

# 1. ВВЕДЕНИЕ

## 1.1 Предмет строительная механика

**Строительная механика** – раздел технической механики, изучающий методы определения **напряжённо-деформированного состояния** сооружений.

**Напряжённо-деформированное состояние (НДС)** – информация о **перемещениях, деформациях и напряжениях** (или **внутренних усилиях**), возникающих в любой точке сооружения. Знание НДС необходимо для оценки **прочности, жёсткости и устойчивости** сооружения и его отдельных элементов.

## 1.2 Расчётные схемы. Многообразие расчётных схем.

**Расчётная схема** – используемая для расчёта модель реального сооружения (или конструкции), полученная путём его мысленного упрощения и идеализации.

Простейшим примером расчётной схемы, известным из школьного курса физики, является математический маятник (рис.1.1), представляющий собой воображаемую (математическую, виртуальную) модель реального маятника. В этой модели, как известно, нить маятника считается нерастяжимой, масса – точечной, трением в местах сопряжения его элементов и сопротивлением среды пренебрегается. В модели с определённой точностью задаются значениями длины нити и массы маятника. Эти упрощения и гипотезы нужны для того, чтобы сделать возможным составление уравнений колебаний маятника, решив которые, можно с некоторой (небольшой) погрешностью спрогнозировать положение реального маятника в любой момент времени при заданных внешних воздействиях.

Аналогичным образом, в строительной механике создаётся расчётная схема рассчитываемого сооружения, представляющая собой его математическую модель. На основе решения уравнений, описывающих данную модель, с той или иной степенью точности определяют НДС реального сооружения.

Одно и то же сооружение может быть смоделировано при помощи разных расчётных схем. В современных условиях, когда расчёт сооружений выполняется с помощью компьютера, основной задачей инженера является грамотный выбор расчётной схемы (модели). Ошибки, допущенные при формировании расчётной схемы, могут привести к получению результатов, не имеющих ничего общего с действительностью.

В частности, при создании расчётной схемы сооружения нужно принять решение о том, как будет моделироваться его взаимодействие с основанием, как будут моделироваться узлы сопряжения различных его элементов (например, как жёсткие или шарнирные), какие элементы сооружения, отверстия в стенах и перекрытиях, нагрузки следует учесть в расчётной схеме, а какими можно пренебречь, какими свойствами наделяются материалы, и т.д.

Грамотный выбор расчётной схемы невозможен без соответствующих знаний, опыта расчётов, а также, в определённой степени, инженерной интуиции.

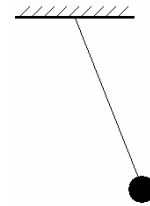
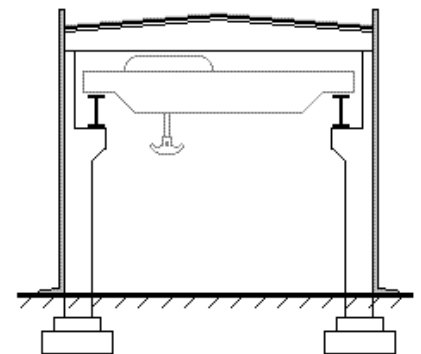


Рис.1.1 Математический маятник



Одна из возможных расчётных схем здания

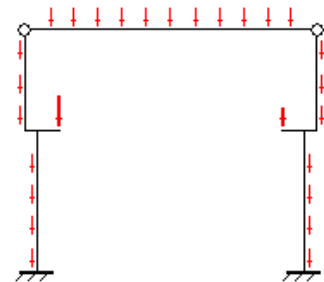


Рис.1.2 Пример формирования расчётной схемы здания

### 1.3 Элементы расчётных схем сооружения, используемые в строительной механике

**Стержень** – элемент, один размер которого намного превышает два других (рис.1.3). В расчётных схемах стержень заменяют его осью. В стержнях неизвестные задачи строительной механики, например перемещения, можно считать функциями одной координаты (рис.1.4).

При помощи стержней моделируют, например, колонны и ригели каркаса зданий, подкрановые балки.

**Пластина** – элемент, один размер которого намного меньше двух других (рис.1.5). В расчётных схемах пластину заменяют её срединной плоскостью (поверхностью, находящейся посередине между верхней и нижней поверхностями пластины). В пластинах неизвестные задачи строительной механики, например перемещения, можно считать функциями двух координат (рис.1.6). Криволинейные пластины называют **оболочками** (рис.1.7).

При помощи пластин моделируют, например, плиты перекрытий и стены зданий, фундаментные плиты.

При помощи оболочек моделируют, например, арочные плотины, покрытия арочной или купольной формы, например защитные оболочки реакторных отделений АЭС.

**Массивы (трёхмерные тела)** – элементы, все размеры которого соизмеримы (рис.1.8). В массивах неизвестные задачи строительной механики, например перемещения, приходится рассматривать как функции трёх координат.

При помощи массивов моделируют, например, гравитационные плотины, массивные фундаменты, массивы грунта в основании сооружений.

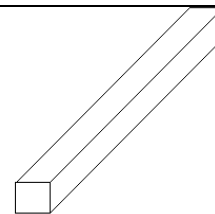


Рис.1.3. Стержень

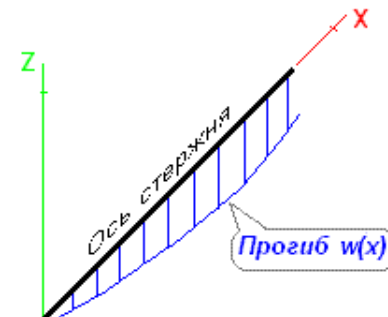


Рис.1.4. Прогиб стержня как функция одной переменной

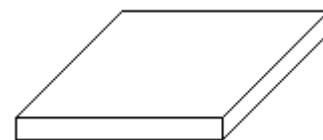


Рис.1.5. Пластина

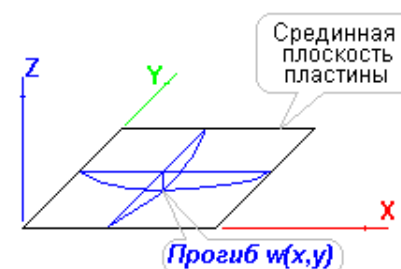


Рис.1.6. Прогиб пластины как функция двух переменных

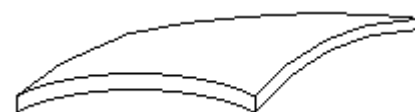


Рис.1.7. Оболочка

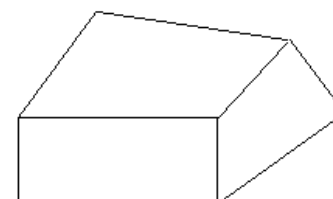


Рис.1.8. Массив

#### 1.4 Стержневые системы. Их виды.

**Стержневая система** – расчётная схема сооружения, состоящая только из стержней. К стержневым системам относятся: **однопролётные балки, многопролётные балки**, плоские и пространственные **рамы**, плоские и пространственные **фермы**, **арки** и **кольцевые системы**, а также **комбинированные системы** (рис.1.9 – рис.1.14).

Раздел строительной механики, изучающий методы определения НДС в стержневых системах, называется **строительной механикой стержневых систем**. Раздел строительной механики, изучающий методы определения НДС в трёхмерных телах, пластинах и оболочках, называется **теорией упругости**.



Рис. 1.9. Однопролётная балка



Рис.1.10. Многопролётная балка



Рис.1.11. Плоская рама



Рис.1.12. Плоская ферма

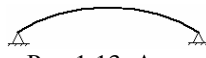


Рис.1.13. Арка




Рис.1.14. Пример комбинированной системы (арочная ферма)

#### 1.5 Воздействия на сооружения.

Воздействия на сооружения бывают **силовыми, температурными и кинематическими** (неравномерное смещение опор).

Кроме того, выделяют **статические** и **динамические** воздействия.

**Динамическим воздействием** называют такое переменное во времени воздействие, при котором возникают силы инерции, пренебрегать которыми нельзя. В противном случае воздействие является **статическим**.

Например, снеговую нагрузку следует отнести к статической, поскольку она, хоть и является переменной во времени (зимой присутствует, летом – нет), меняется настолько медленно, что о вызываемых ею силах инерции говорить несерьёзно. В то же время, пульсации ветра, навал судна на причальное сооружение, землетрясение, взрывная волна относятся к динамическим воздействиям, поскольку вызывают появление значительных сил инерции, действующих на элементы сооружения.

Раздел строительной механики, рассматривающий поведение сооружений при динамических воздействиях, называется **динамикой сооружений**.

#### 1.6 Степени свободы.

Рассмотрим элемент бесконечно малых размеров, мысленно вырезанный из сооружения.

Число независимых параметров, однозначно определяющих его положение в пространстве (для плоских элементов – на плоскости), называется **числом его степеней свободы**.

Плоский элемент имеет три степени свободы, т.к. для описания его положения на плоскости нужно задать две координаты какой-либо точки элемента и угол наклона его граней по отношению к координатным осям (рис.1.15). Перемещение плоского элемента относительно исходного положения

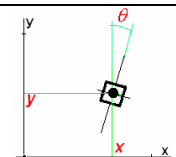


Рис.1.15. Три степени свободы малого элемента на плоскости

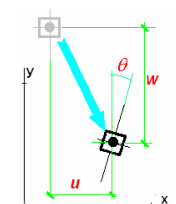


Рис.1.16. Перемещения малого элемента на плоскости

определяется двумя поступательными смещениями и одним поворотом (рис.1.16).

Пространственный элемент имеет шесть степеней свободы, т.к. для описания его положения в пространстве следует задать три координаты какой-либо точки элемента и три угла наклона его граней по отношению к координатным осям (рис.1.17). Перемещение пространственного элемента относительно исходного положения соответственно определяется тремя поступательными смещениями и тремя поворотами.

Аналогичным образом, **абсолютно жёсткое тело** имеет на плоскости три степени свободы, а в пространстве – шесть степеней свободы.

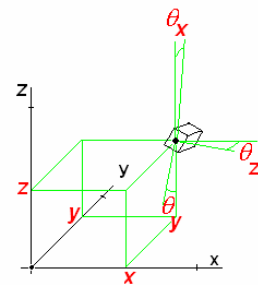


Рис.1.17. Шесть степеней свободы малого элемента в пространстве

### 1.7 Жёсткие и шарнирные узлы.

Стержневая система представляет собой совокупность стержней, соединяющихся между собой в жёстких и шарнирных узлах.

**Жёсткий узел** не допускает взаимного поворота сходящихся в нём стержней. Такой узел имеет три степени свободы на плоскости, т.к. для описания его положения нужно задать три параметра: поступательные перемещения узла по вертикали и горизонтали и угол его поворота (рис.1.18).

**Шарнирный узел** допускает взаимный поворот соединяющихся в нём стержней. Он имеет две степени свободы на плоскости т.к. для описания его положения нужно задать два параметра - поступательные перемещения узла по вертикали и горизонтали. Понятия поворота шарнирного узла не существует, поскольку углы поворотов примыкающих к нему стержней отличаются (рис.1.19).

Пусть в шарнирном узле сходятся  $n_c$  стержней. **Кратностью шарнирного узла** называется число  $n_k = n_c - 1$ . Шарнирный узел, соединяющий два стержня, называется **одиночным**, т.к. его кратность равна единице, три стержня – **двойным**, т.к. его кратность равна двум, и т.д. (рис.1.20 – рис.1.22).

Двойной шарнир можно представить как два одиночных, соединённых стержнем бесконечно малой длины (рис.1.23), тройной – как три одиночных, и т.д.

Шарнирный узел, изображённый на рис.1.24, – одиночный, т.к. соединяет два стержня, один из которых имеет бесконечно малую длину.

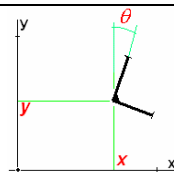


Рис.1.18. Жёсткий узел

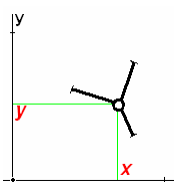


Рис.1.19. Шарнирный узел



Рис.1.20. Одиночный шарнир



Рис. 1.21. Двойной шарнир

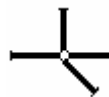


Рис.1.22. Тройной шарнир



Рис.1.23. Двойной шарнир, представленный как два одиночных

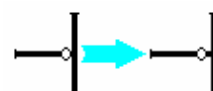


Рис.1.24. Разновидность одиночного шарнира

## 1.8 Опорные закрепления.

**Связи** – ограничения, наложенные на перемещения точек системы по направлению каких-либо степеней свободы.

Ограничимся рассмотрением плоской стержневой системы.

Связь, препятствующая перемещению какой-либо её точки в одном из направлений, например по вертикали или горизонтали, называется **катковой опорой** (рис.1.25).

Если в точке тела приложены две связи, не лежащие на одной прямой, то они ограничивают любые поступательные перемещения этой точки, т.е. по вертикали и горизонтали. Такие две связи называются **неподвижной шарнирной опорой** (рис.1.26).

Здесь использовано слово «шарнирная», поскольку такое закрепление не препятствует повороту тела вокруг точки, на которую наложена данная связь, аналогично тому, как шарнирное соединение не препятствует взаимному повороту соединяемых им тел.

Разместим на бесконечно малом расстоянии от закреплённой двумя связями точки (шарнирной неподвижной опоры) ещё одну, третью связь. Если линии действия этих трёх связей не будут пересекаться в одной точке, то бесконечно малый элемент, находящийся в зоне наложения связей, окажется закреплённым не только от поступательных перемещений (как при наличии шарнирной неподвижной опоры), но и поворота. Такие три связи, ограничивающие перемещения по всем трём степеням свободы на плоскости, называются **жёсткой заделкой** (рис.1.27).

В строительной механике в расчётных схемах могут использоваться и другие виды опорных закреплений, в частности: **скользящие заделки** (связи ограничивающие поворот, но допускающие поступательные смещения в каком-либо направлении, рис.1.28), **податливые** (оседающие) **опоры** (рис.1.29), **односторонние связи** (допускающие по направлению соответствующей степени свободы перемещения только в одну сторону, например, только вверх, рис.1.30).

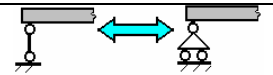


Рис.1.25. Катковая опора и её изображение

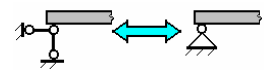


Рис.1.26. Шарнирная неподвижная опора и её изображение

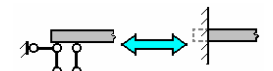


Рис.1.27. Жёсткая заделка и её изображение

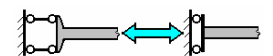


Рис.1.28. Скользящая заделка и её изображение



Рис.1.29. Податливая опора



Рис.1.30. Односторонняя связь

## 1.9 Реакции опорных связей

Пусть к элементу бесконечно малого размера извне приложена сила  $P$ . Если элемент закреплён связью по направлению действия этой силы, то его перемещение по данному направлению будет невозможным. Согласно первому закону Ньютона, равнодействующая всех сил, приложенных к элементу, находящемуся в состоянии равновесия, должна быть равна нулю. Это достигается за счёт возникновения усилия в связи, называемого **реакцией связи**. Величина реакции должна быть равна по величине и противоположна по направлению внешней силе  $P$ , приложенной к элементу (рис.1.31).

Если направление приложенной к элементу внешней силы и

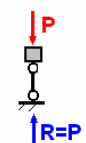


Рис.1.31. Реакция связи

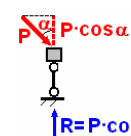


Рис.1.32. Реакция связи в случае наклонной внешней силы

направление связи не совпадают, то величина реакции связи, очевидно, будет равна по величине и противоположна по направлению проекции силы  $P$  на ось, совпадающую с направлением связи (рис.1.32). В этом случае об обеспечении равновесия фрагмента в другом направлении (на рис.1.32 - горизонтальном) следует позаботиться отдельно.

Поскольку катковая опора соответствует одной связи, в этой опоре возникает одна реакция по направлению наложенной связи (рис.1.33).

Шарнирная неподвижная опора соответствует двум связям, поэтому можно утверждать, что в ней возникают две опорные реакции, например, по вертикали и по горизонтали (рис.1.34).

Жёсткая заделка соответствует трём связям, поэтому в ней возникают три опорные реакции. Эти три реакции можно представить в виде двух сил (в вертикальном и горизонтальном направлениях) и момента, приложенных в точке защемления (точке  $A$  на рис.1.35).

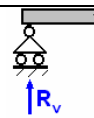


Рис.1.33. Реакция в катковой опоре

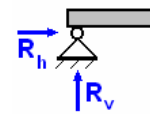


Рис.1.34. Реакции в шарнирной неподвижной опоре

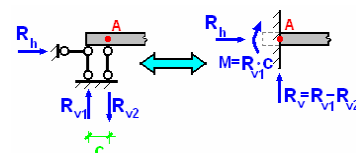


Рис. 1.35. Реакции в жёсткой заделке