



Расчетные модели конструкций, зданий и сооружений

Лекция 3

При проектировании, эксплуатации и реконструкции зданий и сооружений необходимо решать два основных вопроса:

«Как не допустить аварийное разрушение конструкций?» и

«Как минимизировать негативные последствия, связанные с возможным аварийным разрушением конструкций?»



"Технический регламент о безопасности зданий и сооружений"

*Федеральный закон Российской Федерации
от 30 декабря 2009г. N 384-ФЗ*

На современном этапе в строительном проектировании происходит переход от основополагающего критерия несущей способности конструкций к критерию *безопасности* зданий и сооружений, что помимо прочностного анализа и оценки надежности предполагает прогнозирование поведения строительного объекта в аварийных ситуациях при частичной потере несущей способности.

Связано это с участвовавшими авариями строительных объектов, вызванными чаще всего непроектными воздействиями.

- ❖ **Механическая (или конструкционная) безопасность** – базовое свойство качества построенных зданий и сооружений. Оно характеризует не только прочность, жёсткость и устойчивость несущих конструкций объекта, но и его способность противостоять не предусмотренным в проекте внешним воздействиям на протяжении жизненного цикла здания или сооружения.
- ❖ **Жизненный цикл здания или сооружения** - период, в течение которого осуществляются инженерные изыскания, проектирование, строительство (в том числе консервация), эксплуатация (в том числе текущие ремонты), реконструкция, капитальный ремонт, снос здания или сооружения.



Требования механической безопасности (ФЗ РФ №384-ФЗ)

Строительные конструкции и основание здания или сооружения должны обладать такой **прочностью и устойчивостью**, чтобы в процессе строительства и эксплуатации не возникало угрозы причинения вреда жизни или здоровью людей, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений в результате:

- ❖ **разрушения отдельных несущих строительных конструкций или их частей;**
- ❖ **разрушения всего здания, сооружения или их части;**
- ❖ **деформации недопустимой величины строительных конструкций, основания здания или сооружения и геологических массивов прилегающей территории;**
- ❖ **повреждения части здания или сооружения, сетей инженерно-технического обеспечения или систем инженерно-технического обеспечения в результате деформации, перемещений либо потери устойчивости несущих строительных конструкций, в том числе отклонений от вертикальности.**



Расчётные ситуации

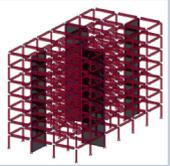
- В 1988 году в теорию проектирования введено понятие **расчётной ситуации**, т. е. комплекса условий, определяющих расчётные требования к проектируемому объекту или конструкции. В ГОСТ 27751-88 предусмотрено 3 расчетных ситуации.
- 1. **Установившаяся расчётная ситуация** соответствует условиям нормальной эксплуатации. Её продолжительность равна сроку службы объекта строительства между ремонтами или реконструкциями.
- 2. **Переходная расчётная ситуация** соответствует условиям возведения, ремонта, реконструкции, технического перевооружения.
- 3. **Аварийная расчётная ситуация** соответствует условиям взрыва, столкновения, пожара, отказа элементов оборудования или несущих конструкций. Её введение в нормы проектирования означает следующее:
 - прогнозирование возможных аварий и их воздействия на проектируемый объект, его несущие конструкции, окружающую среду;
 - разработку способов локализации аварийной зоны и минимизации ущерба; расчёт несущих конструкций на силовые воздействия при авариях;
 - включение в проект необходимых защитных профилактических мероприятий;
 - предупреждение гибели людей, полного разрушения объекта; защиту окружающей среды от экологических последствий аварии.

Теоретические основы расчетов объектов строительства

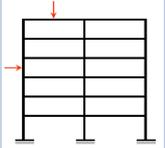


Составные части технического расчета

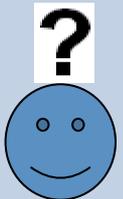
Формирование расчетной схемы строительного объекта



Расчетная схема строительного объекта должна правильно и полно отражать работу реального сооружения, т.е. соответствовать механизмам его деформирования и разрушения.



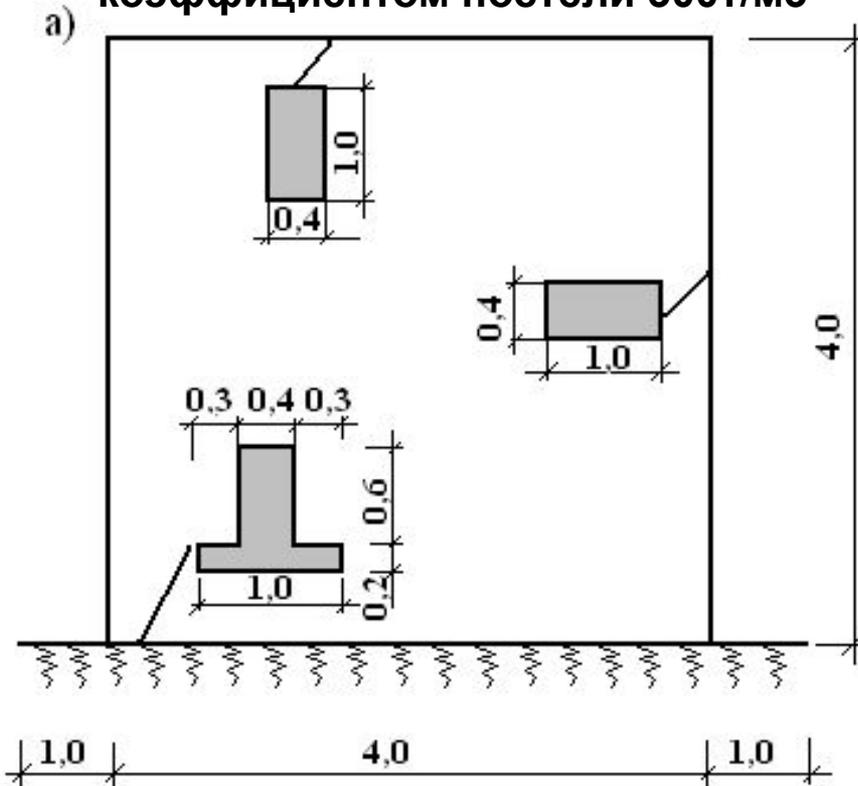
При изучении поведения сложной системы ее расчленяют на более простые подсистемы, заменяя влияние отброшенных частей граничными условиями или нагрузками



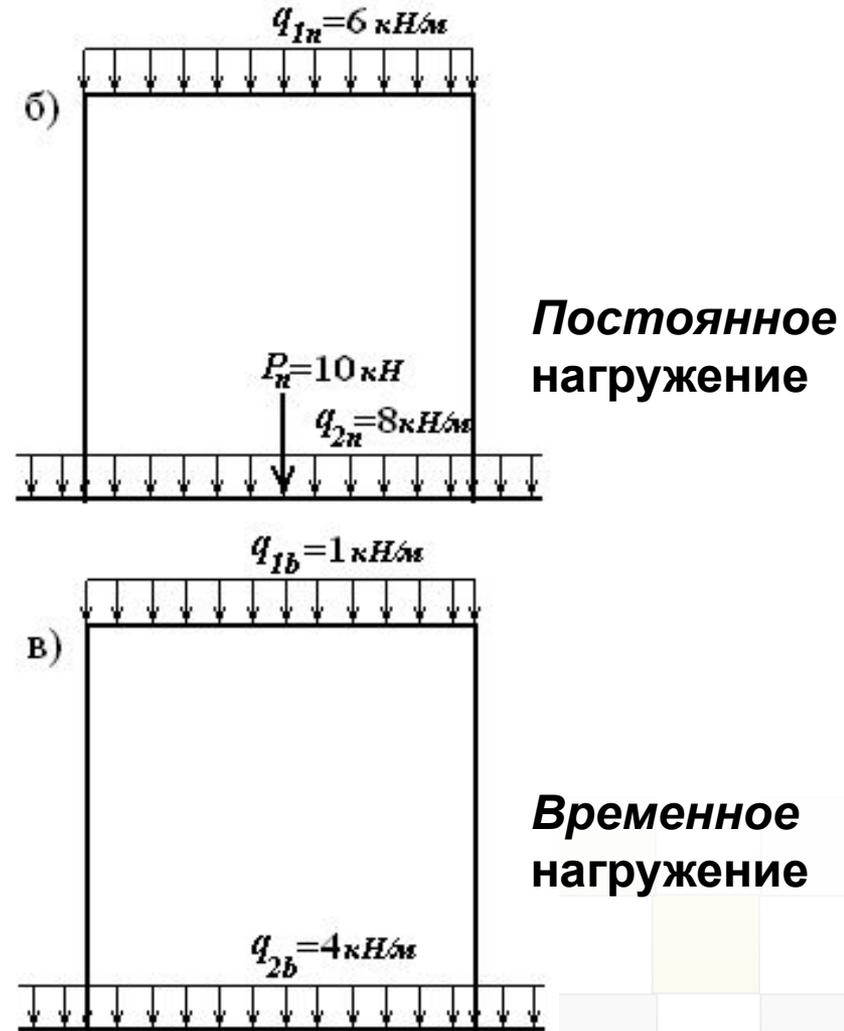
Расчетная модель работы сооружения должна быть достаточно простой, чтобы расчет не становился чрезмерно громоздким. Чтобы с помощью этой схемы можно было получить результаты, имеющие смысл и практическое значение, она должна быть достаточно детальной и сложной. Целесообразно иметь не одну модель, а систему аппроксимирующих моделей.

Пример влияния выбора расчетной схемы сооружения на результаты расчета

Грунтовое основание принято в виде модели Винклера с коэффициентом постели 300т/м^3

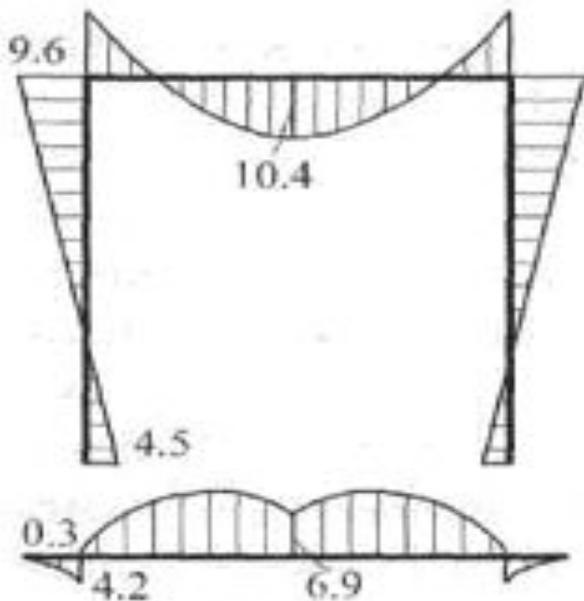


Конструктивная схема, однопролетной одноэтажной рамы, опирающейся на фундаментную балку

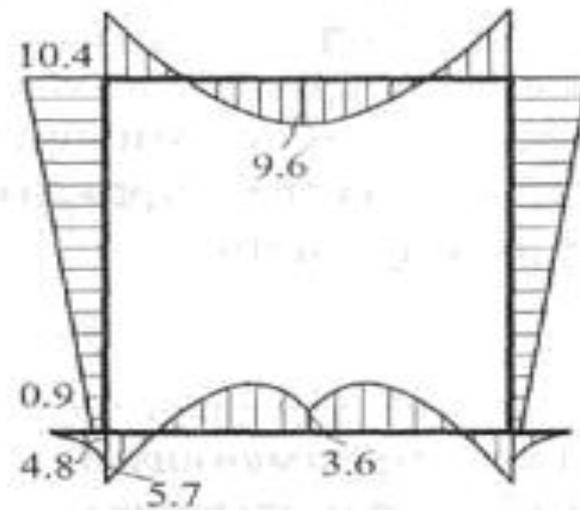


1. Раздельный расчет рамы и фундаментной балки

2. Совместный расчет рамы и фундаментной балки

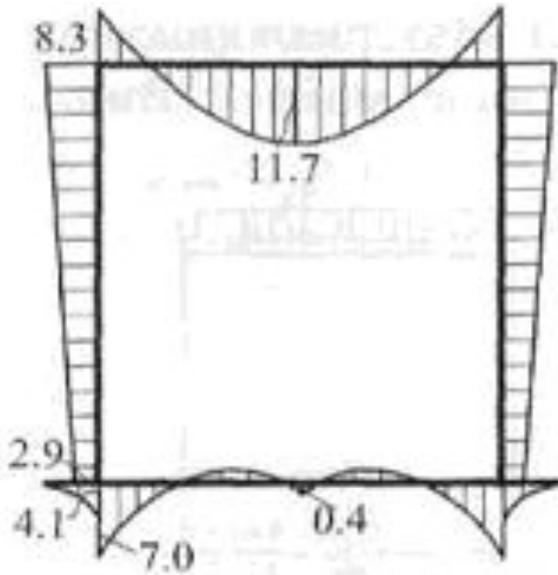


Эпюра моментов при раздельном расчете рамы и фундаментной балки



Эпюра моментов при совместном расчете рамы и фундаментной балки

3. Расчет, отражающий последовательность возведения



Эпюра моментов при последовательном возведении конструкции

- Сначала рассматривается фундаментная балка с постоянной нагрузкой P_n и q_{2n} ;
- потом рассматривается фундаментная балка совместно с рамой и прикладывается нагрузка q_{1n} ;
- а затем уже на всю конструкцию прикладывается временная нагрузка.
- На каждом этапе полученные усилия замораживаются и суммируются с усилиями, полученными для следующей схемы.



Схематизация геометрии, граничных условий

- 1
 - Начинается с выделения из объекта его несущей части;
 - Реальный объект заменяется идеализированным деформируемым телом с изученными *топологическими свойствами* и определенностью предполагаемого вида НДС

- 2
 - Вносятся уточнения в *условия сопряжения* элементов расчетной схемы
 - Решается вопрос о возможности расчета конструкции *по недеформированной схеме*

- 3
 - Назначаются формы и размеры поперечных сечений стержней, толщины пластинчатых конструкций
 - Устанавливаются условия закрепления (граничные условия) расчетной области



1.1. Схематизация геометрической формы

- Замена реального объекта идеализированным телом с изученными топологическими свойствами. Требования к геометрической форме: определённая размерность, положений (координат) всех точек на плоскости и в пространстве; изученность и определённость формы напряжённо-деформированного состояния (плоская деформация; плоское, осесимметричное, трёхмерное напряжённое состояние).
- Уточнение **условий сопряжения элементов** расчётной схемы: неполные соединения (шарнирное сопряжение, взаимное продольное или поперечное смещение в сочленениях стержней);
- Назначение формы и размеров поперечных сечений стержней, толщины пластинчатых конструкций.
- **При статических расчетах**, ориентированных на предельные состояния, из расчётной модели удаляются элементы, которые мало сказываются на предельном сопротивлении (перегородки, элементы ограждающих конструкций и др.).
- Но при анализе **динамического поведения**, особенно при оценке вклада высших собственных частот, соответствующие амплитуды колебаний могут оказаться намного меньшими, чем те перемещения, при которых эти «ненесущие» конструктивные элементы выбывают из работы.

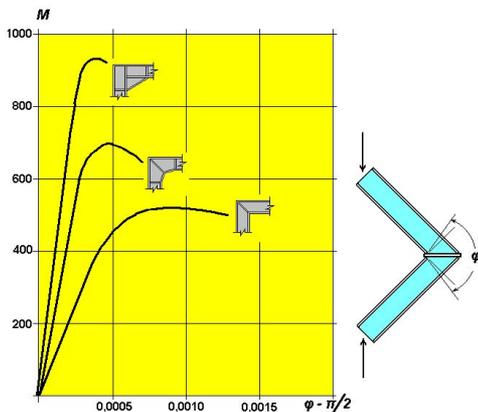


Назначение граничных условий (ГУ)

- Прежде всего это относится к внешним границам. По направлению каждой степени свободы возможны три варианта граничных условий:
 - нулевое или ненулевое фиксированное перемещение (кинематические ГУ);
 - свободное перемещение (в этом случае по направлению соответствующего вектора должна быть задана сила, равная или не равная нулю);
упругоподатливая связь.
 - Кроме того, могут быть наложены ограничения на перемещения внутренних узлов системы.

Моделирование связей и условий примыкания

- ❖ Идеализация связей – описание законов взаимодействия отдельных элементов друг с другом.
- ❖ Абсолютно жесткая связь – условие полного совпадения перемещений или взаимных поворотов в точке соединения.
- ❖ Шарнир, ползунок – отсутствие взаимодействия в каком-либо направлении по перемещениям.



- ❖ **упругоподатливая связь, оценить ее податливость можно лишь в эксперименте**



Схематизация нагрузок и воздействий

Это удобный способ описания взаимодействия конструкции с окружающей средой

- ❖ Расчетные модели, которыми оперирует проектная практика, являются сильными физическими абстракциями и достаточно условны, о чем надо помнить при анализе результатов расчета :
 - **равномерно распределенная нагрузка,**
 - **сосредоточенная сила,**
 - **импульсное воздействие,**
 - **гармоническая осцилляция.**
- ❖ Часто необходимо описать не силовое, а кинематическое воздействие, когда некоторые устройства, внешние по отношению к рассчитываемой системе, стесняют перемещения или повороты отдельных точек или навязывают ей свои перемещения. Это – **связи.**
- ❖ Заданное перемещение какой-либо точки всегда реализуется в виде смещения связи. Обычная связь-опора – частный случай такого кинематического воздействия, когда заданное перемещение = 0

Нагрузки имеют большую изменчивость во времени и пространстве. Это один из **наименее изученных** компонентов системы.

Нагрузка как случайное явление

- Практически все нагрузки, действующие на конструкции являются случайными величинами или случайными функциями времени. Они имеют большую изменчивость во времени и пространстве.
- Это означает, что мы не можем указать точное значение нагрузки, которое будет реализовано, а используем некоторые расчетные величины, которые могут реализоваться с *определенной долей вероятности*.
- **Обеспеченность случайной величины** – вероятность непревышения случайной реализацией некоторого опасного значения.

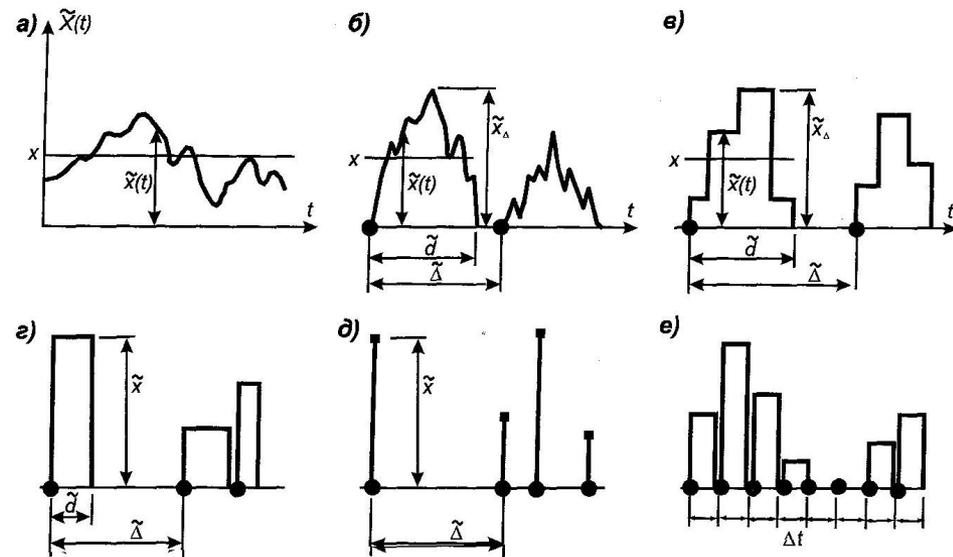


Рис. 1. Основные виды реализации случайной нагрузки:

- дифференцируемые случайные функции (а, б);
- недифференцируемые функции ступенчато-импульсного типа

Нагрузка как случайное явление

- Если рассматриваются *случайные процессы в окружающей среде* (скорость ветра, температура и т.п.) или в самой конструкции (коррозия и т.п.) – речь идет о вероятности возникновения ситуации в течение определенного отрезка времени и с **обусловленностью** связывается определенный (весьма условный) срок эксплуатации.
- **Вероятность** непривышения опасного уровня различна, если рассматривать короткие или длинные промежутки времени.
- **Нормативные значения** случайных природных воздействий (*ветер, снег, температура, сейсмика*) часто назначаются как величины, превышаемые в среднем один раз в T_c лет.
- Тогда **вероятность** появления за 1 год (произвольный) со средним сроком повторяемости T_c лет составляет $1/T_c$, а вероятность того, что такое воздействие F_c ни разу не возникнет за срок эксплуатации T лет, может быть вычислена по формуле:

$$P = (1 - 1/T_c)^T,$$

если считать случайные годовые максимумы статистически независимыми.

Период повторяемости (Тс лет) нагрузки Fc	10	30	50	100	200	500	1000
Вероятность непревышения значения Fc за 50 лет	0,005	0,13	0,36	0,61	0,78	0,90	0,95

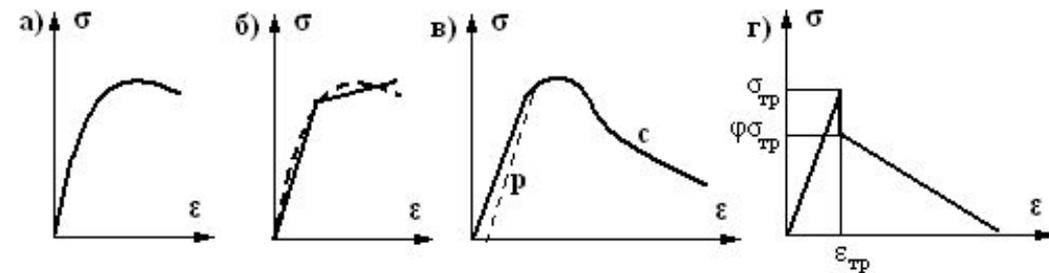
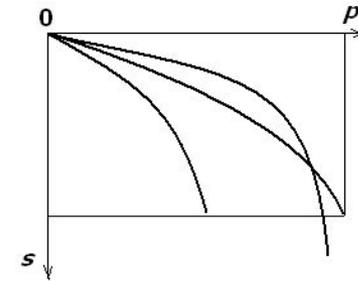
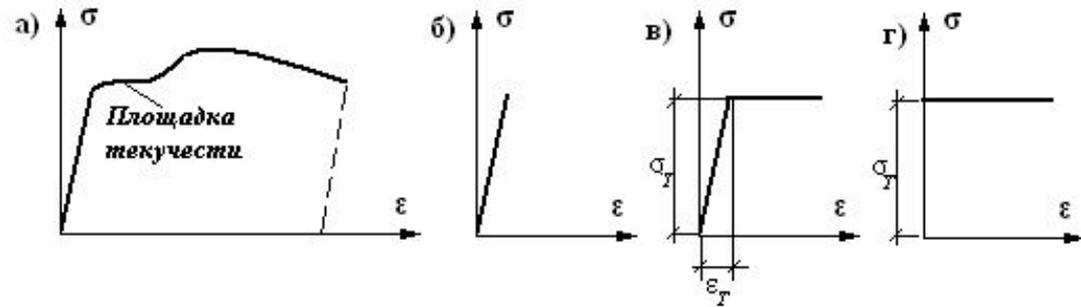


Классификация воздействий на сооружение

- **Воздействия**
 - *Внешние*
 - *Внутренние*
- **Силовые**
 - Нагрузки
 - Контролируемое предварительное напряжение
- **Кинематические**
 - Заданные перемещения узлов (связей)
 - Дислокации, температурные перемещения

Другие воздействия: *Коррозия, химическое взаимодействие, выкрашивание, изменение схемы сооружения в результате разрыва связей (в том числе по злому умыслу)*

Схематизация свойств материалов



Диаграммы деформирования материалов
(сталь, бетон, кирпичная кладка)

Грунты

- ❖ Модель Винклера и ее модификации.
- ❖ Модели упругого (линейно-деформируемого) полупространства и линейно деформируемого слоя конечной толщины, рекомендуемые СНиП.
- ❖ Нелинейные (упругопластические) модели



Математическая обработка и анализ расчетной схемы

Это реализация расчетных алгоритмов. Результатами расчетов (*выходной информацией*) являются часть или полный набор параметров:

- ❖ перемещения, усилия, напряжения, деформации;
- ❖ ширина раскрытия трещин, вызванных силовыми воздействиями;
- ❖ их соотношения или отношения разрушающих (опрокидывающих, сдвигающих) силовых воздействий к их предельным величинам: удерживающим, противостоящим разрушению силам.



3. Анализ результатов расчетов, проверка по предельным состояниям

Здесь проектировщик как бы возвращается от расчетной схемы к реальному объекту:

- ❖ производит сравнение полученных результатов расчета (выходной информации) с предельными значениями параметров (ПС 1-й и 2-й групп);
- ❖ принимает решение о завершении расчетов или необходимости их продолжения путем частичного или полного повторения с измененными исходными данными.

Основные группы предельных состояний

В качестве руководящего принципа прочностных расчетов строительных конструкций в настоящее время действует метод предельных состояний

Предельные состояния – это состояния, при которых строительный объект (конструкция, здание, основание) перестают удовлетворять заданным требованиям при эксплуатации, возведении или реконструкции

