

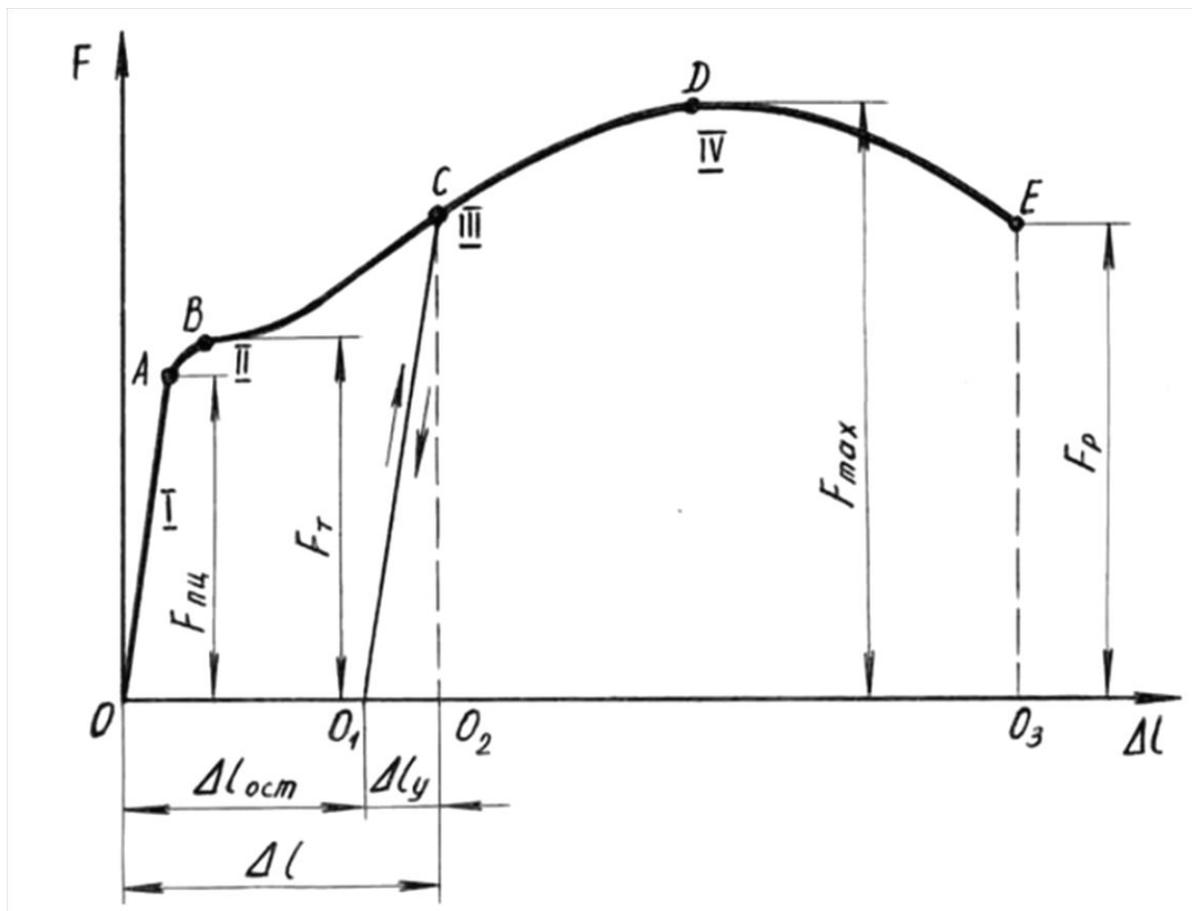
Кафедра «Металлические и деревянные конструкции»
курс «Металлические конструкции», 1 ч.

лекция № 5. «Работа стали под нагрузкой, методы
расчёта, виды нагрузок, сочетания нагрузок»

Лектор ст. преподаватель кафедры «МиДК»
Крайнов Андрей Викторович

Работа стали под нагрузкой. Растяжение

Рассмотрим работу стального стержня, нагруженного растягивающей силой. Идеализированная диаграмма зависимости относительного удлинения от растягивающего усилия (напряжения) известна как диаграмма Гука.



Ранее было произведён анализ каждого участка на кривой этой диаграммы и были выделены основные участки: участок прямой пропорциональности (O-A), участок текучести (A-B) и т.д.

Также было отмечено, что стали с более высокими прочными данными как правило, менее пластичны и площадка текучести может отсутствовать вообще.

Работа стали под нагрузкой. Растяжение

Относительное удлинение, остающееся после разрушения образца, является очень важным показателем пластичности, и, следовательно, надёжности стали.

В массовом строительстве обычно применяют сталь с относительным удлинением 22-30%. Обычно такой параметр имеет малоуглеродистая сталь. Что бы не учитывать возможные удлинения стали при переходе в зону текучести и в зону самоупрочнения, как правило **пределом прочности для стали назначают предел пропорциональности.**

Основная линейная зависимость между напряжением G и относительным удлинением выражается формулой

$$G_x = E \cdot \varepsilon$$

Где E – постоянная величина, равная 206000 МПа и называется модуль упругости.

Работа стали под нагрузкой. Растяжение

Учитывая, что относительное удлинение это отношение удлинения к длине

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

И учитывая, что удлинение равно

$$\Delta L = \frac{N \cdot L}{E \cdot A}$$

Получим зависимость между напряжением в сечении от действующей на него нагрузки и площади элемента.

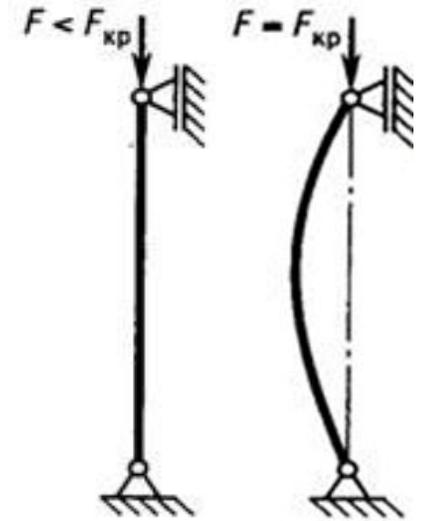
$$G_x = E \cdot \varepsilon = E \cdot \frac{\Delta L}{L} = \frac{E \cdot N \cdot L}{E \cdot L \cdot A} = \frac{N}{A}$$

Отношение продольной силы к площади сечения не должны превышать предела текучести

$$G_x = \frac{N}{A} \leq G_T$$

Работа стали под нагрузкой. Сжатие

Рассмотрим стержень, подверженный центральному сжатию. Для простоты понимания работы будем считать, что стержень сплошного сечения. Из простых логических соображений мы понимаем, что стержень нормально работает, пока внешняя нагрузка не превысит какого то предельного значения. И после достижения этого значения, стержень начнёт выгибаться и при определённом выгибе произойдёт так называемая потеря устойчивости и стержень прекратит свою работу.



В курсе «сопротивление материалов» уже приходилось сталкиваться с исследованиями Эйлера (примерно 1707-1783 гг.), который вывел зависимость между сжимающей силой, сечением, длиной и материалом.

$$\frac{\pi^2 \cdot EI}{L^2} \leq N$$

Работа стали под нагрузкой. Сжатие

Чуть позднее, было предложено выделить из формулы некоторые показатели и заменить их определёнными логическими коэффициентами.

Как известно, что вероятность выпучивания стержня возрастает с его длиной и зависит от геометрии сечения, было предложено ввести новую характеристику сечения – гибкость.

$$\lambda = \frac{L}{i}$$

Где L – это длина элемента, а i – это радиус инерции сечения.

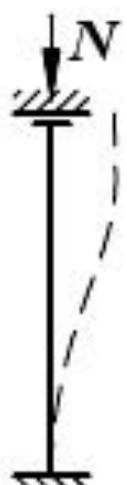
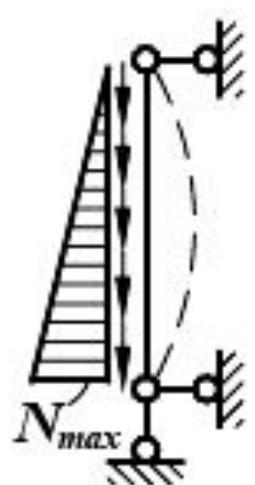
Учитывая, что стержень может иметь две плоскости сечения (различные друг от друга), в расчётах вводятся понятие гибкости в плоскости. В тоже время закрепление стержня влияет на вероятность выхода из плоскости и поэтому геометрическую длину стержня приводят к расчётной длине.

В практических расчётах, в зависимости от условия закрепления в каждой плоскости, условие гибкости записывают так:

Работа стали под нагрузкой. Сжатие

$$\lambda_x = \frac{L_x \cdot \mu_x}{i_x}, \quad \lambda_y = \frac{L_y \cdot \mu_y}{i_y}$$

Где μ - это коэффициент, учитывающий условие закрепления стержня.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Схема закрепления колонны (стойки) и вид нагрузки								
μ	1,0	0,7	0,5	2,0	1,0	2,0	0,725	1,12

Работа стали под нагрузкой. Сжатие

Проводя формулу Эйлера $\frac{\pi^2 \cdot EI}{L^2} \leq N$ к напряжениям, получим

$$\frac{\pi^2 \cdot EI}{L^2 \cdot A} \leq G$$

Учитывая, что

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Получим

$$\frac{\pi^2 \cdot E \cdot i^2}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} \leq G$$

Т.е. напряжение в стержне обратно пропорционально квадрату гибкости и, следовательно, гибкость стержня существенно влияет на критические напряжения.

Работа стали под нагрузкой. Сжатие

На практике в формулу вводят некий коэффициент

$$\varphi = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2 \cdot [G]^2}$$

Который называется **коэффициент продольного изгиба** и напряжение в стержне можно записать в более компактном виде

$$\frac{N}{\varphi \cdot A} \leq G_T$$

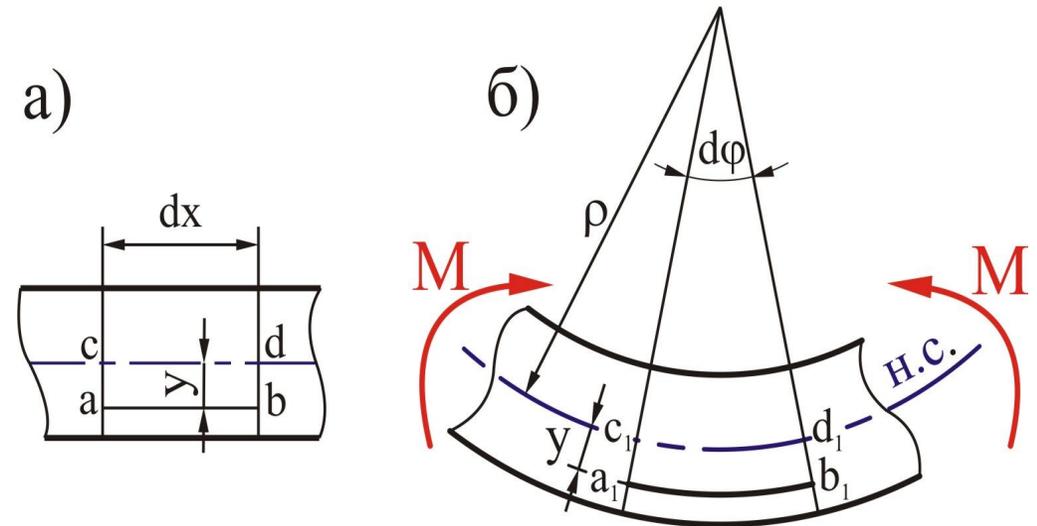
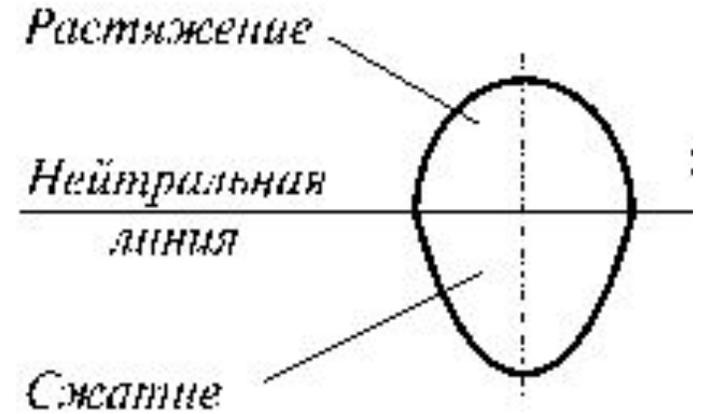
Коэффициент φ вычисляется по приведённым в Нормируемой литературе формулам или по специальным таблицам, в зависимости от типа сечения и физических характеристик материала.

Работа стали под нагрузкой. Изгиб

При изгибе элемента какая то часть сечения находится в зоне растяжения, а какая то часть – в зоне сжатия. Границей между этими зоной называют нейтральная ось или линия.

Изгибаемый элемент приобретает изгиб относительно какого то центра, находящегося на расстоянии ρ от центра изгиба до нейтральной линии. Если принять расстояние от какого слоя в до нейтральной линии за Y , то его относительное удлинение будет равно

$$\varepsilon = y \frac{d\varphi}{dx} = \frac{y}{\rho}$$



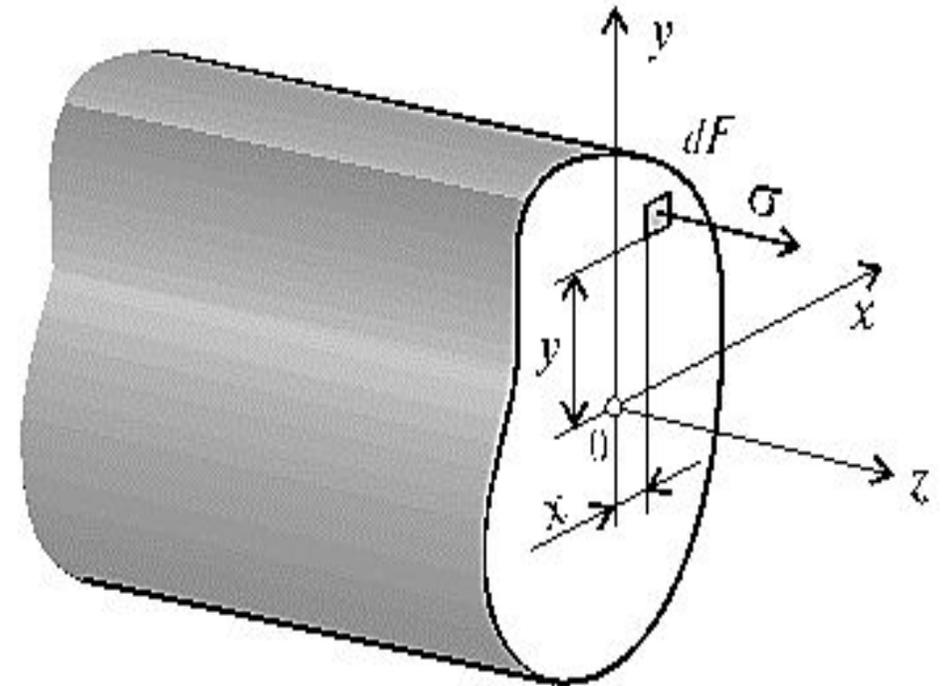
Работа стали под нагрузкой. Изгиб

Если предположить, что слои не «давят» друг на друга, то можно принять, что каждый слой находится в условии простого сжатия или растяжения. В этом случае закон Гука можно записать в форме

$$G = E \cdot \varepsilon = E \cdot \frac{y}{\rho}$$

Из курса сопромата известно, что между изгибающим моментом и напряжением в точке на расстоянии y существует зависимость

$$M_x = \int_A G \cdot y \, dA = \frac{E}{\rho} \int_A y^2 \, dA = \frac{E}{\rho} \cdot I_x$$



Работа стали под нагрузкой. Изгиб

Если $1/\rho$ это кривизна бруса, а EI – это изгибная жёсткость, то мы можем получить значение напряжений при изгибе

$$G = \frac{M_x \cdot y}{I_x}$$

Учитывая одинаковую работу кристаллической решётки на сжатие и изгиб, то напряжения при изгибе не должно превышать предела текучести

$$G = \frac{M_x \cdot y}{I_x} \leq G_T$$

В симметричных сечениях относительно плоскости изгиба, когда расстояние от нейтральной оси одинаково до противоположных крайних слоёв, напряжение при изгибе запишется в виде

$$G = \frac{M_x}{W_x} \leq G_T$$

Работа стали под нагрузкой. Срез.

При сдвиговых нагрузках в элементе происходит деформация граней на величину δ относительно друг друга. Из курса сопромата известна зависимость между поперечной сдвигающей силой Q и касательных напряжений τ

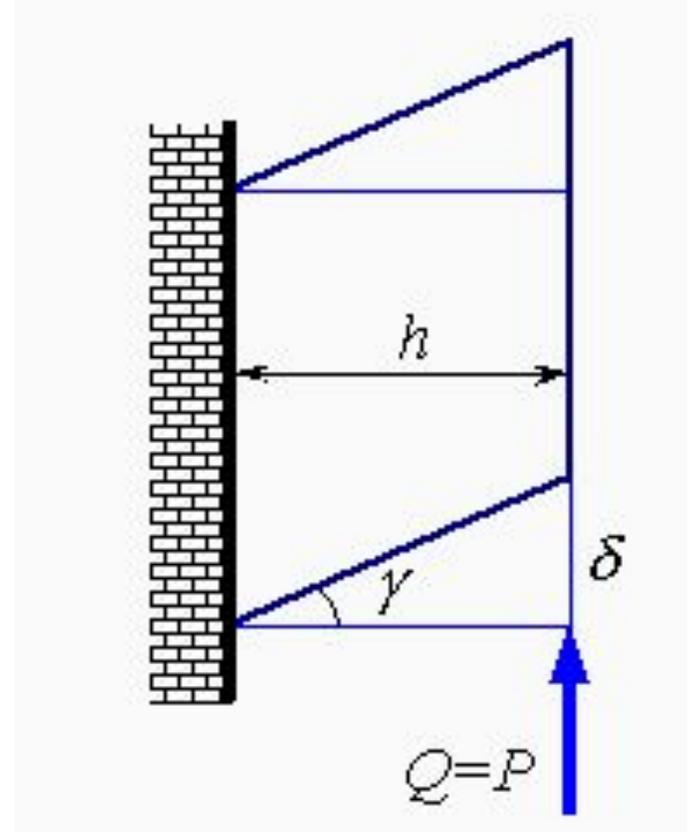
$$Q = \int_A \tau \cdot dA$$

Если принять, что касательные напряжения постоянны по всей площади сдвигаемой площадки, то формулу можно записать как

$$Q = \tau \cdot A$$

Или

$$\tau = \frac{Q}{A}$$



Работа стали под нагрузкой. Срез.

Если записывать условие на срез через закон Гука, то получим, зависимость между касательными напряжениями и деформацией сдвига

$$\tau = G \cdot \gamma$$

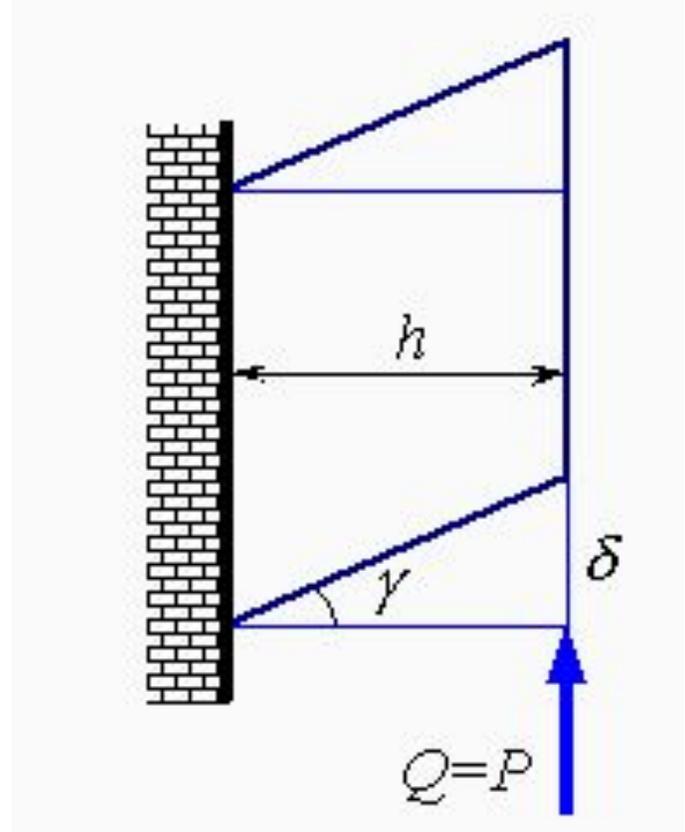
где

$$G = \frac{0.5 \cdot E}{1 + \nu}$$

γ - угол сдвига;

ν - коэффициент Пуассона (для всех сталей равен $\nu=0,3$)

Аналогично можно получить зависимости на любой случай силового или температурного воздействия или получить зависимости деформационного характера.



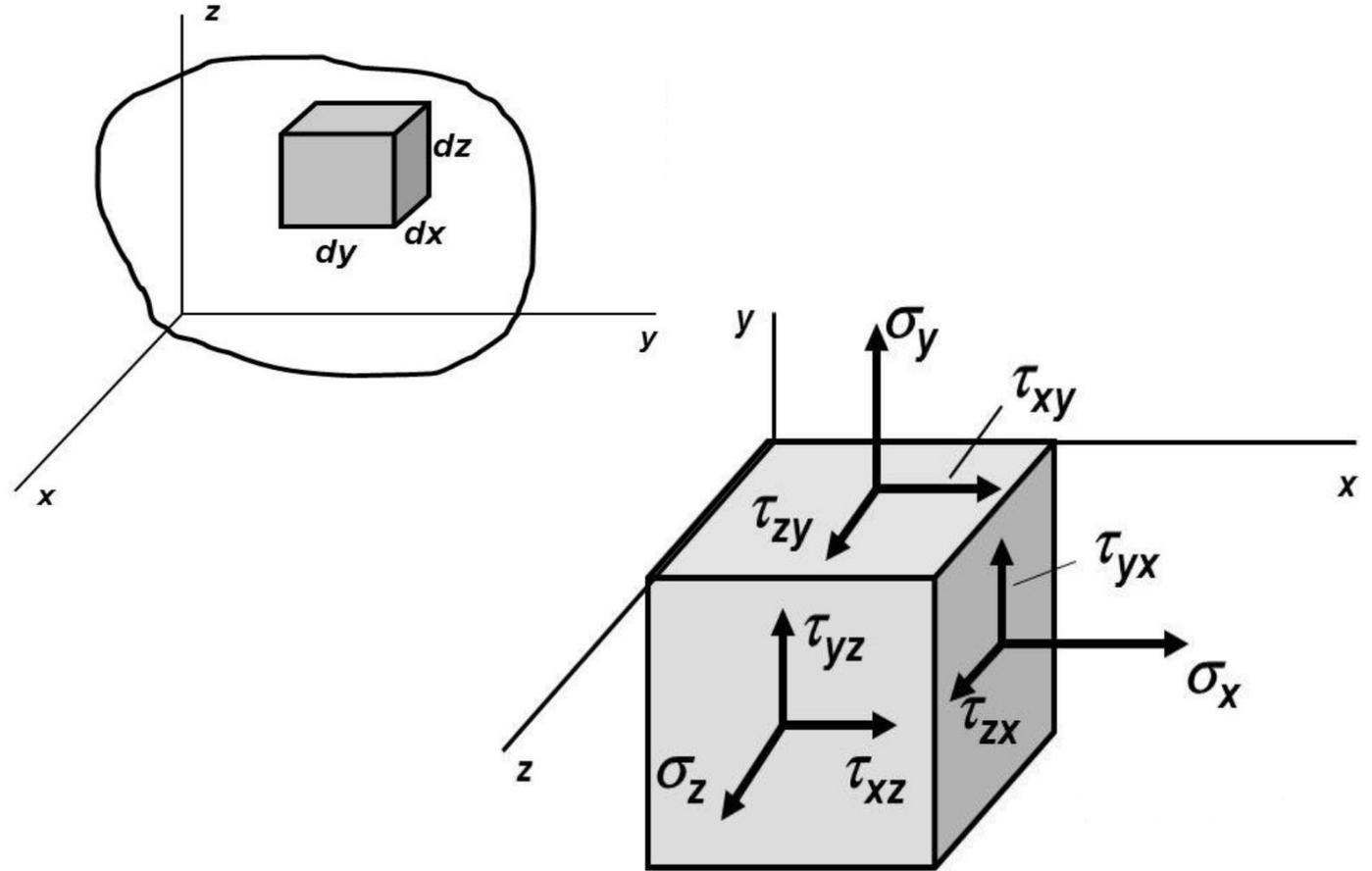
Работа стали при сложном нагружении.

На практике часто конструкция испытывает нагружение в нескольких плоскостях, т.е. работает в сложном напряжённом состоянии.

Рассмотрим бесконечно малый элемент в пространстве.

Из курса «сопротивление материалов» принято, что для объёмного напряжения расчёт ведётся по формуле

$$G_{ef} = \sqrt{G_x^2 + G_y^2 + G_z^2 + (G_x \cdot G_y + G_x \cdot G_z + G_y \cdot G_z) + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)}$$



Работа стали при сложном нагружении.

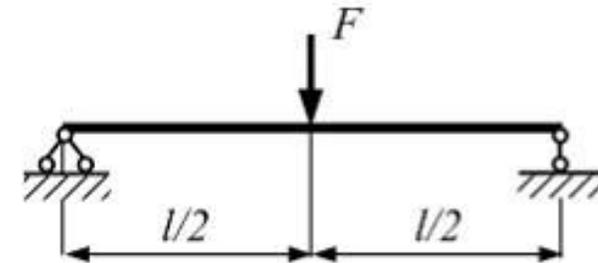
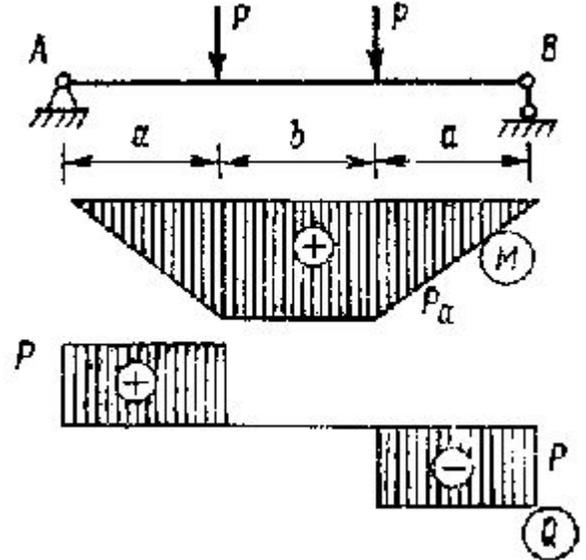
При двухосном напряжённом состоянии формула принимает вид:

$$G_{ef} = \sqrt{G_x^2 + G_y^2 - G_x \cdot G_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2}$$

При простом растяжении или чистом изгибе

$$G_{ef} = G_x$$

При простом изгибе $G_{ef} = \sqrt{G_x^2 + 3 \cdot \tau_{xy}^2}$



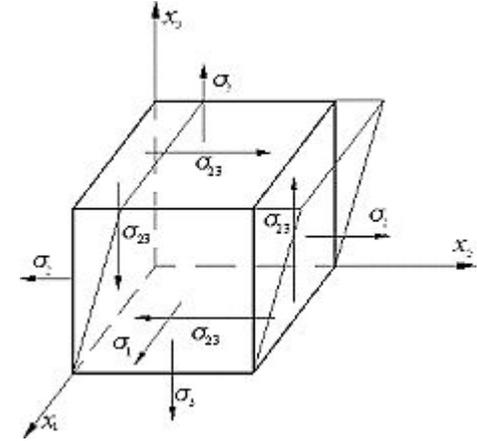
Работа стали при сложном нагружении.

При простом сдвиге

$$G_{ef} = \sqrt{G_x^2 + 3 \cdot \tau_{xy}^2}$$

Выражая касательные напряжения, получим

$$\tau_{xy} = \frac{G_x}{\sqrt{3}} \approx 0,5774 \cdot G_x$$



Методы расчётов конструкций.

До сих пор рассмотренные уравнения или неравенства мы сравнивали с каким то абстрактным допустимым значением, например, предел текучести.

На протяжении долгого времени человека волновал вопрос о прочности конструкций, т.е. ставился вопрос о предельном значении действующих напряжений. Уже в 19 веке проектировщик владел приблизительными численными значениями предела текучести для стали (в основном эти знания получены на основе проведённых испытаний образцов). Но печальный опыт проектирования (аварий) подсказывал проектировщику, что полученные «классические» формулы расчёта на прочность дают несколько иной результат, чем при практической эксплуатации конструкций.

Методы расчётов конструкций.

Что бы каким то образом обеспечить надёжность расчётов был принят метод называемый **метод допускаемых напряжений**. Основой метода является уменьшение предела текучести на определённое значение.

$$G = \frac{N}{A} \leq [G] = \frac{G_T}{k_0}$$

где

G – напряжения от нормативных нагрузок;

$[G]$ – допускаемое напряжение;

G_T – предел текучести стали;

k_0 – коэффициент запаса прочности.

Метод допускаемых напряжений.

Например, для стальных конструкций коэффициент принимался равным 1,8-2,5. С одной стороны проектировщик этим коэффициентом запаса учитывал все неблагоприятные факторы, малоизученные методы расчёта и недостатки существующих методов. С другой стороны этот коэффициент увеличивал металлоёмкость конструкции, что сказывалось на стоимости.

Такой метод расчёта просуществовал достаточно долго (до середины 20 века). Для разных видов загрузки, материалов, видов нагрузок и т.д. вводились свои коэффициенты (но тоже достаточно большие, более 1,5). Предпринимались попытки выполнять расчёты другими методами, пытались систематизировать типы нагрузок, материал область применения и т.д. Также проводился поиск недостатков существующего метода, который имел ряд неопределённостей.

Метод допускаемых напряжений.

1. При расчёте принимались нагрузки, отвечающие нормальным условиям эксплуатации, без учёта вероятности их превышения.
2. Не учитывалась возможность использования в конструкциях материала с пониженным по сравнению с техническими условиями характеристиками.
3. Предполагалось, что действительные условия работы конструкции будут соответствовать принимаемым при расчёте идеализированным условиям.
4. Коэффициент запаса, который должен был учитывать разные факторы, для всех конструкций из данного материала оставался одним и тем же, независимо от назначения и условия работы конструкции в целом и отдельных элементов конструкций. При таком подходе разные конструкции имели разную надёжность.
5. Работа конструкции рассматривалась только в упругой стадии, без учёта пластических свойств материала. Этот фактор достаточно сильно снижал экономичность конструкций.
6. Оставался не ясным вопрос: что произойдёт, если нарушится условие $G \leq [G] = \frac{G_T}{k_0}$?

Метод допускаемых напряжений.

В 1911 г. венгерский учёный Г. Качинчи высказал идею использовать значения нагрузок и характеристик материала статистические методы. Поясним это на примере.

В 1896 г. после съезда "инженеров службы пути" (сегодня бы мы назвали их мостостроители или дорожники) проектировщиками было принято жёсткое решение принимать горизонтальную снеговую нагрузку на кровлю равную 100 кг/м^2 . В реальности, даже человек далёкий от строительства, понимает, что на крышах разной конфигурации снеговая нагрузка тоже разная (пример: снеговые мешки). Конечно, участники съезда это тоже понимали, но вывести метод расчёта снеговой нагрузки вероятностными методами они на тот момент не смогли и принятое решение (100 кг/м^2) с коэффициентом запаса около 2, перекрывал все возможные нюансы. Начиная развитие метрологическая служба начинала собирать данные о снеговой нагрузке в различные годы также подсказывала, что на некоторых крышах снеговая нагрузка редко достигает 100 кг/м^2 и вообще не достигает значения около $180\text{-}200 \text{ кг/м}^2$.

Метод допускаемых напряжений.

Предложенный способ расчёта на основе вероятностных методов был слишком трудоёмок и не было достаточного объёма статистических данных о нагрузках и материалах. В дальнейшие годы учёными европейских стран были проведены многочисленные исследовательские работы по развитию идей венгерского учёного. Особенно большой вклад внёс советский учёный Н.С. Стрелецкий, который в 1951 г. на основании проведённых исследований по изменчивости ряда нагрузок (вес, снег, ветер), свойств стали, уточнение расчётных схем (приближение к фактической схеме) сумел сформулировать ряд предложений по изменению подхода к расчёту конструкций. В основе этого предложения был новый метод расчёта конструкций...

Нагрузки и воздействия.



Отвлечённый пример.

Вам надо перейти через этот мостик. Какой первый вопрос Вы зададите этому мостику? А второй?

Правильно. «**Выдержит ли он меня?**». Т.е. у человека в подсознании первичный вопрос о прочности. а второй вопрос уже больше связан с деформациями или внутренними ощущениями.

Метод расчёта по предельным состояниям.

Метод расчёта по предельным состояниям основывался на не допущении с определённой обеспеченностью наступления предельных состояний при эксплуатации в течение всего заданного срока службы конструкции.

Серьёзным толчком применения нового метода послужило экономическое состояние страны после войны. Огромный спрос на строительные материалы, трудоёмкость изготовления стального проката (а метод допускаемых напряжений подразумевал прокат большого размера), огромный масштаб строительства подталкивал применять пониженные коэффициенты для экономии стали или проводить более точные расчёты.

Необходимо отметить, что ряд стран до сих пор применяют метод предельных напряжений и не переходят на метод расчёта конструкций по предельным состояниям.

Метод расчёта по предельным состояниям.

Метод предполагает учитывать две группы предельных состояний при расчёте на действие статических и динамических нагрузок и воздействий.

Первая группа – потеря несущей способности и (или) полная непригодность к эксплуатации конструкции. К этой группе относят состояния по признакам:

Потеря несущей способности	Непригодность к эксплуатации
Общая потеря устойчивости формы	Состояние, при которых требуется полное прекращение эксплуатации (текучесть, сдвиги в соединениях, ползучесть, перемещения).
Потеря устойчивости положения	
Разрушение (любое)	
Переход системы в изменяемую систему	Чрезмерное раскрытие трещин
Качественное изменение конфигурации	

Метод расчёта по предельным состояниям.

Вторая группа – затруднение нормальной эксплуатации. К этой группе относят состояние конструкций которые снижают нормальную эксплуатацию или снижающие долговечность в следствии появления недопустимых перемещений (прогибов, осадок, углов поворота, колебаний, трещин и т.д.).

Такой подход позволяет избежать или уменьшить все недостатки, которые присутствуют в методе предельных напряжений. Основное неравенство метода предельных состояний теперь можно записать в более понятном выражении:

$$N \leq \Phi$$

Или - усилие, действующие в рассматриваемом элементе (N) должно быть меньше предельного значения, которое может воспринять рассчитываемый элемент (Φ).

Метод расчёта по предельным состояниям.

Как видно из описания первой группы можно сделать вывод, что усилие (N) в рассматриваемой конструкции ни разу не должно превысить значения несущей способности (Ф) за весь срок эксплуатации, т.е. не должно быть достигнуто максимальное значение, ведущее к полному прекращению эксплуатации.

Для второй группы предельных состояний (в основном это перемещения) предельное неравенство запишется в виде

$$f \leq [f]$$

Где

f – фактические перемещения конструкции;

$[f]$ - предельные значения перемещений конструкций, зависящие от назначения конструкции.

Метод расчёта по предельным состояниям.

Учитывая, что **первое** предельное состояние приводит к полной потере несущей способности (фактически идёт речь о прекращении работы вообще), то нагрузки при расчёте по данному предельному состоянию принимают с учётом возможного изменения нормативных значений, т.е. расчёт ведётся на **расчётные нагрузки**.

Предельное состояние **второй** группы в основном описывает нормальную эксплуатацию и при достижении этого состояния конструкция продолжает работать. Учитывая это нагрузки в расчётах применяют **нормативные**, без учёта возможного превышения.

Нагрузки и воздействия. Классификация.

Нормативные и расчётные нагрузки.

Нагрузки, отвечающие нормальным условиям эксплуатации, называют нормативными. Их значение установлено в нормах проектирования (старые нормы СНиП 2.01.07-85*, новые нормы СП 20.13300.2011, СП 20.13300.2016).

Если нет явного описания нагрузки в нормах, то она принимается по техническому заданию, справочникам или на основании каких либо расчётов или наблюдений.

Нагрузки и воздействия. Классификация.

Нормативные и расчётные нагрузки.

Но как уже отмечалось, любая нагрузка имеет отклонение от усреднённой нормативной. Для определения этого отклонения в расчётах вводится понятие **расчётная нагрузка**.

Расчётная нагрузка – это возможное неблагоприятное отклонение значения нормативной нагрузки в большую сторону. Для упрощения расчётов переход нормативной нагрузки к расчётной определяется коэффициентом надёжности по нагрузке γ_f . значение этого коэффициента нормируется в зависимости от характера нагрузки и степени её изменчивости.

Нагрузки и воздействия. Классификация.

Нормативные и расчётные нагрузки.

Для определения веса (нормативное значение) проектировщик обычно пользуется справочниками, а в СП 20.13330.2016 приводятся соответствующие таблицы коэффициентов надёжности по нагрузке γ_f . Например, нормативный вес стали принят 7850 кг/м³, а коэффициент надёжности 1,05. Это означает, что **нормативная** нагрузка будет вычисляться исходя из объёмного веса 7850 кг/м³, например вес листа из стали, размером 500х600х20мм будет равна $0,5*0,6*0,02*7850=47,1$ кг, а **расчётная** нагрузка от этого листа $47,1*1,05=49,455$ кг.

Т.е. проектировщик осознано принимает в прочностных расчётах вес заведомо больший. Т.к. сталь выпускается очень точных размеров, поэтому превышение нагрузки принимается не больше чем в 1,05 раза.

Нагрузки и воздействия. Классификация.



Ж
бо
пр
на
ко
Д
пр
мо
пр
мо

Т
IX
IA
IX
IT
IT
IT
ке

Нагрузки и воздействия. Классификация.

Нормативные и расчётные нагрузки.

Т.е. другими словами расчётные нагрузки представляют собой наибольшие возможные значения нагрузки за все время эксплуатации конструкции. Как правило, обеспеченность расчётных нагрузок превышает 0,998. Формулируя предыдущее высказывание на простом языке можно сказать так "за все время эксплуатации конструкции, нормативная нагрузка иногда может повыситься до значения расчётной. Из тысячи случаев достижения значения нагрузки расчётного значения, только два раза ожидается незначительное превышение этого значения".

При проектировании необходимо учитывать, что коэффициент надёжности по нагрузке учитывает только изменчивость нагрузки и возможное её превышение нормативного значения. Коэффициент не учитывает динамический характер нагрузки и возможного возрастания нагрузки во времени.

Нагрузки и воздействия. Классификация.

Нормативные и расчётные нагрузки.

Любая нагрузка в той или иной степени случайна и при математическом описании может быть выражена в виде совокупности случайных величин, если речь идёт о постоянных нагрузках или выражена в виде случайных функций времени, например ветер. Использование сложного математического статистического аппарата при сборе нагрузок приведёт к тому, что даже на этой стадии сведёт любой конструктивный расчёт на "нет" и задача проектирования окажется вообще не решаемая. Что бы избежать этого в нормах проектирования принимаются значения нагрузок в виде, определённого числа, являющемся детерминированным (усреднённым) значением.

Нагрузки и воздействия. Классификация.

В течение всего периода эксплуатации конструкции постоянно испытывает действие различных нагрузок и воздействий. Нагрузки различают по виду, характеру, типу и интенсивности воздействия.

Проведём классификацию нагрузок по воздействию.

Нагрузки и воздействия. Классификация.

Нагрузки прямого воздействия (вызывающие основные усилия и перемещения в конструкциях)

Нагрузка от собственного веса конструкций	описание, пояснение
Технологические	Вес оборудования, давление жидкостей, газов, сыпучих материалов, вес складированных материалов, людей.
Температурные	Технологические и атмосферные (снег, ветер)
Монтажные нагрузки	
Сейсмические и взрывные	
Аварийные	Нагрузки, возникающие при резком изменении технологического процесса, поломка оборудования, обрыв проводов

Нагрузки и воздействия. Классификация.

Косвенные нагрузки

Биологические	Гниение
Химические	Коррозия
Радиационные	Снижение (изменение) прочностных свойств
другие	Изменение параметров работы элементов

По характеру изменения нагрузки

Статическая нагрузка	Нагрузки, у которых скорость изменения мала или равна 0, т.е. инерционные силы в расчёте можно не учитывать. Пример: собственный вес здания.
Динамическая нагрузка	Нагрузка, скорость изменения достаточно высока, что требует учёта инерционных сил

Нагрузки и воздействия. Классификация.

Необходимо отметить, что нормы проектирования допускают учитывать динамическую нагрузку (т.е. статическая нагрузка с быстроизменяющейся интенсивностью) как статическая с домножением на коэффициент динамичности. При действии на конструкцию переменных многократных повторяющихся нагрузок в конструкциях могут возникать усталостные разрушения. При воздействии таких нагрузок необходимо проверить конструкцию на **выносливость**.

Нагрузки и воздействия. Классификация.

В зависимости от продолжительности действия нагрузки делятся на:

постоянные	Нагрузки, действующие на конструкцию постоянно, например, собственный вес.	
Временные	Длительные	Нагрузки, действующие длительное время, например, вес технологического оборудования, вес складироваемых материалов, давление в резервуарах. В северных районах часто принимают снег.
	Кратковременные	нагрузки, действующие небольшой период времени, например, крановая, ветер, монтажная, температурная, иногда снег
	особые	Нагрузки, действующие в сложных и редких условиях, например, взрыв, сейсмические воздействия, просадка грунта и т.д.

Нагрузки и воздействия. Сочетания нагрузок

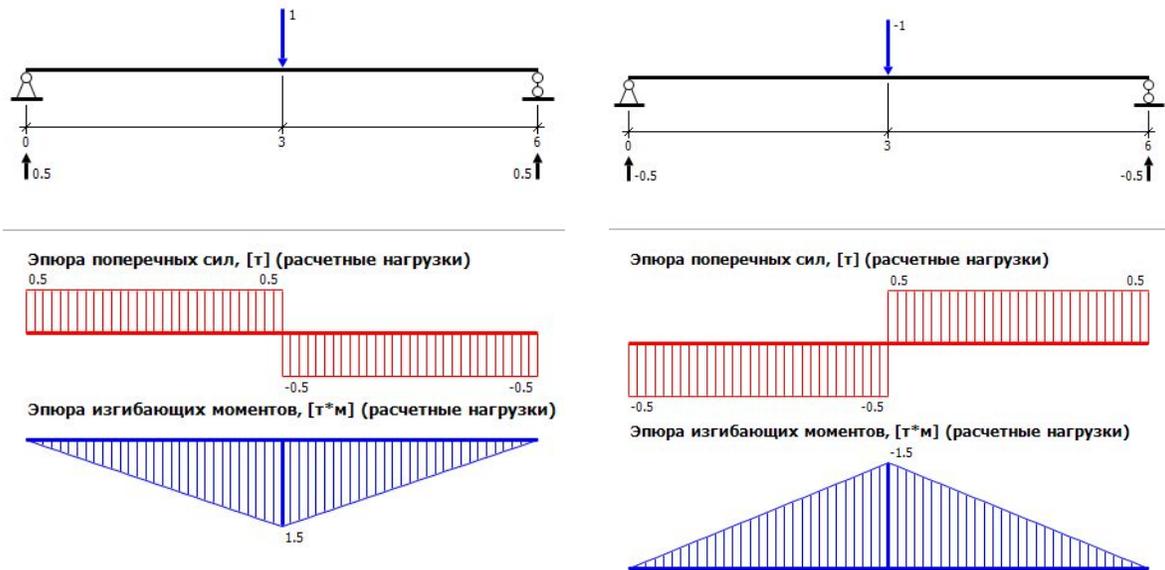
В курсе сопротивления материалов или строительной механики часто решалась задача определения внутренних усилий в элементах от чётко определённых нагрузок, действующих одновременно. В реальном проектировании на конструкцию действуют множество разнообразных нагрузок, которые действуют, как одновременно, так и разновремененно. Часто проектировщик не в состоянии предугадать, какие именно нагрузки могут действовать на конструкцию в определённый момент времени и создавать в конструкции максимальные напряжения или усилия. Если считать, что вся существующая нагрузка действует на конструкцию одновременно, то мы может получить:

- Нулевой" результат (две нагрузки с разным знаком)
- Заниженный результат
- Не верный результат (пример знакопеременной нагрузки)
- Завышенный результат.

Нагрузки и воздействия. Сочетания нагрузок

Рассмотрим варианты проявления возможных ошибок при нескольких нагрузках, которые могут действовать одновременно.

Рассмотрим балку загруженной двумя разными силами одинаковые по значению, но направлены в разные стороны.

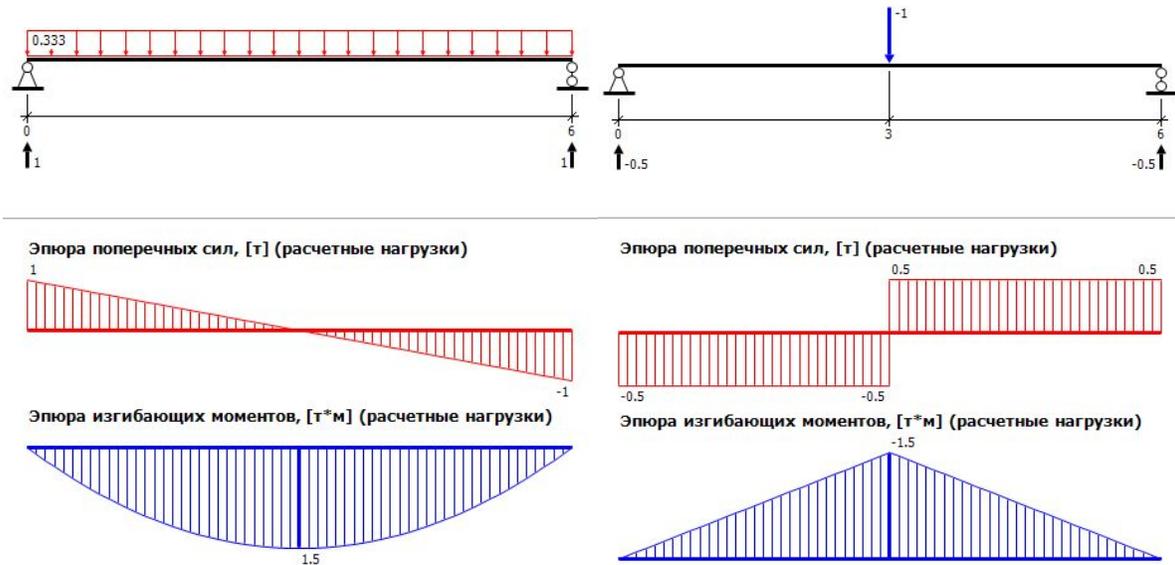


Значение поперечной силы и изгибающих моментов будут одинаковые численно, но разного знака. При одновременном действии двух этих сил изгибающий момент и поперечная сила будут равны нулю.

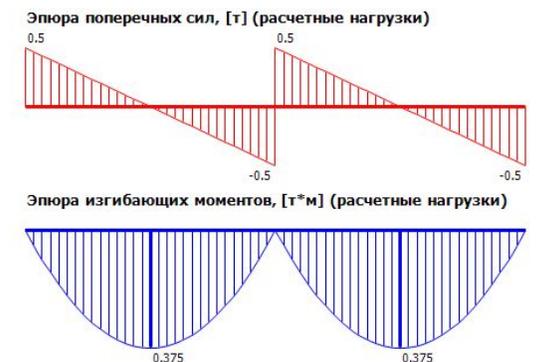
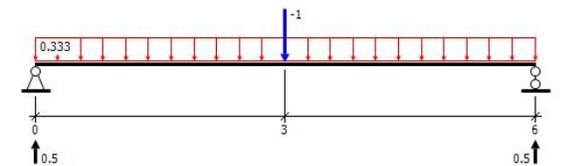
Т.е. если проектировщик по какой то причине «сложит» нагрузки и проведёт расчёт, то он получит не верный результат.

Нагрузки и воздействия. Сочетания нагрузок

Пример №2. Загрузим балку равномерной нагрузкой $=0,333$ и сосредоточенной силой по середине пролёта $= -1$.



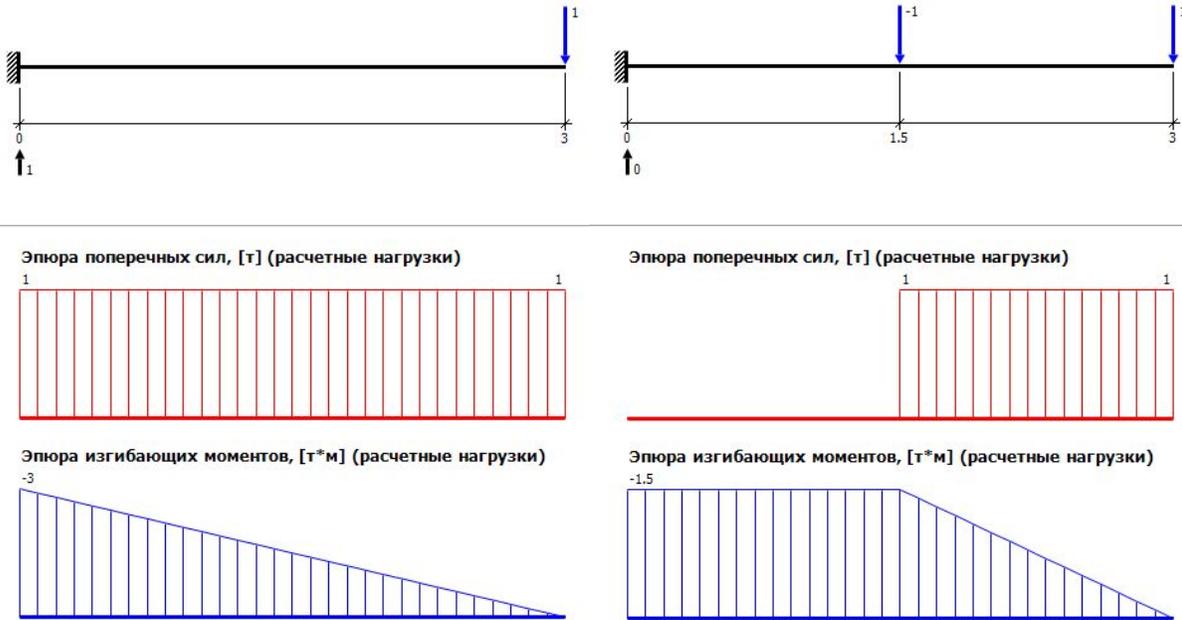
Как видно из эпюр, численно изгибающий момент одинаков, но значение поперечной силы отличается в два раза!!!



Если одновременно применить в расчётах обе нагрузки, то значение изгибающего момента уменьшится в 4 раза!!!, а поперечная сила не превысит 0,5!!!. Т.е. мы «пропустим» нужные значения усилий в балке!!!!

Нагрузки и воздействия. Сочетания нагрузок

Пример №3. рассмотрим консоль, загруженную сначала нагрузкой $=1$ на конце консоли и рассмотрим вариант появления нагрузки по середине консоли нагрузки $= -1$.



В данном примере поперечная сила в стержне консоли остаётся равной в обоих случаях единице, а изгибающий момент уменьшился в два раза.

Нагрузки и воздействия. Сочетания нагрузок

Такие простые примеры показывают, что нельзя собирать все нагрузки «в одну кучу» и прикладывать одновременно на конструкцию. Такой подход может пропустить максимальное значение усилий в конструкции и, соответственно, принять заведомо меньшее сечение, что неминуемо приведёт к аварии.

В тоже время проектировщик должен осознавать и понимать характер нагрузки, возможные отклонения нагрузки по значению и направлению действия и должен уметь прогнозировать какие нагрузки могут действовать самостоятельно, а какие могут быть задействованы только совместно с другими.

Нагрузки и воздействия. Сочетания нагрузок

Например, собственный вес конструкции - это самостоятельная нагрузка, действующая всегда, в одном направлении и не зависит от других нагрузок.

Ветровая нагрузка – это самостоятельная, периодически появляющаяся нагрузка и может быть знакопеременная (ветер может подуть и справа и слева). Нагрузка может менять значение из за конфигурации здания (ветер по разному обдувает резервуар и плоский дом), высоты (чем выше, тем сильнее дует ветер) и зависит от места расположения (конструкция находится внутри застроенного квартала или на берегу моря).

Снеговая нагрузка – это самостоятельная , периодически появляющаяся нагрузка, направленная как правило в одну сторону (вниз). Значение может меняться из за конфигурации кровли (снеговые мешки).

Нагрузки и воздействия. Сочетания нагрузок

Например, крановые нагрузки также являются периодическими (кран приехал - кран уехал). Особенностью крановых нагрузок является изменяющиеся величины давления от колёс крана при передвижении каретки (каретка с крюком может приехать влево, а может и вправо). Причём давление колёс всегда направлено вниз, а вот сама каретка при движении может создавать усилия горизонтальные и особенностью является, что это усилие может быть знакопеременное (когда каретка начинает движение или тормозит, она как бы «толкает» горизонтально кран, а он через колеса, создаёт горизонтальные нагрузки на подкрановые конструкции и на весь каркас целиком). Крановые нагрузки (вертикальные и горизонтальные) всегда применяют совместно: кран без тележки – это не кран, а тележка без крана не может существовать.

Нагрузки и воздействия. Сочетания нагрузок



Нагрузки и воздействия. Сочетания нагрузок

Метод допустимых напряжений, который ранее применялся для расчётов подразумевал, что проектировщик аналитически находит комбинацию нагрузок и одновременно прикладывает их к конструкции. Возможные упущения компенсировались большим коэффициентом запаса.

Предложенный метод предельных состояний предполагает, что для выбора комбинации нагрузок, которая даёт максимальные усилия, необходимо проводить расчёт на каждое загрузение отдельно и потом методом перебора находить неблагоприятную комбинацию. Причём при переборе проектировщик составляет реально возможные комбинации нагрузок, например: вертикальная нагрузка от кранов обязательно будет принята с горизонтальной тормозной нагрузкой тележки, но проектировщик не допустит одновременного случая нахождения тележки справа и слева в пролёте. Точно также ветер не может дуть и слева и справа на здания.

Нагрузки и воздействия. Сочетания нагрузок

Для расчета сочетания нагрузок нагрузки разделены по типу в зависимости от продолжительности воздействия.

P_d - постоянные нагрузки. К ним относят вес конструкций и все те нагрузки, которые постоянно воздействуют на конструкции (вес грунта).

P_L - временные длительные нагрузки. К ним относят вес перегородок, вес станков, оборудования, вес жидкостей и газов в резервуарах, складированные материалы, слой воды, слой пыли и т.д.

P_t - кратковременные нагрузки. К ним относят снеговые, ветровые, крановые, подъёмники, лифты, вес людей и животных, временное оборудование и т.д.

P_s - особые временные нагрузки. К ним относят нагрузки от взрывов, сейсмические и т.п.

Нагрузки и воздействия. Сочетания нагрузок

В зависимости от состава нагрузок различают две категории расчётных сочетаний нагрузок:

Основное сочетание нагрузок. Это одновременный учёт постоянных нагрузок с длительными и кратковременными нагрузками.

$$S_m = P_d + (\Psi_{1,1} * P_{1,1} + \Psi_{1,2} * P_{1,2} + \Psi_{1,3} * P_{1,3} + \dots) + \Psi_{t,1} * P_{t,1} + \Psi_{t,2} * P_{t,2} + \Psi_{t,3} * P_{t,3} + \dots$$

- $\Psi_{L,i}$ ($L=1,2,3\dots$) – коэффициенты сочетаний для длительных нагрузок.
- $\Psi_{t,i}$ ($t=1,2,3\dots$) – коэффициенты сочетаний для кратковременных нагрузок.

Если нет особых условий по применению и значению коэффициента сочетаний, то значение коэффициентов принимаются следующие:

Для равномерных распределённых **длительных** нагрузок

$$\Psi_{1,1} = 1,0, \Psi_{1,2} = \Psi_{1,3} = \dots = 0,95$$

Где $\Psi_{1,1}$ – коэффициент сочетаний, соответствующий основной степени влияния длительной нагрузке;

$\Psi_{1,2}$, $\Psi_{1,3}$ - коэффициенты сочетаний для остальных дополнительных нагрузок.

Для остальных нагрузок коэффициент принимается равным 1.

Нагрузки и воздействия. Сочетания нагрузок

Для кратковременных нагрузок

$$\Psi_{t,1} = 1,0, \Psi_{t,2} = 0,9, \text{ далее } \Psi_{t,3 \dots} = 0,7$$

Где $\Psi_{t,1}$ – коэффициент сочетаний, соответствующий основной степени влияния кратковременной нагрузке;

$\Psi_{t,2}$ – коэффициенты сочетаний соответствующей второй кратковременной нагрузке.

Особое сочетание нагрузок. Это одновременный учёт постоянных, длительных, кратковременных и одной особой нагрузки.

$$C_s = C_m + P_s$$

C_m – нагрузка для основного сочетания.

C_s – нагрузка для особого сочетания.

Bce!!!