силы равны по модулю и действуют по одной прямой в противоположных направлениях. Силы реакции и давления приложены к различным телам и поэтому не представляют собой систему сил.

При решении задач статики по упрощенным расчетным схемам несвободное тело условно изображают как свободное, т.е. освобождают тело от связей, заменяя их реакциями.

Различают следующие типы закреплений и возможные реакции связей:

*Цилиндрический шарнир* – соединение двух или более тел посредством цилиндрического стержня, так называемого пальца, вставленного в отверстия в этих телах.

– *подвижная шарнирная опора* (подвижный шарнир). Такая опора не препятствует вращению конца балки и его перемещению вдоль плоскости качения (рис. 1.10). Подвижные опоры дают возможность балке изменять свою длину.

*Реакция R подвижного шарнира всегда* ***направлена перпендикулярно опорной поверхности.***



Рис. 1.10. Условное обозначение шарнирно-подвижной опоры с реакциями

– *неподвижная шарнирная опора* (неподвижный шарнир). Такая опора допускает вращение конца балки, но ограничивает поступательное перемещение в любом направлении (рис. 1.11).



Рис. 1.11. Условное обозначение шарнирно-неподвижной опоры с реакциями

Реакция *R* неподвижного шарнира представляется в виде двух взаимно перпендикулярных составляющих в проекциях на оси принятой системы координат (*Rx* и *Ry*). Модуль *R* определяется по формуле:

 . 1.4

*– жесткая заделка или защемление*. Такое закрепление не допускает ни линейных, ни угловых перемещений опорного сечения (рис 1.12).



Рис. 1.12. Условное обозначение защемления с реакциями

В защемлении возникает силовая реакция *R*, которая представляется в виде двух взаимно перпендикулярных составляющих в проекциях на оси принятой системы координат (*Rx* и *Ry*) и реактивный момент (момент защемления) *MR*.

Для определения реакций необходимо составить *уравнения равновесия сил.*В общем случае, *для пространственной системы произвольно расположенных сил,* записывают шесть уравнений равновесия в пространственной декартовой системе координат (см. выше и подробнее в раздела теоретической механики).

**Схематизация свойств материалов.**

При выборе модели материала учитывают наиболее значимые факторы и отбрасывают несущественные, мало влияющие на условия функционирования элементов конструкции.

Принимают основные гипотезы, касающиеся свойств материалов, получившие экспериментальное подтверждение.

1. *Материал имеет непрерывное строение в виде сплошной среды.* Таким образом, не принимается во внимание дискретная, атомистическая структура вещества. Это допущение оправдано с практической точки зрения, т.к. большинство материалов имеет настолько мелкозернистую структуру, что без существенных погрешностей можно считать их строение сплошным и непрерывным, это объясняется тем, что размеры реальных деталей во много раз больше межатомных расстояний.

2. *Материал однороден и обладает одинаковыми свойствами во всех точках и во всех направлениях (изотропен).* Данное предположение относится к большинству материалов, однако существуют исключения. Например, стеклопластики, древесина и др.

3. *В материале до приложения внешней нагрузки нет внутренних усилий,* т.е. предполагается отсутствие остаточных температурных, технологических и др. напряжений*.* Это утверждение полностью не выполняется ни для одного материала, однако считают их несущественными для приближенных расчетов.

4. *Материал обладает линейной упругостью.*

***Упругость*** *– свойство материала восстанавливать свою форму после снятия внешней нагрузки.*

Деформации, полностью исчезающие после снятия нагрузки называются упругими в отличие от пластических (остаточных), которые не исчезают.

Линейная упругость означает, что деформация прямо пропорциональна нагрузке (закон Гука).

**Схематизация характера деформирования твердого тела.**

Рассмотрим гипотезы и допущения, связанные с деформациями элементов конструкции.

1. *Принцип неизменности размеров (начальных размеров).* Деформации элементов конструкций под нагрузкой столь малы, что их размеры можно считать постоянными, а взаимное расположение нагрузок – неизменным. Так, например, не учитывают смещение Δ*z* линии действия силы *F* (рис. 1.13, а).

*F*

*Δ z*

*a*

*a*

*b*

*a′*

*b′*

*90°*

*90°*

*b*

Рис. 1.13 Деформации элементов конструкции:

*а* – принцип начальных размеров, *б* – гипотеза плоских сечений

2. *Допущение о линейной деформируемости тела* – перемещения точек и сечений тела в известных пределах нагружения прямо пропорциональны силам их вызывающим.

3. *Гипотеза плоских сечений* (гипотеза Бернулли) – плоские поперечные сечения проведенные в теле до деформации (до приложения нагрузки) остаются при деформации плоскими и нормальными к оси (рис. 1.13, б).

4. *Принцип независимости действия сил (принцип суперпозиции).* Результат воздействия системы сил на элемент конструкции равен сумме результатов воздействий тех же сил, прилагаемых в отдельности, и не зависит от последовательности приложения. Этот принцип применим к деформируемым телам только при условии выполнения всех предыдущих допущений. Он позволяет расчленить сложные задачи на более простые.

5. *Принцип Сен-Венана (принцип смягчения граничных условий)*. В точках элемента конструкции, достаточно удаленных от места приложения нагрузок, величина внутренних сил не зависит от способа приложения этих нагрузок.

*Исходя из данного принципа, внутренние силы в точке приложения внешних нагрузок будут изменяться* ***скачкообразно****.*

Перечисленные гипотезы, допущения и упрощения являются основополагающими, но они не исчерпывают всевозможных приемов идеализации изучаемых объектов.

**Внутренние силовые факторы (внутренние силы)**

В недеформированном состоянии, т.е. при отсутствии внешних воздействий, связность тела обусловлена силами взаимодействия атомов. Эти силы стремятся сохранить тело как единое целое, препятствуя любой попытке изменить взаимное расположение атомов и таким образом деформировать тело.

Внешние воздействия, наоборот, стремятся вызвать деформирование тела путем изменения межатомных расстояний, взаимного расположения атомов и сил взаимодействия. Сплошное однородное тело (см. гипотезы и допущения) не имеет в своем составе взаимодействующих частиц, и его целостность обеспечивают внутренние связи.

При действии внешних сил на элемент конструкции он деформируется, расстояния между атомами или молекулами изменяются, изменяется и межмолекулярное (межатомное) взаимодействие. Дополнительные силы межатомного взаимодействия, возникающие в элементе конструкции под действием внешних нагрузок, называют внутренними силами или внутренними силовыми факторами. При возрастании внешних сил увеличиваются и внутренние, но лишь до определенного предела, выше которого наступает разрушение элемента конструкции.

*Внутренние усилия являются непосредственной причиной разрушения любого элемента конструкции.*

**Метод сечений**

Внутренние силы, возникающие в теле под действием нагрузки – силы непрерывно распределенные (в соответствии с допущением о непрерывности материала тела). Эти внутренние силы приводятся к равнодействующей усилий и моментов, которые представляют собой составляющие главного вектора и главного момента внутренних сил (подробнее см. курс теоретической механики).

Для определения внутренних силовых факторов применяют *метод сечений*.

***Метод сечений*** *заключается в том, что тело мысленно разрезается плоскостью на две части, любая из которых отбрасывается и взамен нее к сечению оставшейся части прикладываются внутренние силы, действовавшие до разреза; оставленная часть рассматривается как самостоятельное тело, находящееся в равновесии под действием внешних и приложенных к сечению внутренних сил.*

Очевидно, что, согласно третьему закону Ньютона, внутренние силы, действующие в сечении оставшейся и отброшенной частей тела, равны по модулю, но противоположны по направлению. Таким образом, рассматривая равновесие любой из двух частей рассеченного тела, получим одно и тоже значение внутренних сил.

***Выгоднее рассматривать*** *ту часть тела, для которой уравнения равновесия проще.*

Так как основным расчетным элементом в прикладной механике является брус, и чаще всего нас будут интересовать внутренние силы в его поперечном сечении, то рассмотрим именно этот геометрический элемент.

Элемент конструкции в виде бруса, находящийся в равновесии (рис. 1.15, а), в интересующем нас месте мысленно рассекаем плоскостью. Затем одну из частей отбрасываем. Внешние нагрузки, приложенные к оставшейся части более не находятся в равновесии. Для восстановления равновесия в сечении должны быть приложены силы, с которыми отброшенная часть бруса действовала на оставшуюся часть, т.е. внутренние силы.

*F1*

*F2*

*F3*

*F4*

*F5*

*F5*

*F4*

*M*

*q*

*q*

*x*

*y*

*z*

*Qz*

*Qy*

*N*

*Mz*

*My*

*T*

*a*

*a*

*б*

*б*

*a*

Рис. 1.15 Схемы внешних (*а*) и внутренних (*б*) сил в брусе

Обозначим систему координат *xyz* с началом отсчета в центре тяжести поперечного сечения: ось *x* – продольная ось бруса; оси *y* и *z* – главные оси инерции сечения тела. Как всякую систему сил, внутренние силы можно привести к центру тяжести сечения, тогда получим результирующую силу (*главный вектор силы*) и результирующий момент (*главный момент*).

Спроектировав на главные центральные оси координат *x*, *y* и *z*, получим 6 внутренних силовых факторов (рис. 1.15, б): 3 силы (*N*, *Qy*, *Qz*) и 3 момента (*Mx, My, Mz*). Полученные *проекции главного вектора силы* и *главного момента* на оси и плоскости называются ***внутренними силовыми факторами*** (ВСФ).

*Продольная (нормальная*) сила *N* представляет собой сумму проекций всех внутренних сил в сечении на ось *x* (ось *x* совмещена с осью бруса и направлена в сторону внешней нормали). *Поперечные силы* *Qy*, *Qz* – суммы проекций всех внутренних сил в сечении на соответствующие оси. *Крутящий момент* *T* – это сумма моментов всех внутренних сил в сечении относительно оси *x*. *Изгибающие моменты* *My, Mz* – это суммы моментов всех внутренних сил в сечении относительно соответствующих осей.

Определение внутренних силовых факторов производится с помощью уравнений статики:

– *продольная (нормальная) сила* численно равна алгебраической сумме проекций всех внешних сил, действующих на одну из частей рассеченного бруса, на ось *x*

 ; 1.5

– *поперечные силы* численно равны алгебраической сумме проекций всех внешних сил, действующих на одну из частей рассеченного бруса, на ось *y* или *z* соответственно

 ; 1.6

– *крутящий момент* численно равен алгебраической сумме моментов всех внешних сил, действующих на одну из частей рассеченного бруса, относительно оси *x*

 ; 1.7

– *изгибающие моменты* численно равны алгебраической сумме моментов всех внешних сил, действующих на одну из частей рассеченного бруса, относительно осей *y* и *z* соответственно

 . 1.8

**Понятие о напряжениях**

Определение внутренних сил в сечениях элемента конструкции необходимо в первую очередь для оценки его несущей способности. Однако усилия, найденные методом сечений, являются только рав*нодействующими* внутренних сил, которые распределены по рассматриваемому сечению. Интенсивность внутренних сил может быть различной в разных точках сечения и в разном направлении. Чтобы судить о прочности, необходимо знать наибольшие силы, возникающие в отдельных точках сечения.

Для того чтобы оценить *интенсивность* внутренних сил в определенной точке, вводится понятие напряжения. Напряжение характеризует интенсивность внутренних сил, действующих в сечении на единицу площади.

Рассмотрим сечение произвольного бруса (рис. 1.16, а). Выделим в окрестностях рассматриваемой точки площадку *dA*. Пусть Δ*R* равнодействующая внутренних сил, действующих на данную малую площадку.

*z*

*z*

τ*z*

τ*y*

σ

Δ*R*

*y*

*x*

*dA*

*x*

*y*

τ

*p*

*a*

*a*

*б*

*б*

*a*

Рис. 1.16. Равнодействующая внутренних сил (а) и напряжения (б) на элементарной площадке сечения

Среднее значение внутренних сил Δ*R*, приходящихся на единицу площади *dA* рассматриваемой площадки, будет равно

 . 1.9

Величина *p*ср называется средним напряжением и характеризует среднюю интенсивность внутренних сил. Уменьшая размеры площади, в пределе получим

 . 1.10

Величину *p* называют истинным напряжением или просто напряжением в данной точке сечения.

***Напряжение*** *– внутренняя сила, приходящаяся на единицу площади в данной точке конкретного сечения.*

Напряжение, как и давление, имеет размерность силы, деленной на площадь поперечного сечения: . Единица напряжений в Па очень мала, и в расчетах используют более крупную кратную единицу – мегапаскаль (МПа= 106⋅Па), иногда – гигапаскаль (ГПа=109⋅Па).

**Составляющие полного напряжения.**

Проекцию полного напряжения (рис. 1.16, б) на ось, нормальную к плоскости сечения, называют *нормальным* напряжением и обозначают греческой буквой σ (сигма). Проекции полного напряжения, располагающиеся в плоскости сечения, называют *касательными* напряжениями и обозначают греческой буквой τ (тау).

Так как угол между нормальными и касательными напряжениями равен 90°, то модуль полного напряжения определяют по формуле:

 . 1.11

Касательное напряжения, в зависимости от действующих сил может иметь любое направление в плоскости сечения.

Для упрощения понимания касательное напряжение τ раскладывают на две составляющие в виде проекций на главные оси сечения – τ*x* и τ*y*.

Принятые обозначения напряжений показаны на рис. 1.16, б.