

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЯХ, СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ
МЕТОДОВ ИХ РАСЧЕТА. НОРМАТИВНАЯ БАЗА
ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕСУЩИХ
КОНСТРУКЦИЙ. ЛЕКЦИЯ 3**

Савин Сергей Юрьевич
Доцент кафедры ЖБК, к.т.н.



ПЛАН ЛЕКЦИОННОГО ЗАНЯТИЯ:

1. Становление и развитие методов расчета строительных конструкций
2. Расчетные модели сооружений и их анализ
3. Построение эпюр усилий в стержнях
4. Нагрузки и воздействия на сооружения

ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Прочность – это способность тела, не разрушаясь, сопротивляться воздействию нагрузок.

Жесткость – это способность тела, не разрушаясь, сопротивляться деформациям.

Устойчивость – это способность тела под воздействием нагрузок сохранять первоначальную форму равновесия.

Надежность – это способность тела выполнять заданные функции, сохраняя свои основные характеристики (при определенных условиях эксплуатации) в установленных пределах.

Экономичность – это снижение материалоемкости и себестоимости проектируемых конструкций, зданий и сооружений.

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ КАК ОСНОВА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Прочность конструкций, зданий, сооружений интересовала человека всегда. Однако на протяжении многих веков и тысячелетий единственным критерием и руководством к действию был **непосредственный опыт** возведения и эксплуатации зданий в сооружениях.

Наши современники нередко восхищены, глядя на древние сооружения и поражаясь целесообразности их конструктивных решений. При этом иногда забывают, что неудачно запроектированные или некачественно возведенные постройки зачастую разрушались уже в процессе строительства или же вскоре после его завершения. До настоящего времени сохранились лишь наиболее надежные сооружения.

Проектирование сооружений без расчетов, только по образу и подобию уже существующих построек, потребовало обобщения опыта строительства, и как результат выработки правил проектирования и возведения будущих зданий и сооружений. Одним из первых строителей, решившимся собрать и обобщить практический опыт, стал римлянин, архитектор и инженер **Марк Витрувий Поллион** (1 век до н. э.), автор трактата «Десять книг об архитектуре». В этой, по существу, энциклопедии технических знаний собран и осмыслен громадный опыт строителей Древней Греции и Древнего Рима. Витрувий первым сформулировал коренные проблемы строительства:

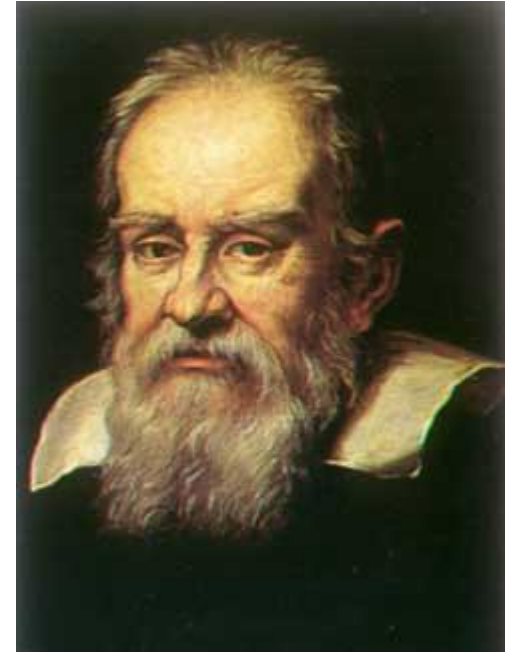
ПРОЧНОСТЬ, ПОЛЬЗА, КРАСОТА.



Особый интерес представляет подход **Галилея** к проблеме прочности, представляющий собой первые шаги сопротивления материалов. Этот подход был изложен в книге «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки, относящихся к механике и местному движению» (1638 г.).

Галилей рассматривал два вида напряженного состояния стержней - **осевое растяжение** и **изгиб**. При этом его интересовала только величина **разрушающей нагрузки**. Как определял сам Галилей, его трактат «касается сопротивления, оказываемого твердыми телами силе, стремящейся их сломать».

Прочностные свойства материалов в то время еще не были известны, поэтому Галилей рассматривал влияние на прочность стержня (конструкции, элемента) только геометрических параметров - размеров поперечного сечения, длины стержня и т. п.



РАСЧЕТ ИЗГИБАЕМОГО ЭЛЕМЕНТА ПО ГАЛИЛЕЮ

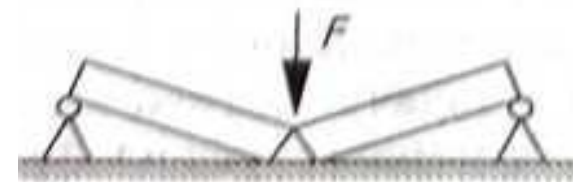
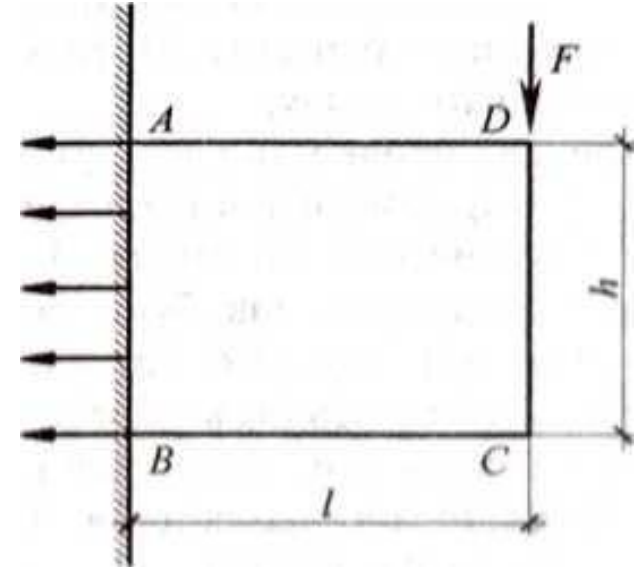
Рассмотрено состояние консольной балки, нагруженной на свободном конце сосредоточенной силой F . Требуется определить, в каком месте и при какой величине силы F произойди разрушение балки.

Поскольку Галилею известно правило рычага, то место рушения определить нетрудно - чем дальше от точки приложения силы F , тем вероятней место разрушения. Следовательно, приходим в выводу, что разрушение произойдет в месте опорного закрепления. Поэтому понятно, почему Галилей считал опасным именно опорное сечение консольной балки. Что же сопротивляется действию силы P в опасном сечении непосредственно перед разрушением? Ответ очевиден - прочность балки в этом сечении.

Галилей принял следующую схему разрушения:

- А) в опасном сечении усилия сопротивления распределены равномерно по сечению;
- Б) усилия сопротивления - растягивающие (по аналогии с центральным растяжением);
- В) излом консоли происходит при образовании трещины вверху опасного сечения с последующим ее раскрытием и вращением балки вокруг оси, совпадающей с нижней гранью сечения - вокруг точки В.

Принятая схема разрушения близка к действительности для хрупких материалов (камень, чугун, стекло), которые значительно лучше сопротивляются сжатию, чем растяжению. Поскольку в итоге при этом происходит разрыв всего сечения, то вполне логичной выглядит предпосылка Галилея об идентичности разрушения консоли и центрально растянутого элемента. Отсюда последовало допущение о



ЗАКОН ГУКА-МАРИОТТА

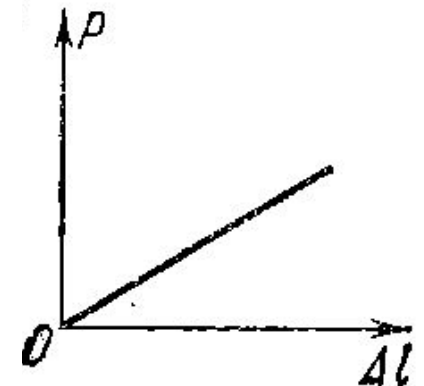
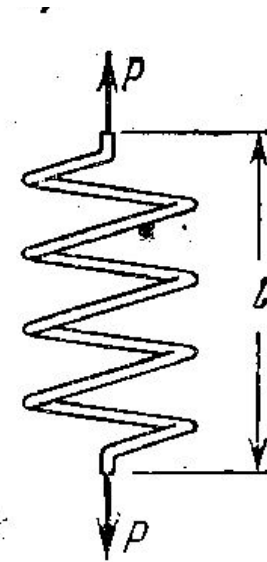
В науке о прочности конструкций следующий важный шаг (после Галилея) сделал Р. Гук (R. Hooke), который в 1678 г. опубликовал свой закон, суть которого состояла в следующем: каково удлинение, такова сила. Для этого ему пришлось изобрести сильно деформирующееся приспособление - винтовую пружину. Наблюдая за поведением пружины под нагрузкой, Гук и вывел закон пропорциональности между нагрузкой и деформацией.

Независимо и практически одновременно с Гуком в 1680 г. закон пропорциональности открыл французский физик Мариотт (Mariotte). Но приоритет Гука общепризнан.

Кроме того, своим законом Гук установил еще одно, неизвестное до него свойство твердых тел - упругость. Однако вплоть до XIX века научные изыскания, основанные на законе Гука оставались вне поля зрения инженеров-строителей.

Лишь когда в 1807 г. Т. Юнг (T. Young) ввел численную характеристику упругости - модуль Юнга (модуль упругости), тогда и появилась возможность для практического применения закона Гука в строительном проектировании.

Важнейшим следствием из закона Гука-Мариотта стало установление пропорциональности между изгибающим моментом и кривизной линии прогиба. Эту зависимость получил Я. Бернулли (J. Bernoulli). Для ее доказательства в 1695 г. Бернулли принял гипотезу плоских сечений, которая положена в основу современных расчетов на изгиб и носит его имя - гипотеза Бернулли.

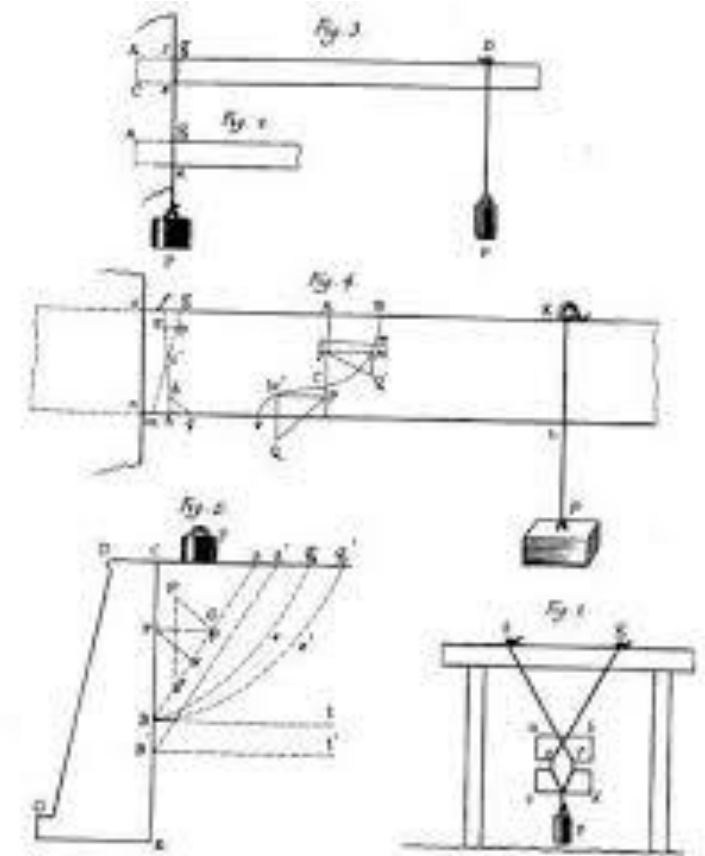


ЭКСПЕРИМЕНТЫ КУЛОНА

Одним из первых исследователей, который начал более-менее систематическое экспериментальное изучение прочности материалов и на этой основе определил закономерности работы конструкции, стал французский военный инженер Ш. О. Кулон (S. O. Coulon). В 1773 г. он опубликовал работу «Опыт применения правил максимума и минимума к некоторым вопросам статики», относящиеся к архитектуре, где рассмотрены следующие вопросы:

- теория прочности материалов;
- теория изгиба балок;
- теория давления грунта на подпорную стенку;
- теория расчета свода.

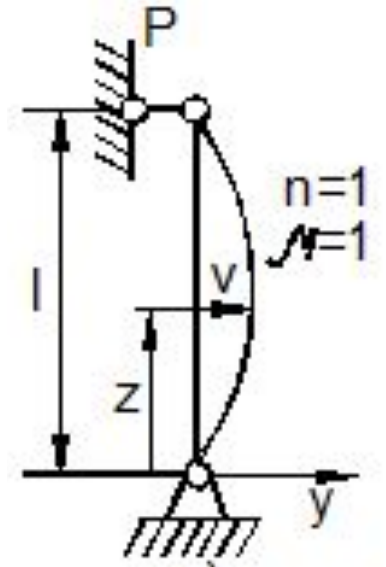
Кулон провел испытания образцов из камня и известкового раствора. Образцы в виде «восьмерок» испытаны на осевое растяжение, а в виде призм - на срез и на изгиб. Кулон получил близкие значения пределов прочности при растяжении и срезе, поэтому он принял их одинаковыми. Сопротивление сжатию Кулон попытался объяснить силами сцепления и силами трения.



В XVIII веке мало кто занимался экспериментальным изучением проблем прочности. Отдельные опыты проводили Гук, Мариотт, некоторые другие ученые. Первым **исследователем-экспериментатором** стал профессор Лейденского университета **П. Мушенбрук** (P. Muschenbroek). Он изобрел испытательную машину, на которой испытывал прочность самых разнообразных материалов и элементов. Результаты испытания длинных стержней на сжатие позволили ему обнаружить явление продольного изгиба и установить, что критическая сила обратно пропорциональна квадрату длины стержня. Тем самым Мушенбрук положил начало изучению проблемы устойчивости сооружений.

Первое решение задачи о **продольном изгибе** в 1744 г. получил **Л. Эйлер** (L. Euler), швейцарец по происхождению, почти всю жизнь проработавший в Петербургской академии наук. Дальнейшее развитие задача о продольном изгибе получила в трудах французского математика **Лагранжа** (Lagrange), где приведен точный интеграл уравнения продольного изгиба, получена зависимость между стрелой прогиба и величиной нагрузки. Лагранж первым обнаружил возможность продольного изгиба по нескольким полуволнам и получил значения критической силы при различных условиях закрепления стержня по концам.

С.Д. Пуассона (S. D. Poisson) в 1811 г. ввел понятие **«механическое напряжение»** как внутреннего усилия, отнесенного к единице площади сечения. Кроме того, он открыл наличие поперечных деформаций и сформулировал зависимость между продольной и поперечной деформацией.





СОСТОЯНИЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ НАУКИ НА РУБЕЖЕ XVIII-XIX ВЕКОВ

Таким образом, в области строительной механики к началу XIX в. сделаны многие основополагающие открытия: **Изгиб**. Предложены различные способы расчета балок прямоугольного и круглого профиля для простейших схем нагружения - консоль с грузом на конце и простая балка с грузом в середине пролета. Нет пока четкого разграничения между параметром жесткости при изгибе (моментом инерции) и параметром прочности (моментом сопротивления). Даже определение размерностей этих параметров не всегда верно. До 1807 г. отсутствует понятие модуля упругости, а конкретные его величины не определены даже для самых распространенных строительных материалов (камень, древесина).

Продольный изгиб. Обнаружено явление продольного изгиба, получено правильное решение задачи Эйлера-Лагранжа в упругой постановке.

Кручение. Верное решение Кулона для круглого профиля не имеет количественных оценок из-за отсутствия сведений о сопротивлении материалов срезам, а главное - отсутствует само понятие о модуле сдвига.

Материалы. Открыто явление упругости, касательные напряжения (сдвигающие усилия, как тогда говорили); наряду с этим — полное отсутствие сведений о прочностных и деформативных свойствах материалов.

Прочность. Высказаны три разноречивые теории прочности:

- Первая теория прочности (наибольших нормальных напряжений);
- Вторая теория (гипотеза наибольших удлинений);
- Третья теория (гипотеза наибольших касательных напряжений).

ВТОРОЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ НАУКИ

Новый период развития строительной науки начался в 1826 году, когда Л. Навье опубликовал свой курс лекций по прикладной механике. В этой работе впервые в качестве основной расчетной стадии принята стадия рабочего состояния сооружения. Это позволило автору получить надежный расчетный аппарат, пригодный для практического применения. Основные положения теории Навье:

- сопоставление наибольших напряжений от внешней нагрузки в стадии эксплуатации с допускаемыми напряжениями для данного материала - принцип Л. Навье;
- рабочее состояние и стадия разрушения полностью подобны, поэтому отношения усилий, напряжений и деформаций в этих стадиях одинаковы - допущение Л. Навье;
- сечения, плоские до деформации, остаются плоскими и после деформации - гипотеза Я. Бернулли;
- напряжения пропорциональны относительным удлинениям или укорочениям - закон Р. Гука.

Сущность методики **расчета по допускаемым напряжениям**, разработанной Л. Навье, состоит в том, чтобы удовлетворить условие:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma]$$

где σ_{\max} - наибольшее напряжение в сечении элемента, вызванное действием внешних нагрузок;
 $[\sigma]$ — допускаемое безопасное напряжение для материала элемента, полученное непосредственно из опытов.

ВТОРОЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ НАУКИ

Сен-Венан (Sant-Venant), ученик Л. Навье, в 1843 г. **решил задачу косоугольного изгиба**; он же многое сделал для развития теории упругости и на ее основе решил многие задачи напряженного состояния конструкций.

Задачу о внецентренном сжатии или растяжении в общем виде первым в 1854 г. решил **Шарль Бресс** (Bresse); он же установил **понятие о ядре сечения**. Бресс первым нашел подход к решению задачи о расчете статически неопределимых систем **методом сил**, указав способы определения количества неизвестных и сформулировав понятие об уравнениях совместности деформаций. Он же впервые в 1848 г. начал применять эпюры моментов и других внутренних усилий.

Первое решение задачи о поперечном изгибе с учетом сдвиговых явлений в 1855 г. получил **Д.И. Журавский**, формулу которого для вычисления касательных напряжений широко применяют в современных расчетах конструкций.

В 1857 г. француз **Клапейрон** (Clapeyron) получил **уравнение трех моментов**, завершив создание теории расчета **неразрезных балок**.

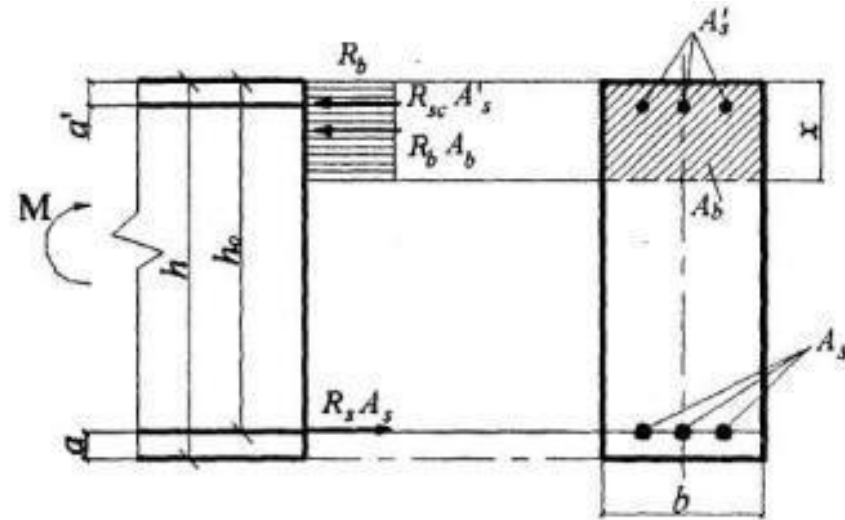
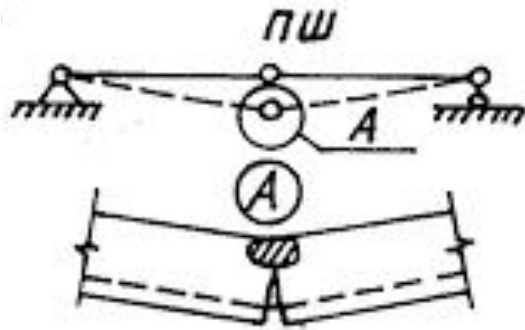
Трудами англичанина **Максвелла** (Maxwell) и итальянца **Кремоны** (Cremona) в 1864 г. разработан графоаналитический метод расчета статически определимой фермы. Максвелл создал также методику расчета статически неопределимой фермы, представив уравнения деформаций в канонической форме и указав общий метод вычисления перемещений как коэффициентов канонических уравнений метода сил.

Труды многих исследователей - Бресса, Клапейрона, Максвелла, Кастильяно (Castigliano), Мора (Mohr) и др. - позволили разработать удобный **метод вычисления перемещений**, дав тем самым громадный толчок развитию метода сил.

ТРЕТИЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ НАУКИ

К началу XX века накапливались факты, не укладывающиеся в схему расчета по рабочему состоянию. В результате изучения работы конструкций из пластичных материалов при высоких нагрузках обнаружено, что поведение статически неопределимых конструкций претерпевает качественные изменения после выхода из чисто упругой области. Так, в изгибаемом элементе после проявления текучести линейное распределение напряжений переходит в нелинейное. В неразрезной балке или раме происходит перераспределение усилий таким образом, что к предельному состоянию конструкция превращается в статически определимую систему, имеющую пластические шарниры в наиболее напряженных сечениях.

А.Ф. Лолейт в 1905 г. сделал вывод о необходимости **«рассматривать мгновенное равновесие непосредственно перед разрушением»** как основную стадию расчета конструкции. Примечательно, что Лолейт высказал это положение применительно к железобетонным конструкциям, которые менее всего вписывались в рамки классической теории.





СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ РАСЧЕТА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

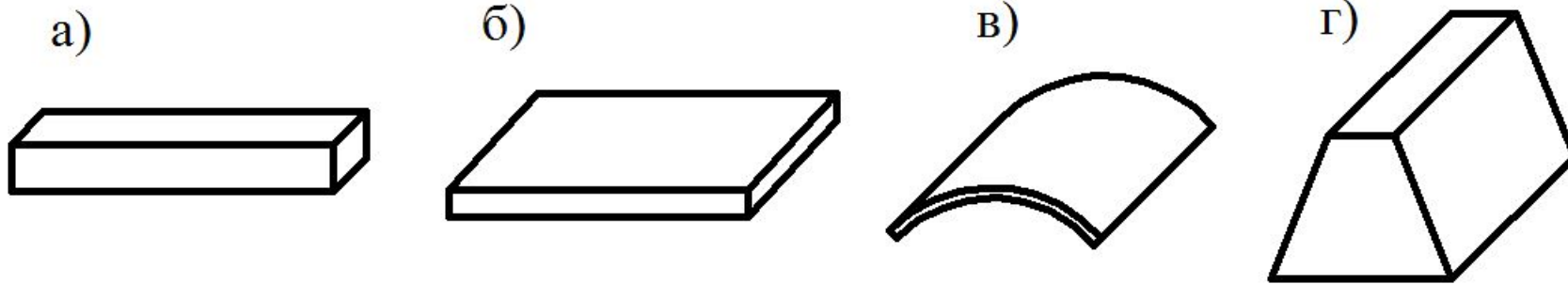
К концу 30-х годов XX в. назрела необходимость пересмотра методов расчета для всех строительных конструкций, в том числе и оснований под фундаменты. Поэтому в 1943 году при техническом совете Наркомстроя СССР под председательством В.М. Келдыша создана комиссия по выработке единого метода расчета строительных конструкций и усовершенствованию коэффициентов запаса. Позднее комиссия перешла в подчинение Центрального научного института промышленных сооружений - ЦНИПС. В состав комиссии вошли видные ученые-строители страны: В.А. Балдин; А.А. Гвоздев; И.И. Гольденблат; Ю.М. Иванов, В.М. Коченов; В.М. Келдыш; Л.И. Онищик; М.С. Стрелецкий; К.Э. Таль.

Комиссия разработала новый универсальный метод расчетов по предельным состояниям, установила эти предельные состояния и дала им определения, заменила единый коэффициент запаса системой дифференцированных коэффициентов изменчивости.

В 1949 г. опубликована итоговая работа комиссии - проел «Нормы проектирования конструкций: материалы для урочного положения», в которой приведен текст норм проектирования всех строительных конструкций и обоснования к отдельным разделам.

В дальнейшем на основе этих материалов разработаны, утверждены и с 1 января 1955 года введены в действие Строительные нормы и правила - СНиП, в которых расчет по предельным состояниям введен в практику проектирования всех строительных конструкций. Количество предельных состояний в дальнейшем увеличивалось, но это не меняет принципиального подхода к расчету конструкций и оснований.

ОСНОВНЫЕ НЕСУЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИЙ



а) стержень, б) пластинка; в) оболочка; г) массивное тело

Основные несущие элементы конструкций разделяют на стержни, пластинки (или плиты), пространственные оболочки и массивные тела.

Стержнем называют простейший элемент, у которого толщина и ширина значительно меньше длины.

Пластинкой называют элемент, у которого толщина значительно меньше длины и ширины.

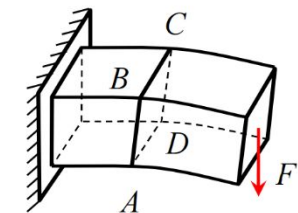
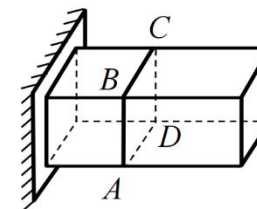
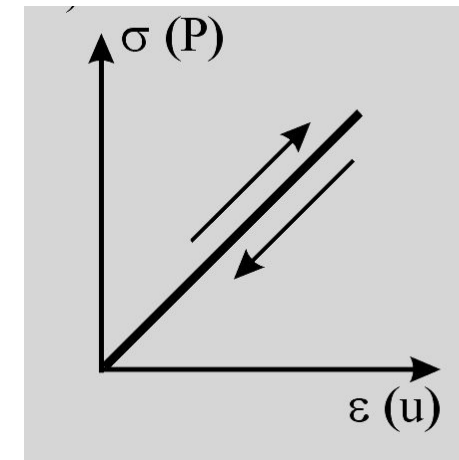
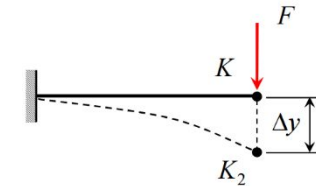
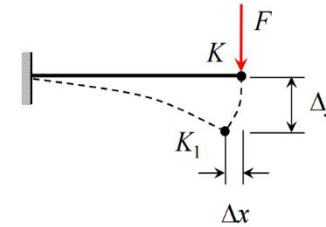
Пластинки с криволинейной поверхностью называют **оболочками**.

Если все три размера примерно одного порядка, то такие элементы называют **массивными** или **трехмерными телами**.

ОСНОВНЫЕ ГИПОТЕЗЫ И ДОПУЩЕНИЯ

При расчетах используются ряд гипотез, допущений и принципов. К числу наиболее важных относят:

- гипотеза о малости деформаций и перемещений – деформации и перемещения деформируемого тела считаются малыми по сравнению с его размерами;
- гипотеза об идеальной упругости тела – если после снятия нагрузки деформации тела полностью исчезают и восстанавливаются его первоначальные размеры и форма, то такой процесс деформирования называют абсолютно упругим;
- гипотеза о сплошности тела – материал тела полностью, без разрывов (сплошь) заполняет объём, ограниченный его поверхностями;
- гипотеза об однородности тела – состав материала тела по всему его объёму считается однородным;
- гипотеза об изотропности свойств материала тела – физико-механические свойства материала тела одинаковы по всем направлениям.
- гипотеза плоских сечений (гипотеза Бернулли) – плоские сечения до деформации остаются плоскими и после деформации.



ОСНОВНЫЕ ГИПОТЕЗЫ И ДОПУЩЕНИЯ

Гипотеза об идеальной упругости тела для большинства строительных материалов в действительности не выполняется: после разгрузки в нём остаются, хотя и малые, остаточные деформации. Это явление называется **пластичностью**. При достаточно выраженных пластических свойствах материала это явление необходимо учитывать. Процессы деформирования тела с учётом пластических свойств материала изучают в теории пластичности.

Известно, что некоторые строительные материалы, в частности железобетон, обладают **ползучестью** – явлением, характеризуемым возрастанием деформаций с течением времени при неизменной интенсивности внешней нагрузки. Известно также, что при неизменных деформациях тела с течением времени внутренние силы и напряжения могут уменьшаться. Это явление называется **релаксацией напряжений**. Изучением напряженно-деформированного состояния тел с учётом ползучести и релаксации занимается теория ползучести.

Гипотезы об однородности тела и изотропности свойств материала справедливы, например, для стали. Для дерева же используется гипотеза об **ортотропности** его свойств, когда физико-механические свойства материала тела постоянны по двум-трем взаимно перпендикулярным направлениям, но неодинаковы.

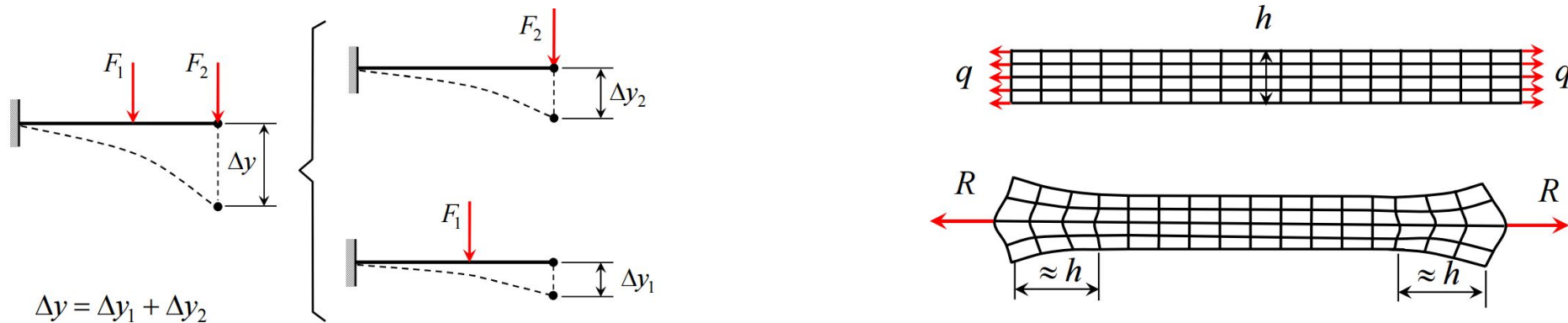
Введение гипотезы сплошности позволяет рассматривать перемещения точек тела как непрерывные функции координат, что дает возможность эффективно использовать аппарат математического анализа.

Большинство строительных материалов обладают **анизотропными** свойствами, например железобетон. Поэтому для расчёта конструкций из таких материалов разрабатываются специальные методы.

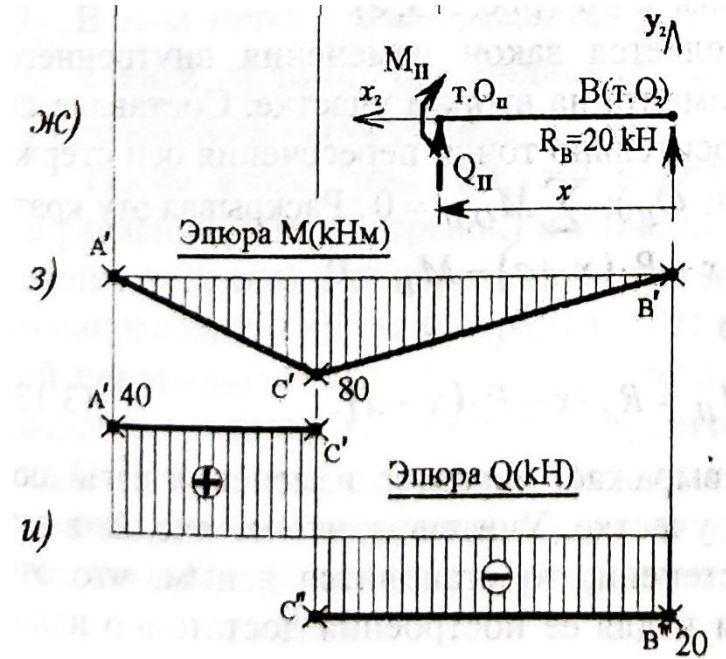
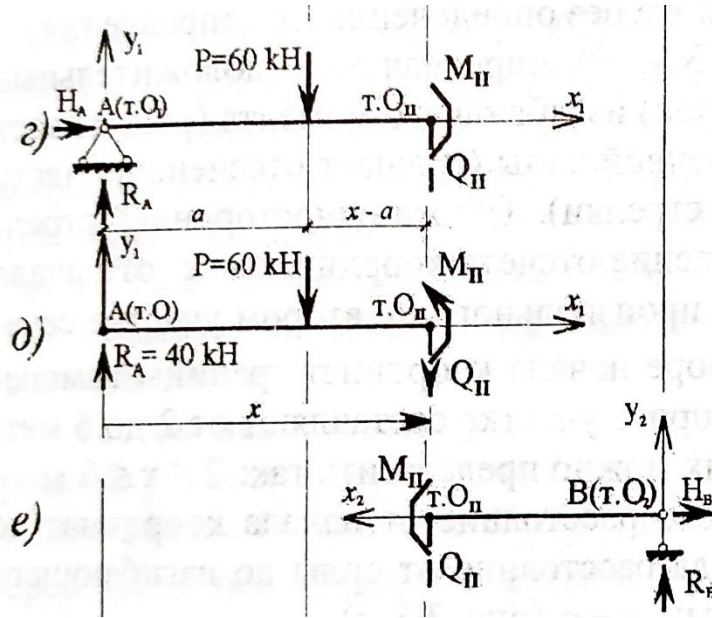
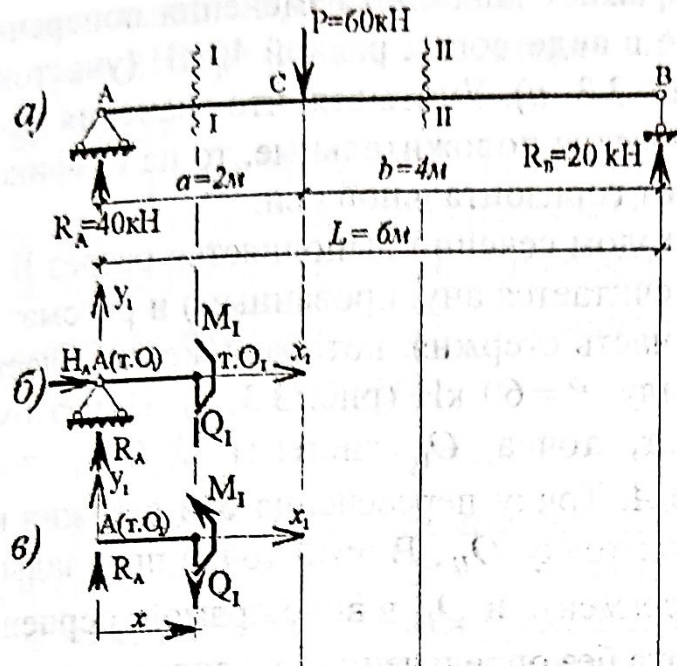
ОСНОВНЫЕ ГИПОТЕЗЫ И ДОПУЩЕНИЯ

Одним из наиболее важных принципов строительной механики является **принцип независимости действия сил**, согласно которому результат действия системы нагрузок на конструкцию (опорные реакции, деформации, напряжения) равен сумме результатов действий каждой нагрузки в отдельности. Этот принцип применим только для материалов, подчиняющихся закону Гука. В противном случае, а также в некоторых других особых случаях при соблюдении закона Гука этот принцип применять нельзя.

Другой важный принцип – **принцип Сен-Венана** – позволяет вносить существенные упрощения в расчётные схемы сооружений. Суть этого принципа заключается в том, что напряженное состояние тела на достаточно большом расстоянии от места приложения нагрузки не зависит от способа передачи нагрузки на конструкцию. На основании этого принципа группу сил, действующих на конструкцию, можно заменять равнодействующей; можно переносить сосредоточенную силу или равнодействующую по линии их действия.



ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ В СТЕРЖНЯХ





НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Нагрузки и воздействия подразделяют:

- по **физической природе** происхождения на *силовые, кинематические, температурные, электромагнитные, сейсмические* и т.д.
- по **способу приложения** на *сосредоточенные и распределенные*;
- по **длительности воздействия** на *постоянные и временные*;
- по **скорости приложения** на *статические и динамические*;
- по **характеру изменения во времени** на *подвижные и неподвижные*.

Силовые воздействия – это собственно сами нагрузки. **Кинематические** возникают от смещения связей, узлов, осадки опор. **Температурные** (или тепловые) нагрузки возникают от изменения температурного режима при эксплуатации сооружений.

Постоянными называются такие нагрузки (и воздействия), которые прилагаются к сооружению непрерывно в течение всего срока эксплуатации без изменения величины и направления. К числу таких нагрузок относятся собственный вес элементов сооружения и вес стационарного оборудования. **Временными** называются такие нагрузки (и воздействия), которые прикладываются к сооружению в течение ограниченного промежутка времени, например: нагрузки от технологического транспорта, ветровая и снеговая нагрузки, тепловое воздействие, нагрузки от временного оборудования.

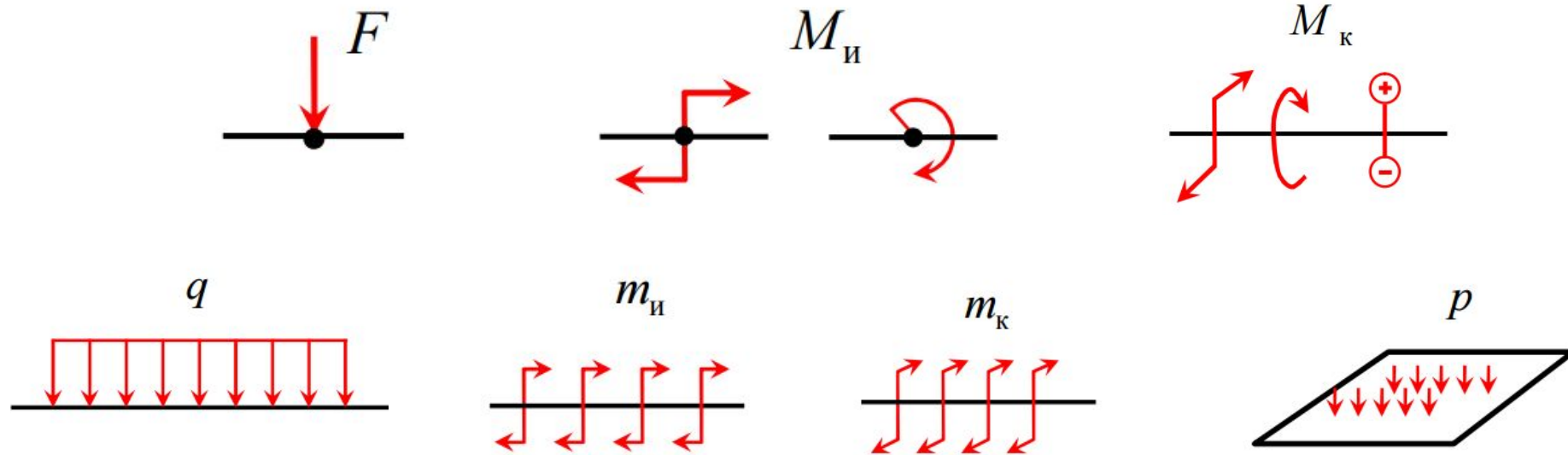
Статическими называются такие нагрузки, которые передаются на сооружение настолько медленно, что не вызывают возникновения в его элементах механических колебаний, а следовательно, и сил инерции.

Динамическими называются такие нагрузки, которые прикладываются к сооружению с большой скоростью, вызывая возникновение механических колебаний элементов и инерционных сил, существенно влияющих на напряженно-деформированное состояние конструкций.

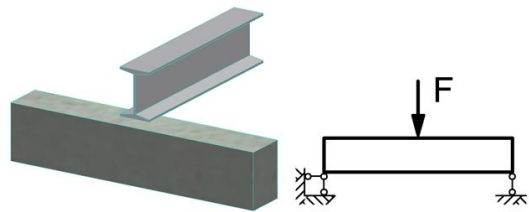
Подвижными называются такие нагрузки, которые со временем изменяют свое положение на элементах сооружения. К их числу относятся нагрузки от транспорта (поезда, автомобили и т.п.), которые, как правило, являются динамическими. Неподвижными называются такие нагрузки, которые не меняют своего положения в течение времени

НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

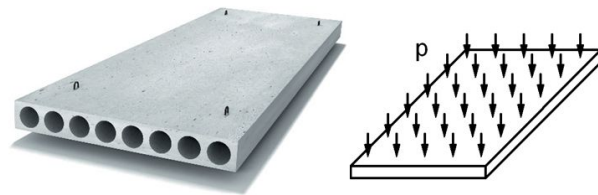
Все нагрузки можно представить в виде **сил F и моментов** (изгибающих $M_{\text{и}}$ и крутящих $M_{\text{к}}$). И те и другие могут быть как **сосредоточенными**, так и **распределенными по линии q , $m_{\text{и}}$, $m_{\text{к}}$ или по поверхности**.



а)

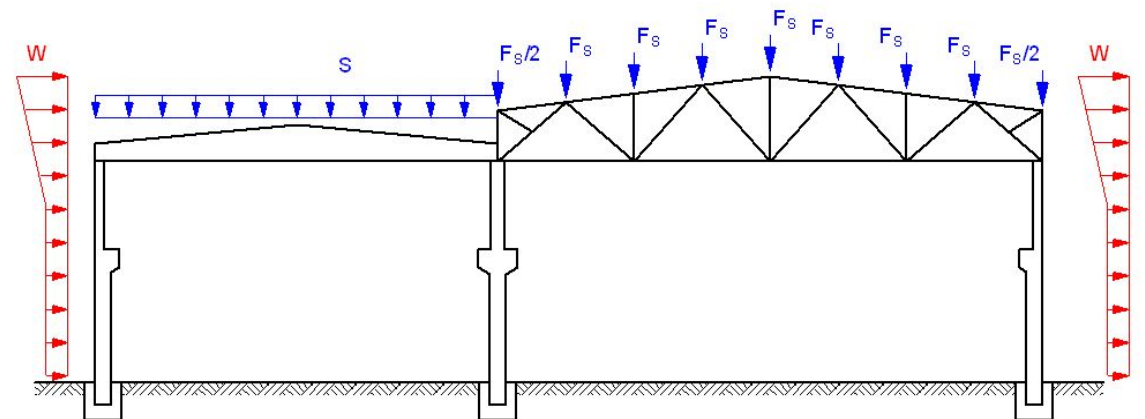


б)

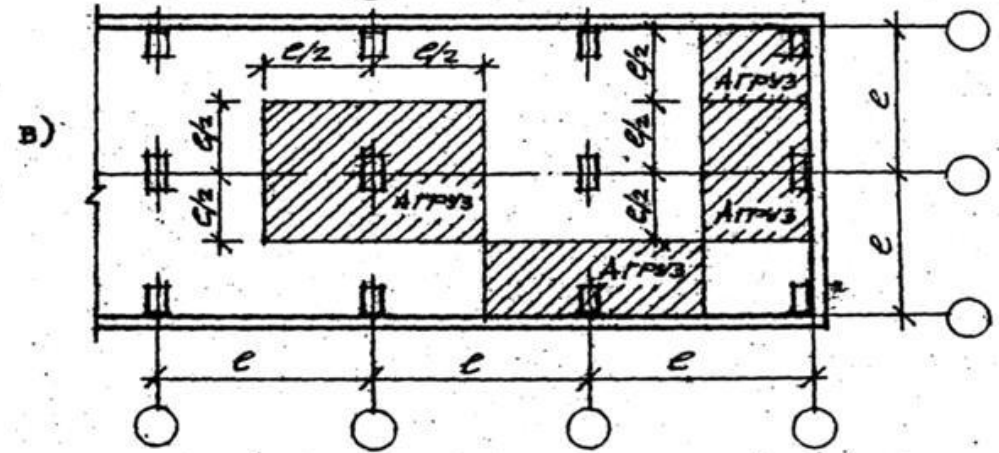
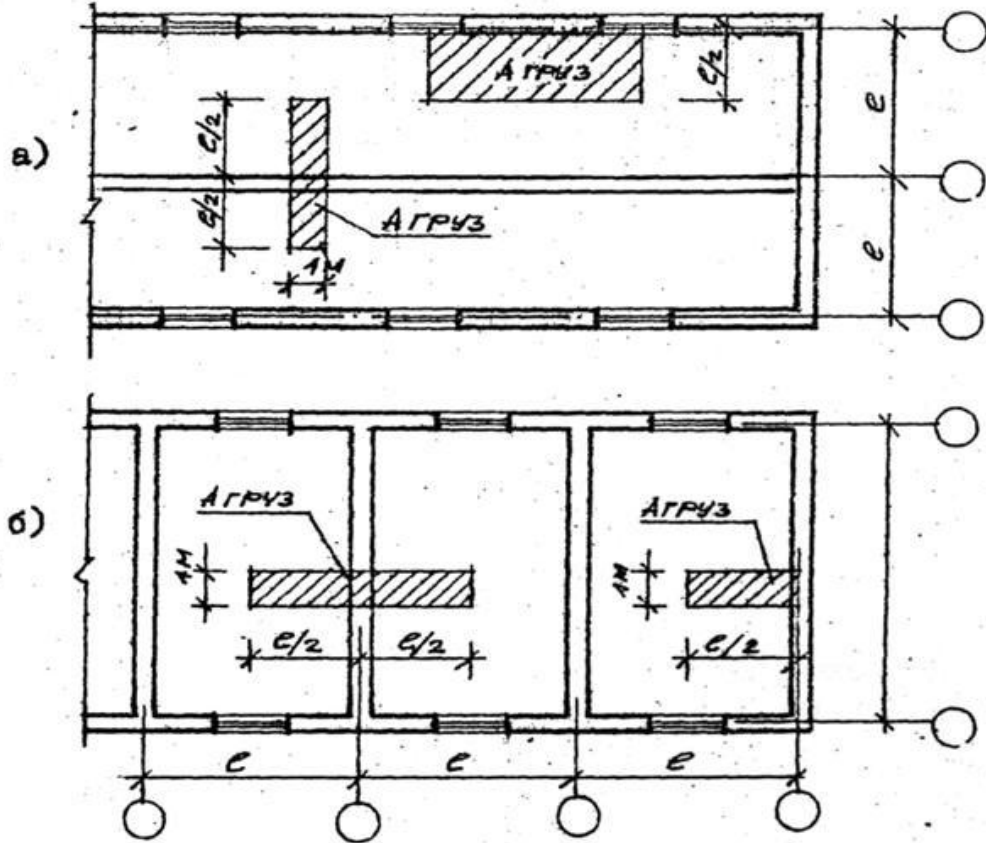


а) сосредоточенной; б) распределенной

Схемы приложения нагрузок

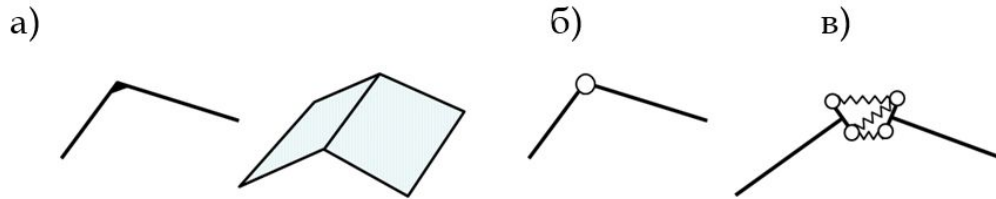


ГРУЗОВЫЕ ПЛОЩАДИ ПРИ СБОРЕ НАГРУЗОК



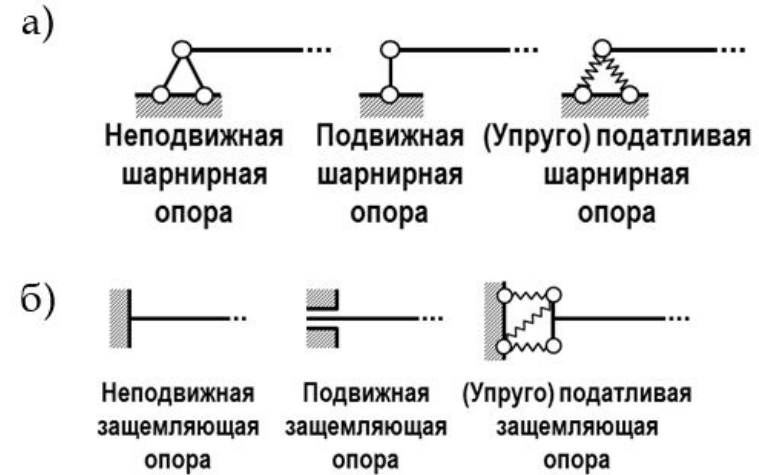
ОПОРЫ И УЗЛЫ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Взаимное соединение элементов стержневых, пластинчато-оболочечных или массивных конструкций выполняют таким образом, что их можно представить либо в виде шарниров (шарнирное соединение), либо в виде жёсткой заделки (жёсткое соединение).



а) жесткое; б) шарнирное; в) упругоподатливое

Изображение на расчетной схеме соединений элементов



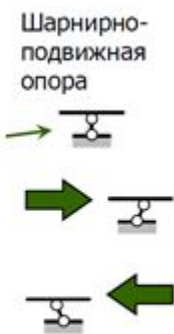
а) шарнирные опоры; б) заземляющие опоры

Шарнир – это идеальное устройство соединения элементов систем и систем с основанием, которое не передаёт изгибающий момент, то есть **не препятствует взаимному повороту** соединяемых элементов.

Жёсткое соединение – это такое устройство соединения элементов систем и систем с основанием, которое характеризуется **полной взаимной неподвижностью** его элементов.

В реальных сооружениях выполнить идеальное шарнирное или жёсткое соединение элементов практически невозможно. Фактически любой узел в стержневой системе является **упруго-податливым**, то есть в нём даже при жест-ком соединении элементов допускается некоторое ограниченное взаимное перемещение

ОПОРЫ И УЗЛЫ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ



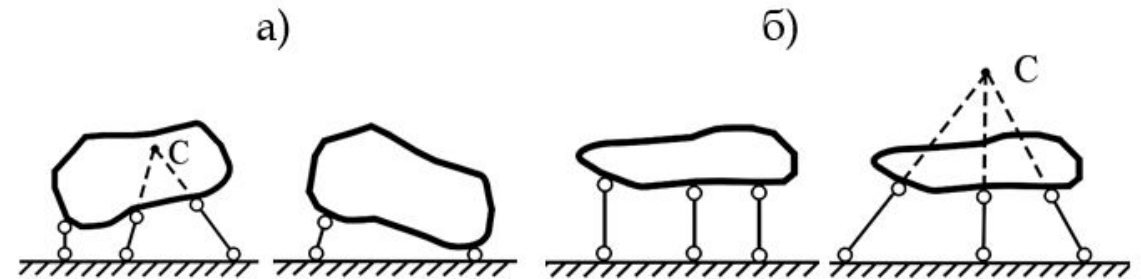
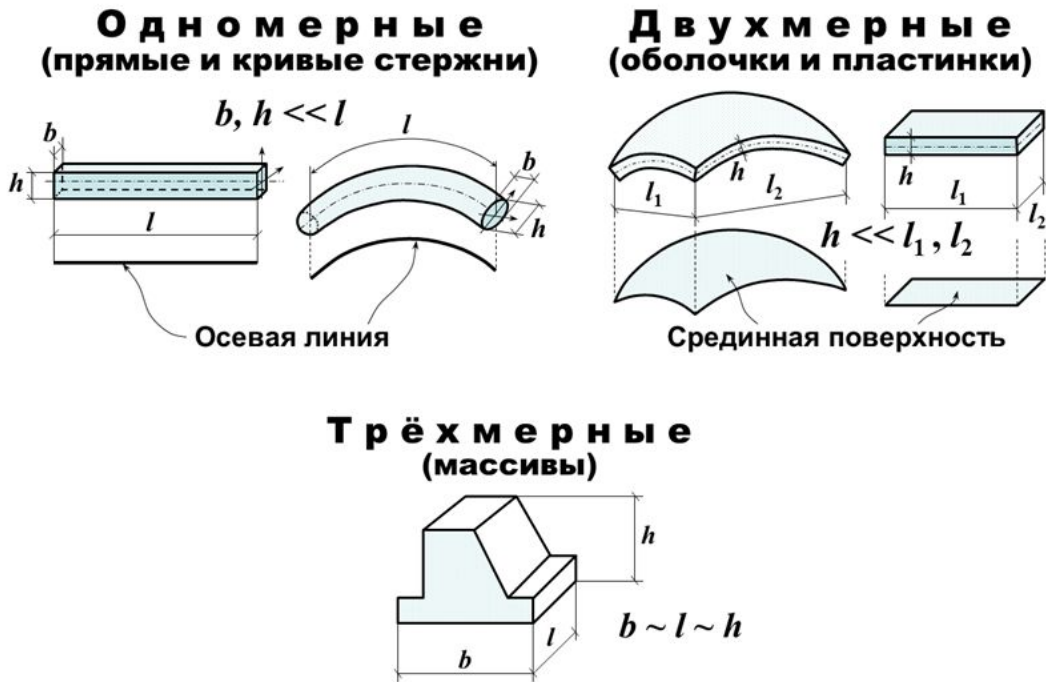
Шарнирно-неподвижная опора



ПОНЯТИЕ О РАСЧЕТНОЙ СХЕМЕ СООРУЖЕНИЯ

Расчётная схема – это некоторая условная идеализированная схема действительного сооружения, которая отражает наиболее важные его свойства и закономерности поведения при определённых внешних воздействиях и не учитывает второстепенных факторов, предполагаемых в каждом конкретном случае несущественными.

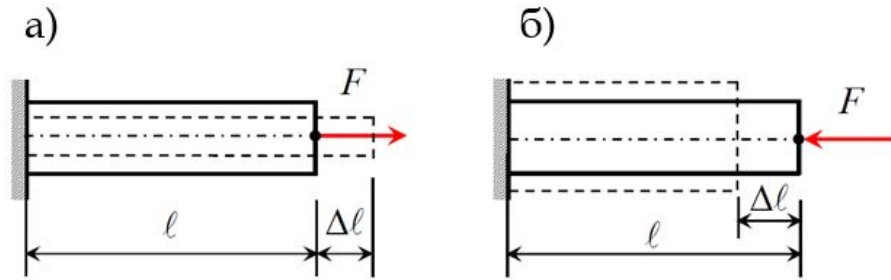
Важнейшим условием при проектировании сооружений является необходимость обеспечить рациональность соединения всех его элементов. Это означает, что необходимо правильно выбрать опорные связи, соединения и их количество. Они должны быть расположены таким образом, чтобы система была **геометрически неизменяемой**. Геометрически изменяемые системы в качестве



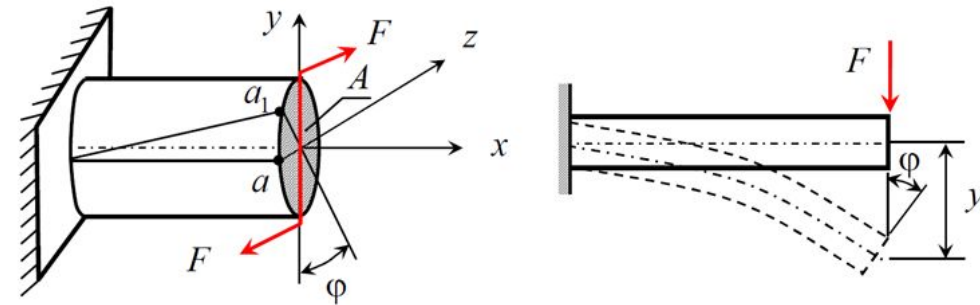
ПОНЯТИЕ О НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ

Под воздействием внешних сил тела изменяют свои размеры и форму. Это изменение носит общее название – **деформация**.

Деформации разделяют на **упругие** и **пластические**. Упругими деформациями называются такие изменения размеров и формы тела, которые исчезают после удаления внешних нагрузок (тело полностью восстанавливает свою прежнюю форму). При пластической деформации после удаления внешних нагрузок форма и размеры тела не восстанавливаются. Оставшиеся разности размеров называют **остаточными деформациями**.

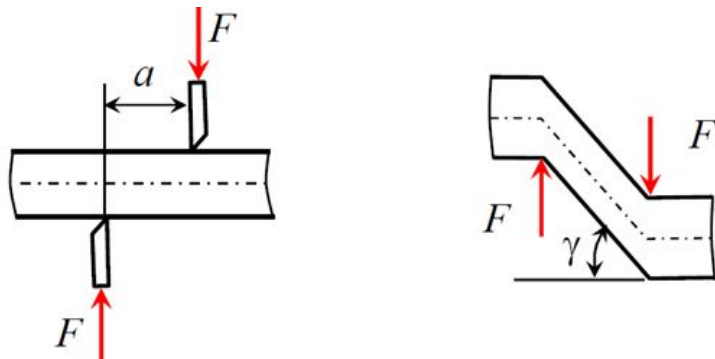


Растяжение (а) или сжатие (б) стержня



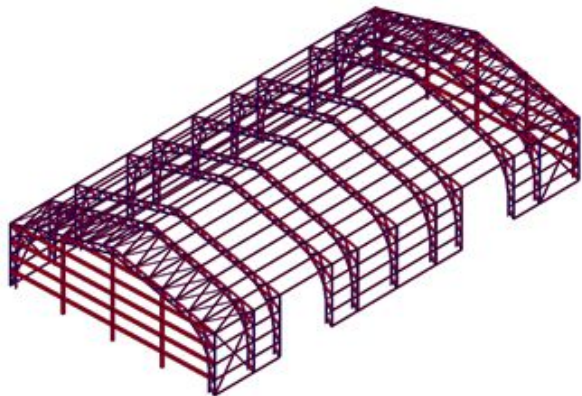
Кручение стержня

Изгиб стержня



Срез и сдвиг стержня (слева направо)

а)

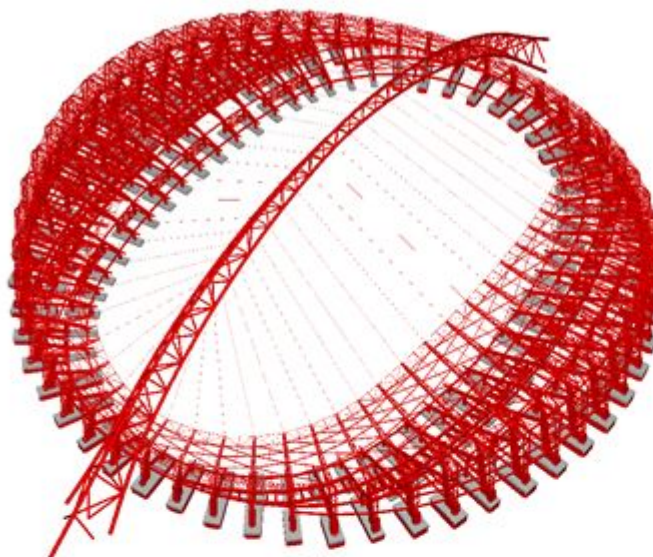


б)

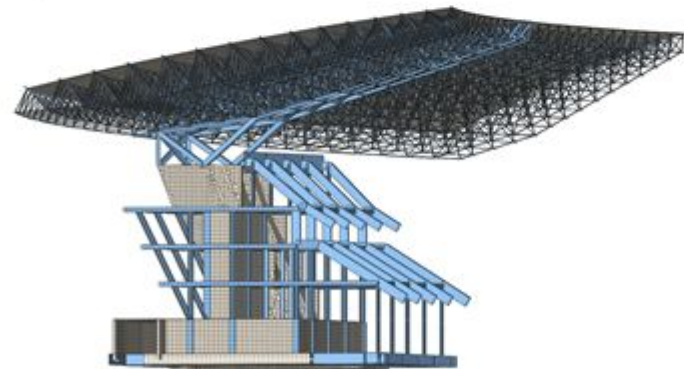


а) промышленного здания; б) жилого здания

а)



б)



а) стадиона; б) трибун стадиона;
в) башни для средств связи

в)



**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ**