

# ИНЖЕНЕРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ



# ВВЕДЕНИЕ

1. Курс «Инженерные конструкции» относится к **общеинженерным дисциплинам;**
2. является базовым для изучения специальных профилирующих дисциплин, обеспечивающих профессиональную подготовку бакалавров по направлению **водное хозяйство и строительство.**

Он основывается на знаниях общетеоретических и технических дисциплин, таких, как:

1. теоретическая механика,
2. сопротивление материалов,
3. строительная механика,
4. строительные материалы.

# Цель изучения дисциплины

Цель изучения дисциплины «Инженерные конструкции» состоит в том, чтобы:

**1. научиться проектировать технически целесообразные конструкции водохозяйственного комплекса, отвечающие требованиям:**

- прочности,
- жесткости,
- трещиностойкости,
- долговечности,
- экономичности и т. п.;

**2. навыки по расчету и конструированию конструкций,**

- пользованию нормами и инструкциями,
- рабочими чертежами,
- правочной и технической литературой;

**3. понять роль науки в развитии теории расчета и создании прогрессивных конструкций для водохозяйственного комплекса.**

В результате изучения дисциплины будущий специалист должен:

- *владеть методами расчета конструкций* на прочность и устойчивость, основными принципами конструирования элементов;
- *знать основные свойства материалов, положения расчета конструкций по предельным состояниям,* основные принципы проектирования конструкций водохозяйственного назначения (затворы, трубы, каркасные сооружения, лотковые каналы и т. п.);
- иметь представление *о сортаменте сталей и пиломатериалов, унифицированных железобетонных изделий,* расчете конструкций с учетом пластических свойств материалов и перераспределения усилий, экспериментальных исследованиях конструкций.

# 1.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**ИНЖЕНЕРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ** - сооружения и их части (подвижные или неподвижные), размеры которых определены расчетом:

1. на прочность, устойчивость, выносливость, трещиностойкость;
2. по деформациям, и предназначенные для восприятия разнообразных нагрузок и воздействий.

Не путать со строительными конструкциями - несущие и ограждающие конструкции зданий и сооружений (фундамент, стена, перекрытие, лестница, пол, воздуховод, санитарно-технический узел, колодец, резервуар и т.д.).

## ОТЛИЧИЯ

1. Подходит ко сему, что создает человек: машины, механизмы, строительные конструкции и т.д.
2. Размеры конструкции определены расчетом.

Идея → расчет → размеры

1. Относится только строительным конструкциям.
2. Размеры конструкции проверяют расчетом

Идея → выбор конструкции → размеры  
→ проверка расчетом

# **Строительная механика –**

*наука, занимающаяся разработкой принципов и методов расчёта сооружений и конструкций, представляющих собой системы, состоящие из элементов различных типов (стержневые, пластинчато-оболочечные, массивные) на прочность, жёсткость и устойчивость при статических и динамических воздействиях с учётом требований надёжности и экономичности.*



**Гидротехнические конструкции и сооружения** - находящиеся постоянно или периодически под воздействием водной среды.

Инженерные конструкции являются **частью дисциплины «теоретическая механика»** и являются **прикладной наукой, инструментом расчета**, так как решает важные практические задачи, связанные с прочностью, жесткостью и устойчивостью сооружений.



Воздействие нагрузок приводит как к **деформированию отдельных элементов**, так и самого сооружения в целом.

Расчетом и теоретической оценкой результатов их воздействия занимается **механика деформированного твердого тела**. Частью этой науки является **прикладная механика (сопротивление материалов)**, занимающаяся расчетом простейших сооружений или их отдельных элементов.

Другая ее часть – **строительная механика** уже позволяет рассчитывать разные и весьма сложные многоэлементные сооружения.

Механика деформированного твердого тела широко используются методы теоретической механики, изучающей равновесие и движение твердых тел, условно принимаемых за абсолютно твердые.



## КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАДАЧ

Современная механика имеет целый ряд классификаций решаемых задач.

1. Различают **плоские задачи**, которые решаются в двух измерениях,
2. **пространственные задачи**, решаемые в трех измерениях.

Обычно **пространственные конструкции стремятся расчленить на плоские элементы**, расчет которых значительно проще, однако это не во всех случаях удается. Большинство основных методов расчета и теорем излагается применительно к плоским системам.

Различают **статические** задачи строительной механики и **динамические**.

1. **в статике сооружений** внешняя **нагрузка постоянна** и элементы и части системы находятся в равновесии, то
2. **в динамике** сооружений рассматривается движение системы под воздействием **переменных динамических нагрузок**. Сюда же следует отнести задачи, связанные с учетом **вязких свойств** материалов, **ползучести и длительной прочности**.



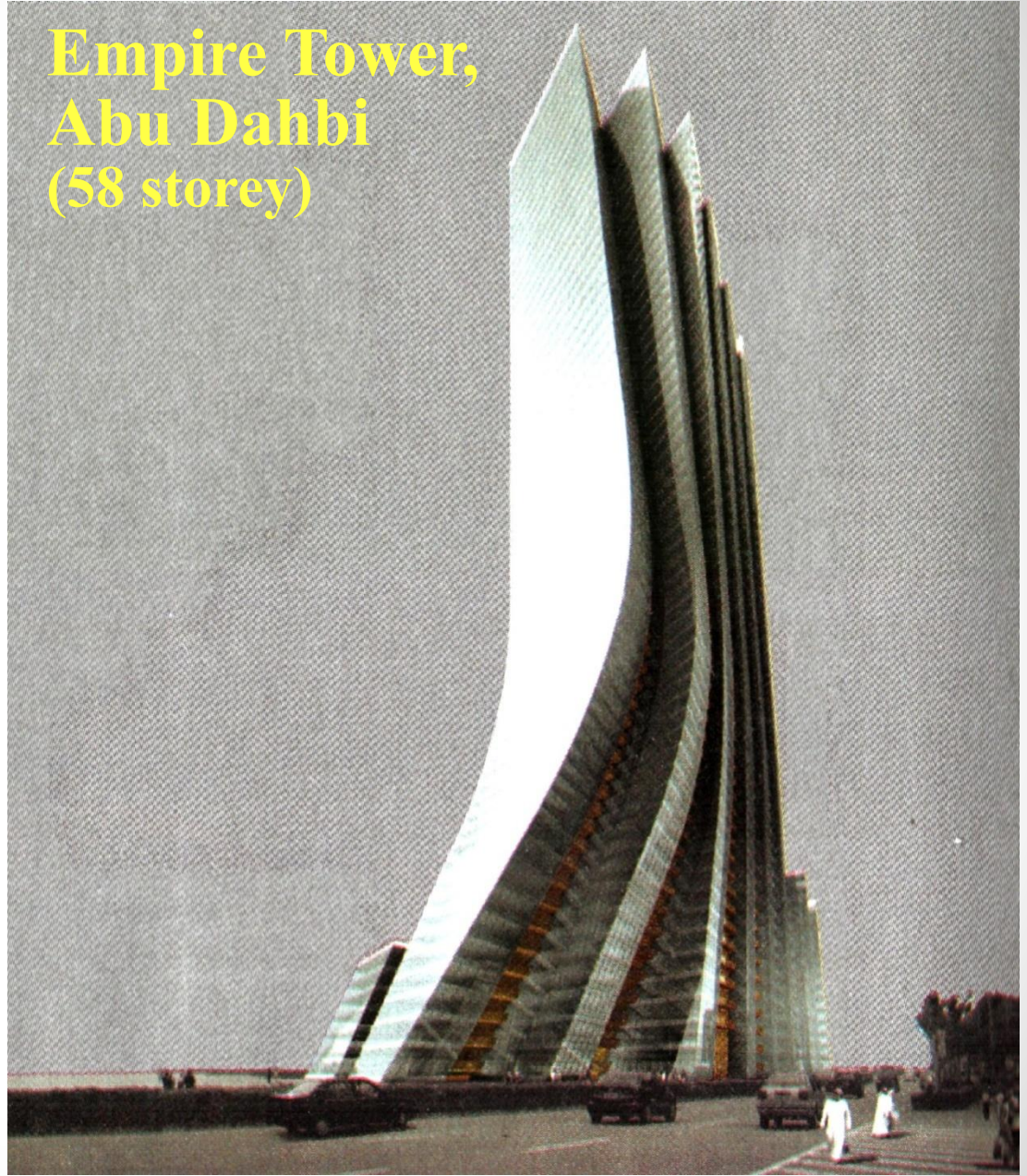




**BURJ DUBAI H= 800 m**



**Empire Tower,  
Abu Dhabi  
(58 storey)**









Wembley Stadium



Glasgow's Clyde Arc





## Расчет конструкций делится на направления:

- **стержневые конструкции** (фермы, рамы, балочные системы и арки),
- **пластин и пластинчатых систем,**
- **оболочек,**
- **гибких нитей и вантовых систем,**
- **упругих и неупругих оснований,**
- **мембран и т. д.**



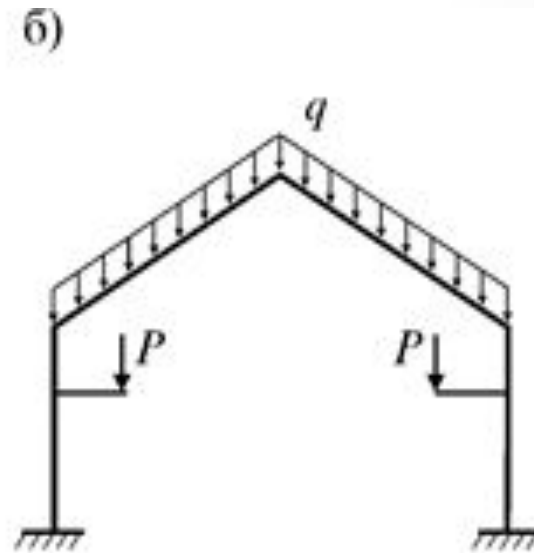
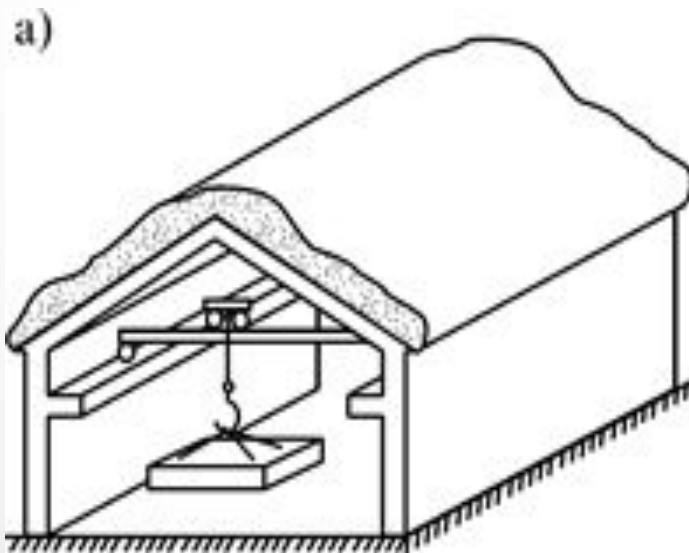
**Предметом инженерных конструкций** являются расчеты прочности и жесткости, поэтому для их изучения надо рассмотреть ее **упрощённую схему**, с определенной точностью отражающую действительную работу последней.

Упрощенная модель сооружения называется **расчетной схемой**.

В зависимости от требований к точности расчёта для одной и той же конструкции могут быть приняты различные расчётные схемы.

**Расчетная схема**, представленная в виде системы элементов, называется **системой**.

- В расчетной схеме стержни заменяются их **осями**, опорные устройства – **идеальными опорными связями**, шарниры предполагаются также идеальными (в которых отсутствует трение).
- *Любое сооружение представляет собой пространственный объект.* Значит, и *расчетную схему* сооружения надо выбирать как **пространственную**. Однако такая схема имеет решение большого числа уравнений. Поэтому реальное сооружение (рис. а) стараются привести к плоской системе (рис. б).



Можно выделить основные моменты процедуры выбора расчетной схемы:

- – **идеализация свойств** конструкционных материалов путем задания связи напряжений и деформации при нагружении;
- – **схематизации геометрии конструкции**, состоящая в представлении ее в виде набора одно- двух- и трехмерных элементов, тем или другим образом связанных между собой;
- – **схематизация нагрузки**, например, выделение **сосредоточенной силы, распределенной** и т.д.;
- – **ограничение на величину** возникающих в конструкции перемещений, например, по сравнению с размерами конструкции.

На практике широкое распространение получили стандартные **расчетные схемы** – **стержни и системы из них, плиты, оболочки, массивы** т.д.

# РАСЧЁТНАЯ СХЕМА СООРУЖЕНИЯ –

*ЭТО ЕГО УПРОЩЁННОЕ, С СОБЛЮДЕНИЕМ  
ОПРЕДЕЛЁННЫХ ПРАВИЛ, ИЗОБРАЖЕНИЕ,  
В КОТОРОМ УЧТЕНО ЛИШЬ ТО,  
ЧТО ВАЖНО С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ  
МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ СООРУЖЕНИЯ,  
И ИГНОРИРУЕТСЯ ВСЁ ВТОРОСТЕПЕННОЕ  
И НЕСУЩЕСТВЕННОЕ.*

Используются элементы разных типов:

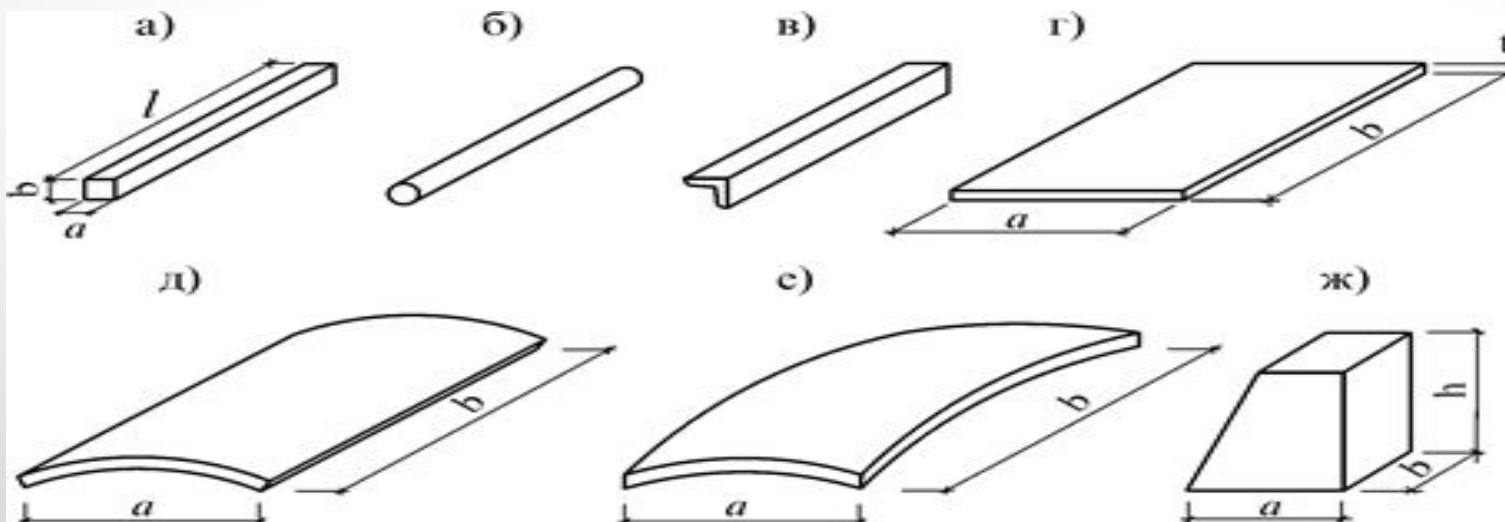
1) **стержни** – прямые или криволинейные элементы, поперечные размеры **a** и **b** намного меньше длины **l** (рис. а, б, в).

Основное назначение - восприятие осевых сил (**растягивающих и сжимающих**), а также **изгибающих и крутящих моментов**.

Частный вид - гибкие нити (**тросы, канаты, цепи, ремни**), **работают только на растяжение**. Из стержней состоят расчетные схемы большинства инженерных конструкций: **ферм, арок, рам, пространственных стержневых** конструкций и т.д.

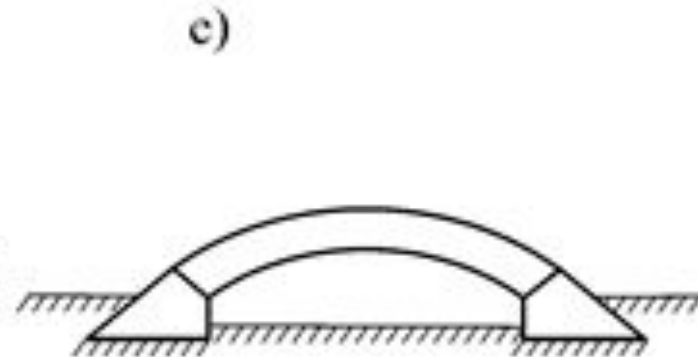
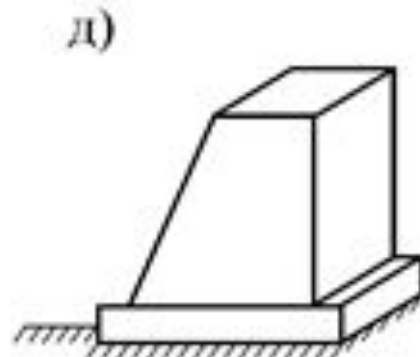
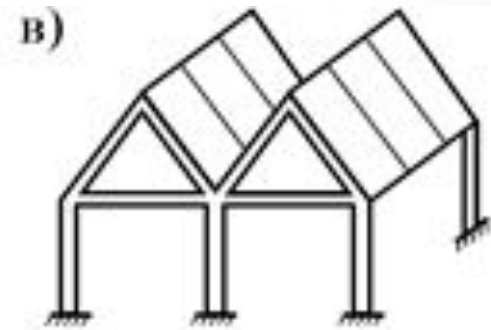
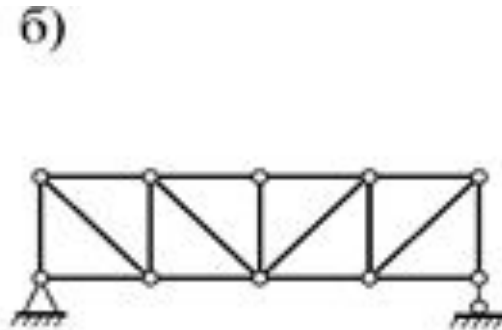
2) **плиты** – элементы, толщина **t** меньше остальных размеров **a** и **b**; бывают **прямые** (рис. г), **кривые** в одном, двух направлениях (рис. д, е). Расчет плит и систем значительно сложнее расчета стержневых систем.

3) **массивные тела** — все три размера которых одного порядка (рис. ж).



Простейшие сооружения, состоящие из таких элементов, делят на следующие типы:

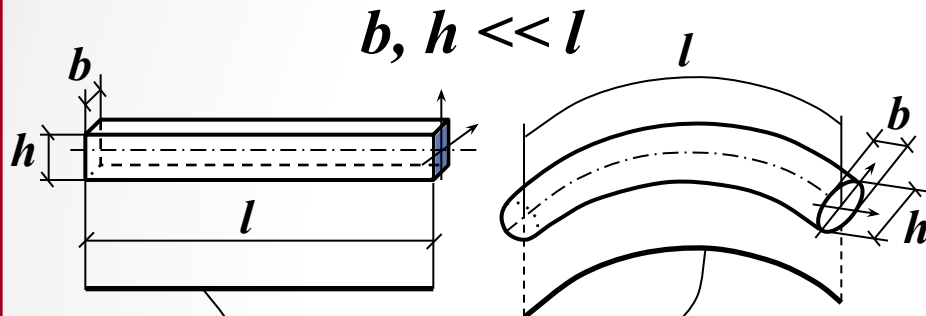
1. **стержневые сооружения** (рис. а, б),
2. **складчатые сооружения** (рис. в),
3. **оболочки** (рис. г),
4. **массивные сооружения** – подпорные стенки (рис. д) и
5. **каменные своды** (рис. е):





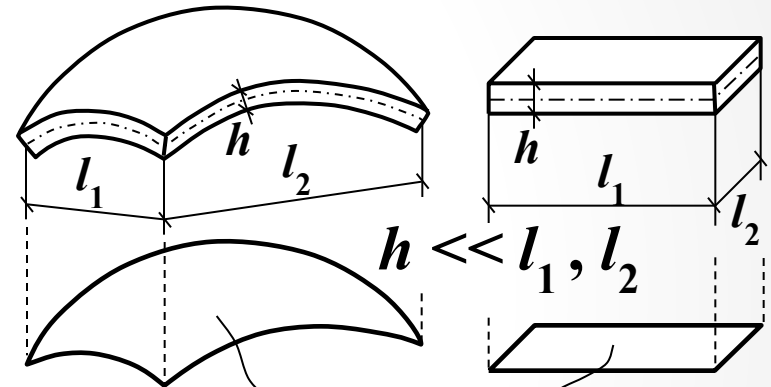
# ИЗОБРАЖЕНИЕ НА РАСЧЁТНОЙ СХЕМЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СООРУЖЕНИЙ

Одномерные  
(прямые и кривые стержни)



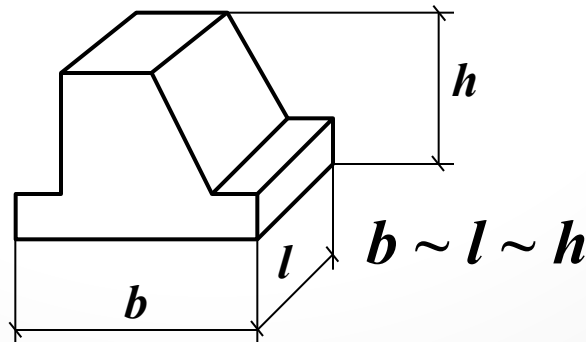
Осевая линия

Двухмерные  
(оболочки и пластинки)



Срединная поверхность

Трёхмерные  
(массивы)



# Классификация расчётных схем сооружений

– по геометрическому признаку  
(по типу элементов)

стержневые системы  
пластинчато-оболочечные системы  
массивы  
комбинированные системы

– по кинематической природе

геометрически неизменяемые системы (ГНС)  
геометрически изменяемые системы (ГИС)  
мгновенно изменяемые системы (МИС)

– по расположению элементов  
и направлению нагрузок  
в пространстве

плоские системы  
пространственные системы

– по признаку статической  
определимости  
или неопределимости

статически определимые системы (СОС)  
статически неопределимые системы (СНС)

– по направлению  
опорных реакций

распорные системы  
безраспорные системы

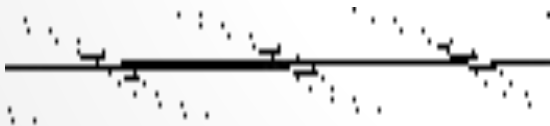
# СВЯЗИ ЭЛЕМЕНТОВ В КОНСТРУКЦИЯХ

Основным видом связей между элементами конструкций является **шарнирная связь**.

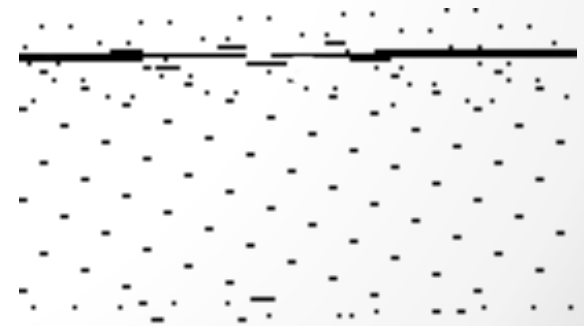
В реальных конструкциях **связями являются болты, заклепки, сварные швы, анкерные болты** и т.п.

**Простой (одиночный) шарнир** (рис.) накладывает на движение две связи (связывает между собой два стержневых элемента).

Одиночный (врезанный) шарнир.



б) Одиночный (приставной) шарнир.

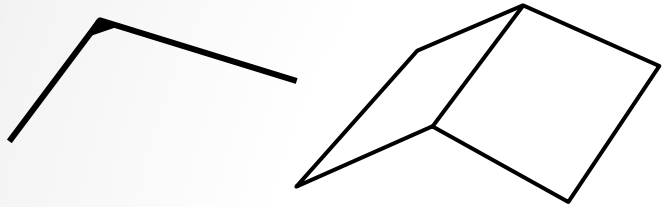


# Основные типы опор плоских систем

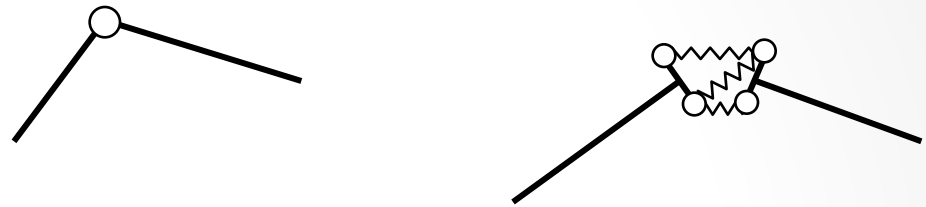
Тип опоры	Условное обозначение	Реакции	Перемещения
Шарнирная опора			 Δ – перемещение; φ – угол поворота
Шарнирно-неподвижная опора			
Заделка			 Перемещений нет
Ползун			
Упругая опора (κ - жесткость)	а) б)	а) б)	а) б)

# ИЗОБРАЖЕНИЕ НА РАСЧЁТНОЙ СХЕМЕ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ

**Жёсткое**



**Шарнирное (Упруго) податливое**

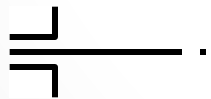


# ИЗОБРАЖЕНИЕ НА РАСЧЁТНОЙ СХЕМЕ ОПОРНЫХ УСТРОЙСТВ

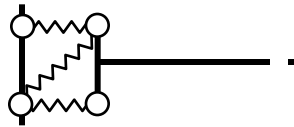
**Шарнирные опоры**



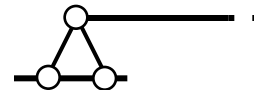
Неподвижная  
защемляющая  
опора



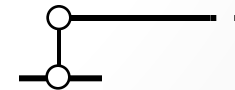
Подвижная  
защемляющая  
опора



(Упруго) податливая  
защемляющая  
опора



Неподвижная  
шарнирная  
опора



Подвижная  
шарнирная  
опора

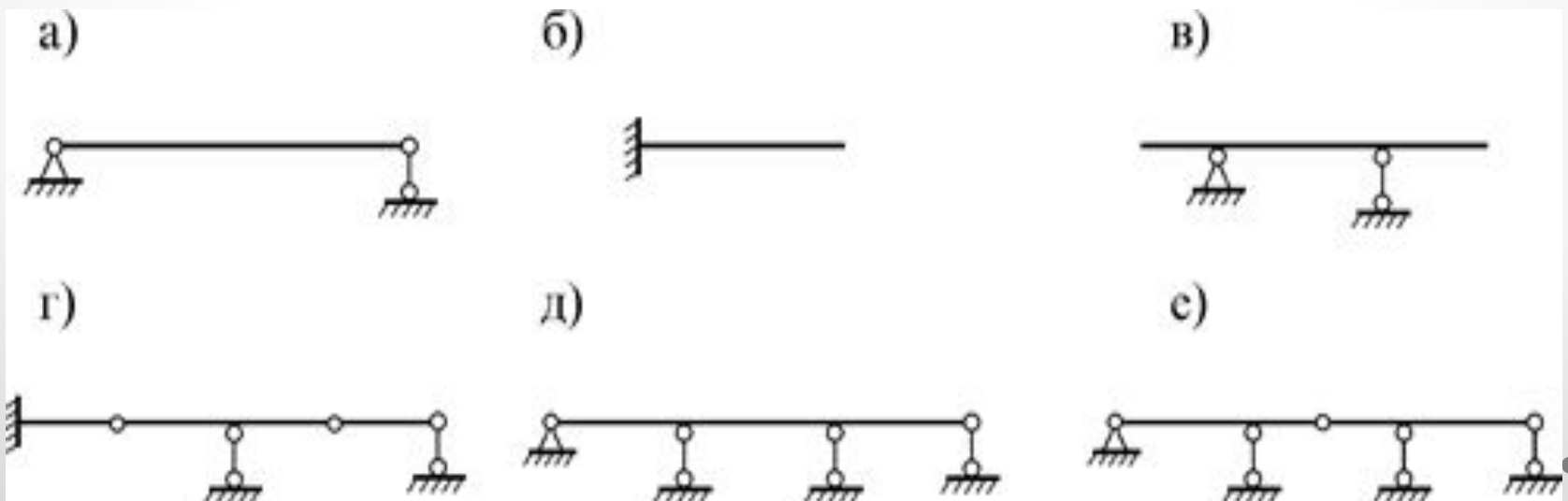


(Упруго) податливая  
шарнирная  
опора

# НЕКОТОРЫЕ ТИПЫ ПРОСТЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Рассмотрим некоторые типы простых конструкций:

- **1. Балка** – изгибаемый брус. Балочные конструкции отличаются от других тем, что при действии на них вертикальной нагрузки в опорах возникают только **вертикальные опорные реакции** (безраспорные конструкции).
- Балки бывают **однопролетными или многопролетными**. Типы однопролетных балок: **простая балка** (рис. а), **консоль** (рис. б) и **консольная балка** (рис. в).
- Многопролетные балки бывают **разрезные** (рис. г), **неразрезные** (рис. д) и **составные** (рис. е):





**2. Колонна** (стойка) - конструкция типа балки, устанавливаемая вертикально.

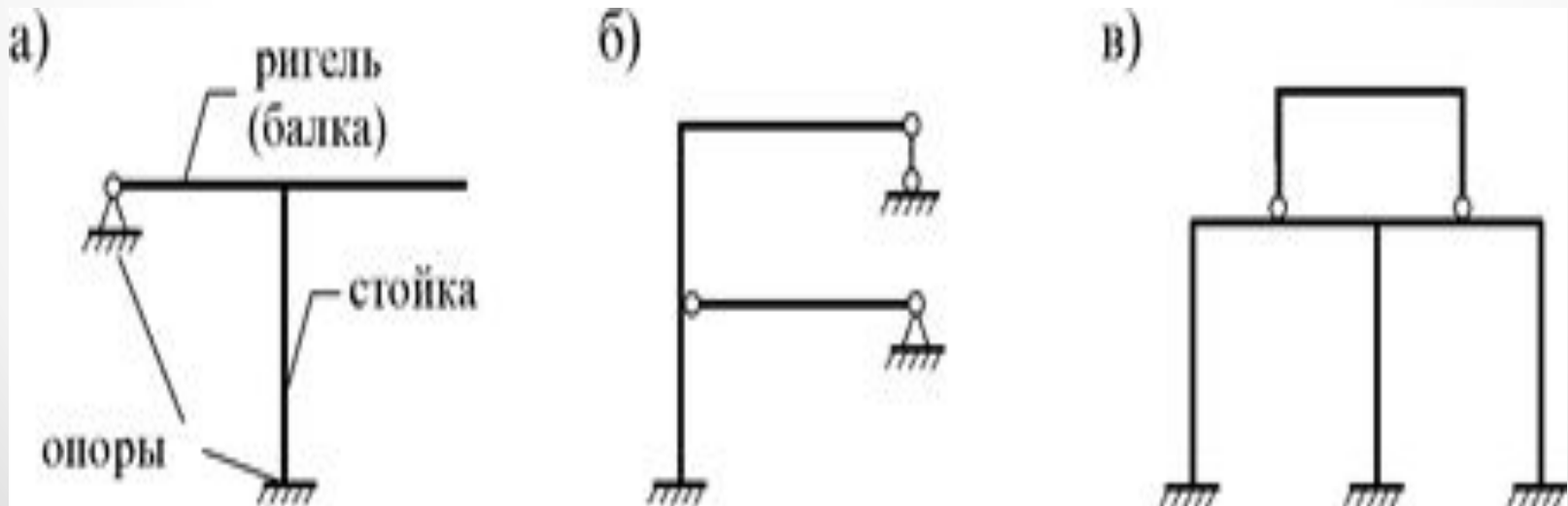
Колонна воспринимает **сжимающие усилия**.

Колонна выполняется из камня, бетона, железобетона, дерева, металлопроката.

**3. Рама** – система прямых (ломаных или кривых) стержней. Ее стержни могут **соединяться жестко** или **через шарнир**.

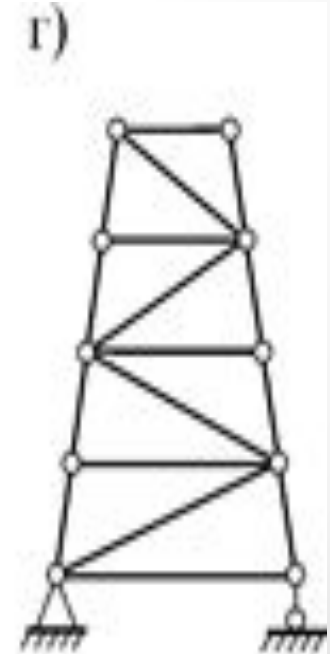
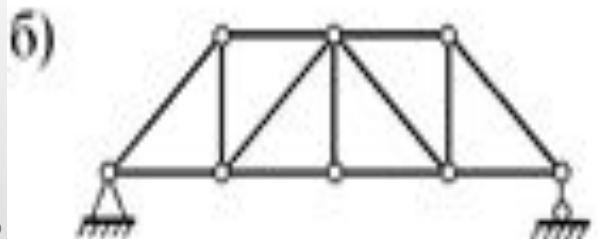
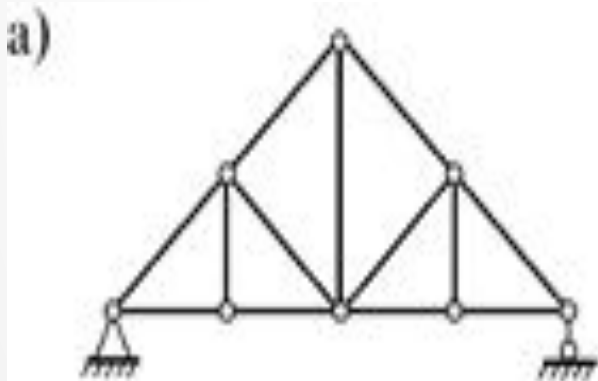
Стержни рам работают на **изгиб с растяжением или сжатием**.

Вот некоторые типы рам: **простая рама** (рис. а), **составная рама** (рис. б), **многоэтажная рама** (рис. в).



**4. Ферма** – система стержней, соединенных шарнирами. Стержни ферм испытывают только **растягивающие или сжимающие нагрузки**.

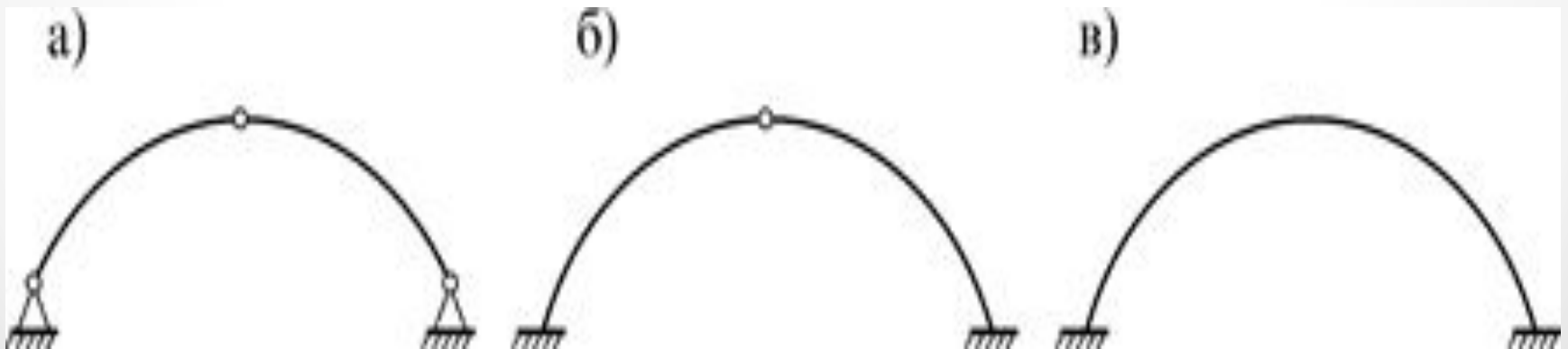
Типов ферм много. Например, бывают **стропильная ферма** (рис. а), **мостовая ферма** (рис. б), **крановая ферма** (рис. в), **башенная ферма** (рис. г).



**5. Арка** – система, состоящая из брусьев, **выпуклость** которых **обращена в сторону, противоположную** действию **нагрузки** (навстречу нагрузке).

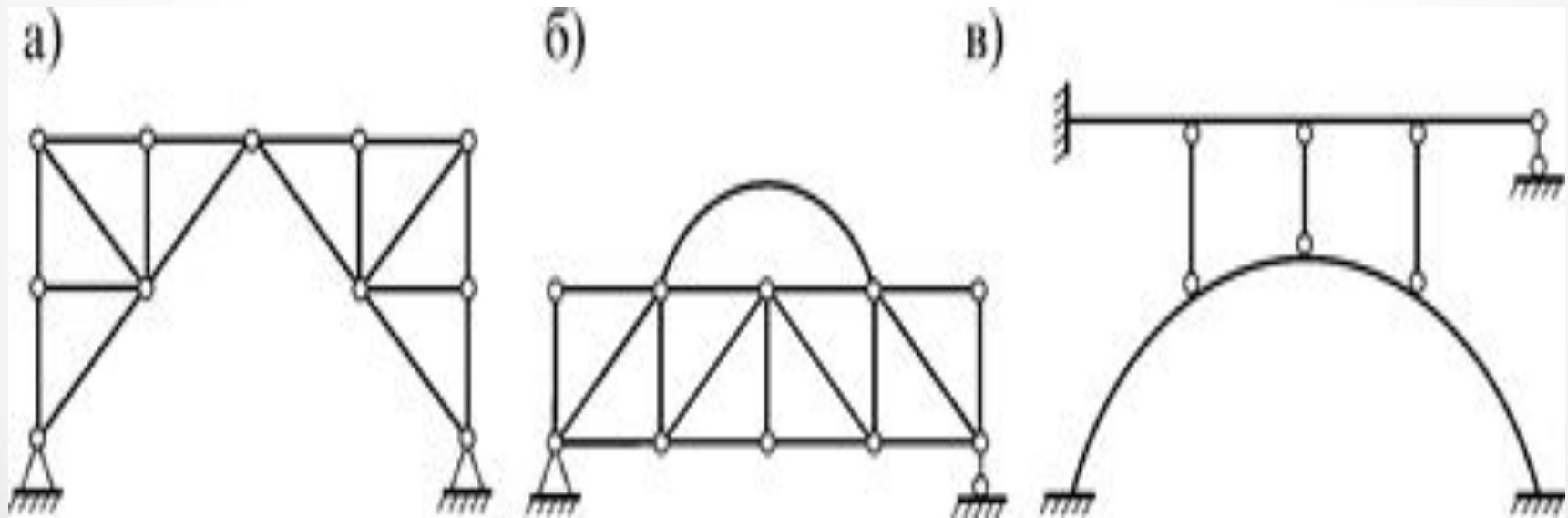
Вертикальные нагрузки на арки вызывают в **опорных устройствах вертикальные** и **горизонтальные**, составляющие **опорных реакций** (боковой распор). Эти конструкции носят название **распорных**.

Некоторые типы арок: **трехшарнирная** (рис. а), **одношарнирная** (рис. б), **бесшарнирная** (рис. в) арки.

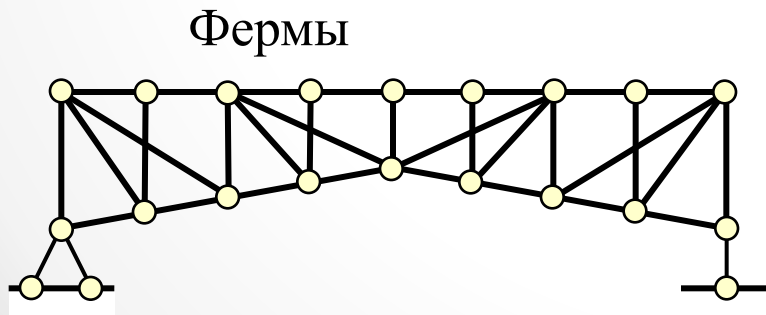
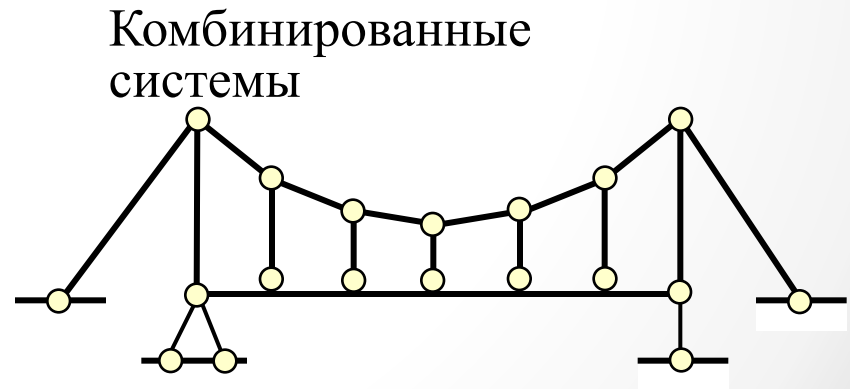
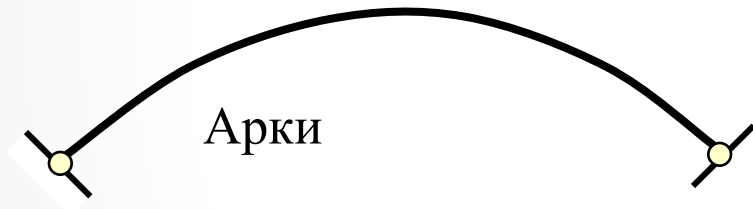
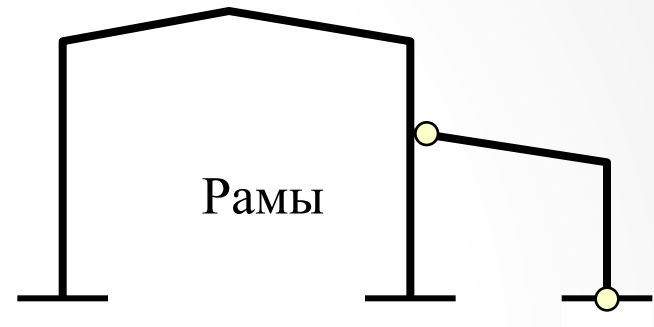
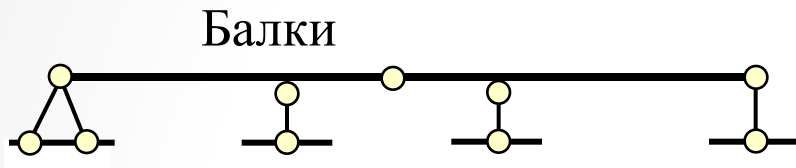


Существуют более **сложные системы** как комбинации простых систем. Они называются **комбинированными системами**.

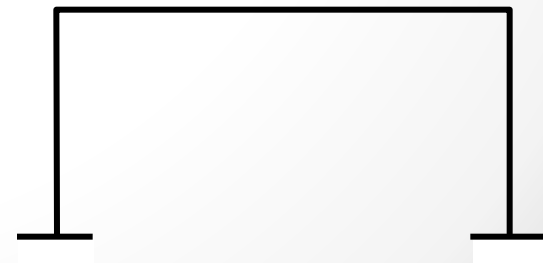
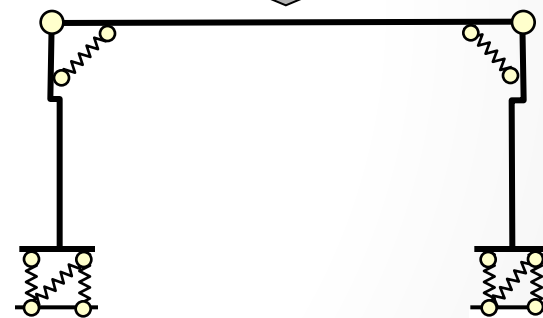
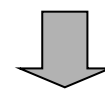
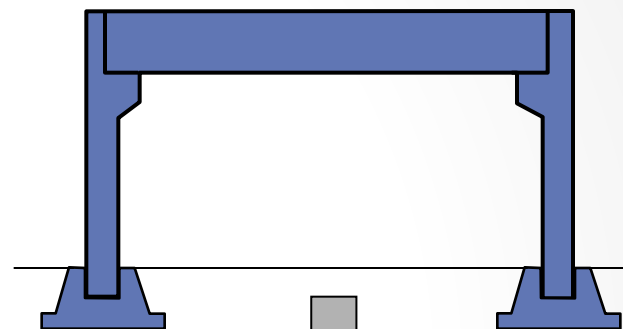
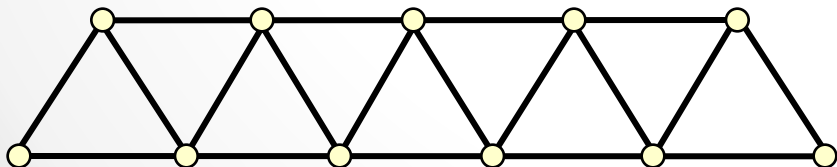
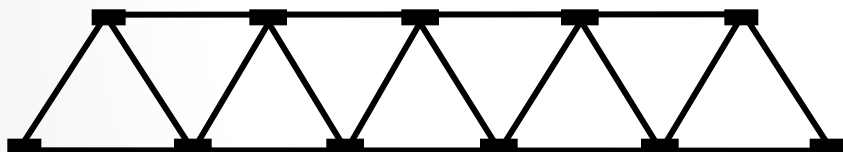
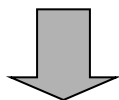
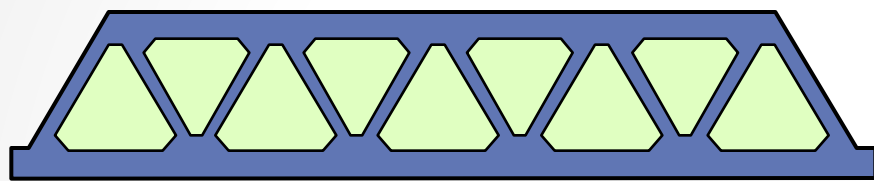
Например: **арочная ферма** (рис. а), **ферма с аркой** (рис. б), **висячая система** (рис. в):



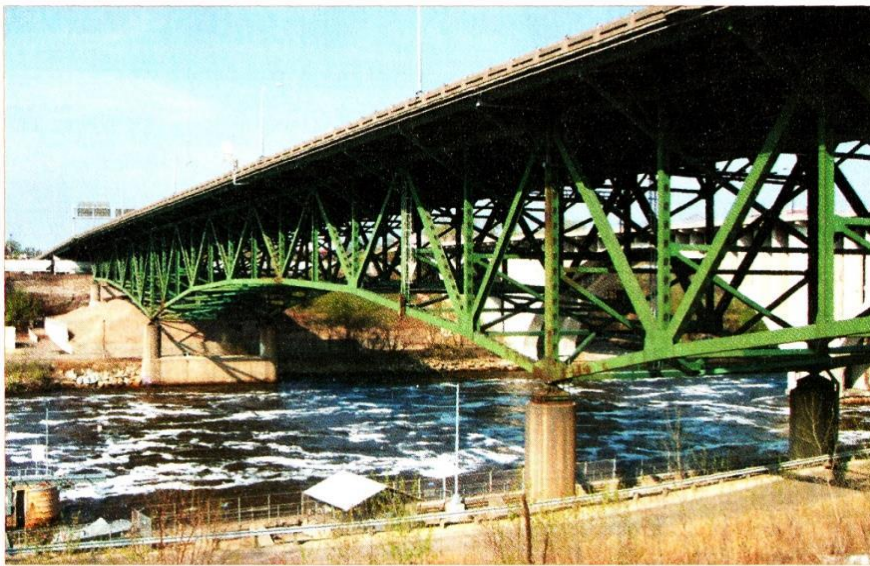
# Основные типы плоских стержневых систем



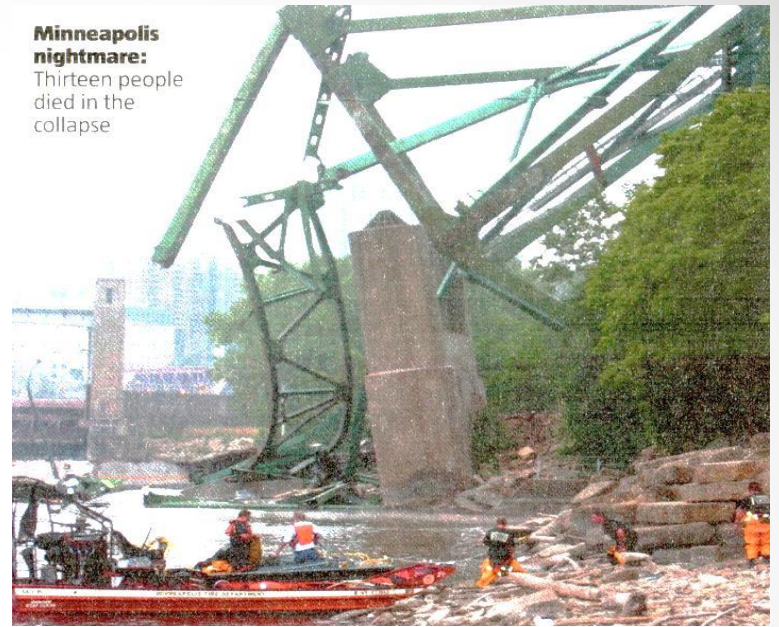
# Формирование расчётной схемы сооружения (конструкции)







**Before the collapse:** The I-35W bridge collapsed 1 August 2007



**Minneapolis nightmare:**  
Thirteen people died in the collapse

**CROSS SECTION OF THE I-35W BRIDGE**

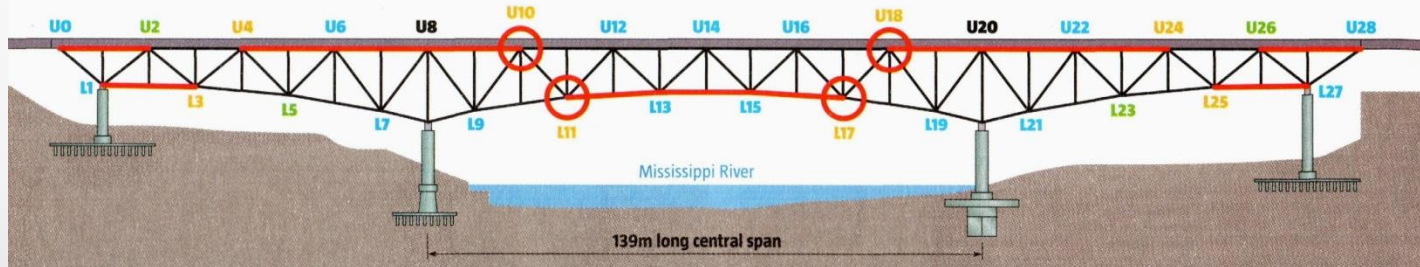
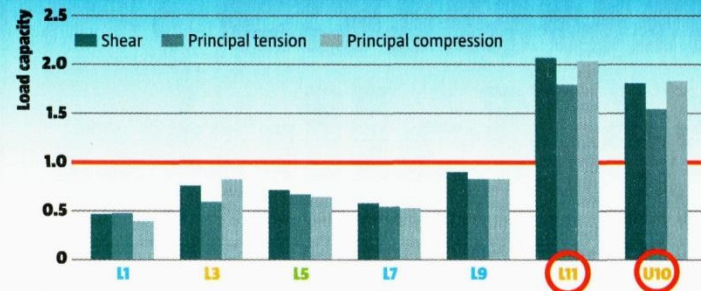
**○ UNDER-DESIGNED GUSSET PLATE**

— Elements identified by 2004 URS report, as fracture critical members, whose failure would be expected to result in collapse

- U/L 35mm thick gusset plate
- U/L 25mm thick gusset plate
- U/L 16mm thick gusset plate
- U/L 12mm thick gusset plate

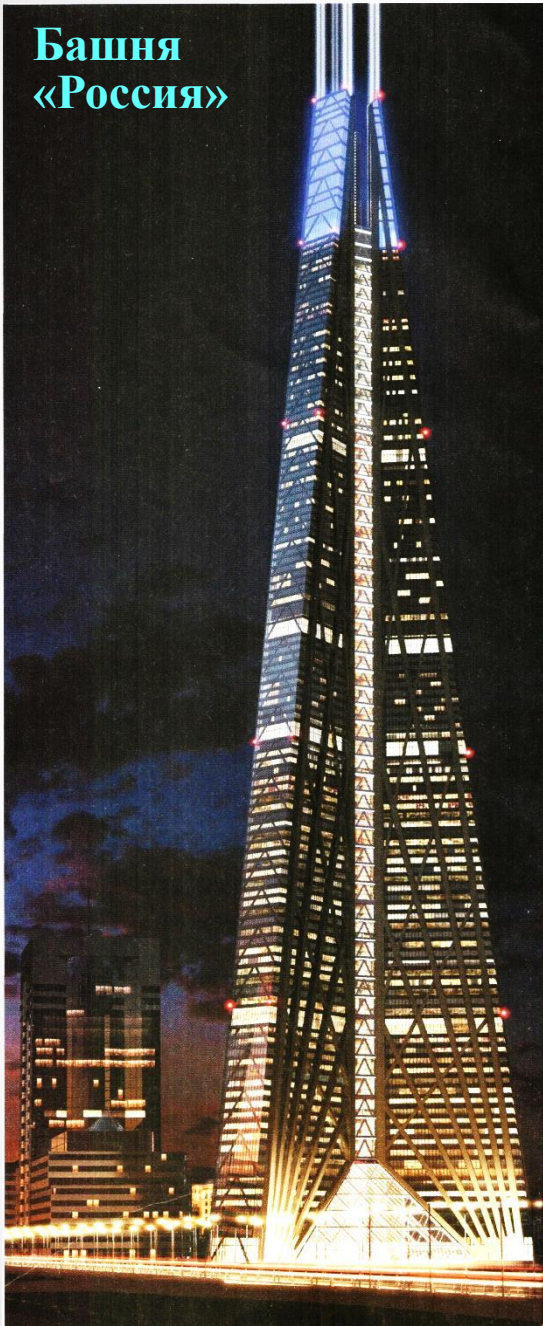


**GRAPH SHOWING TYPICAL LOAD TO CAPACITY RATIOS OF PLATES**

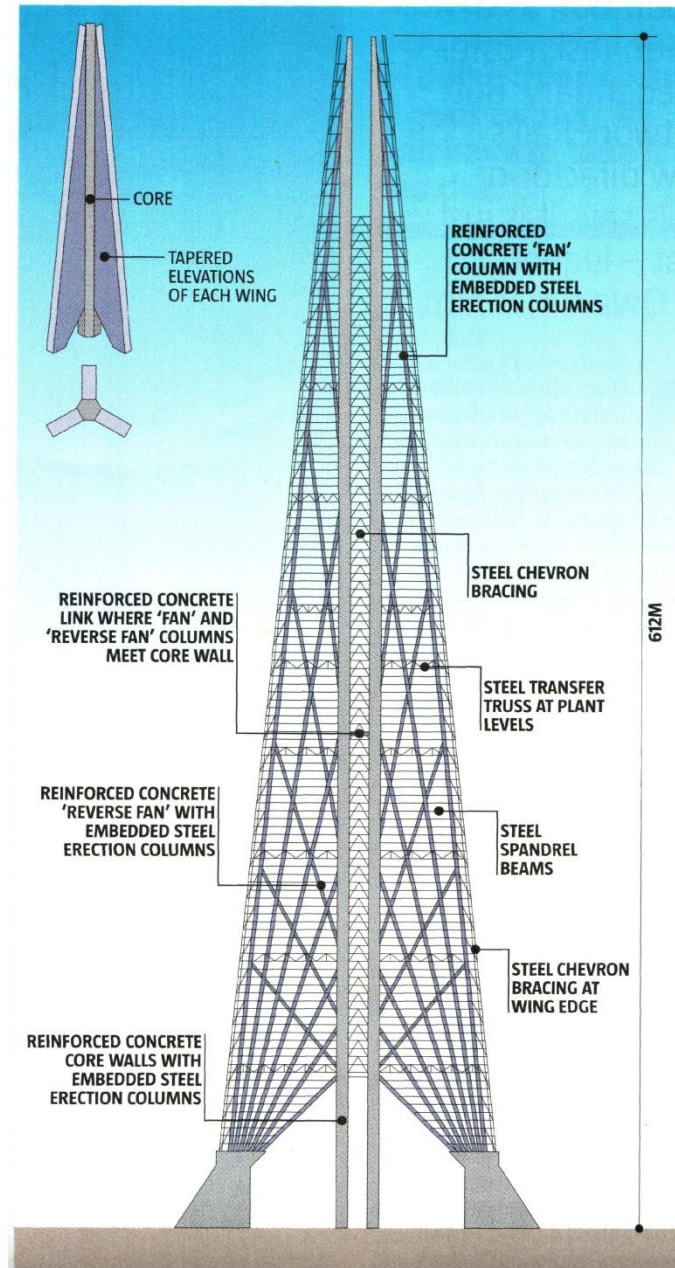




# Башня «Россия»



## ROSSIA TOWER: HOW IT WORKS





## 1.4 ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ В ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Инженерные конструкции изготавливают из стали, алюминия, бетона, железобетона, камня, пластмасс и тканей.

### Каменные конструкции



**Металлические конструкции** используют в **машинах, механизмах**, в оборудовании гидротехнических сооружений (**затворы, сороудерживающие решетки**, и т. п.), в **напорных трубопроводах**, в **высотных сооружениях** (мачты, опоры ЛЭП), в **резервуарах и водонапорных башнях, мостах** и пр.

- **Достоинства:** высокой прочности материала; сравнительно малым собственным весом. Их можно изготавливать на высокопроизводительных заводах, а монтаж производить относительно быстро с малыми трудовыми затратами.
- **Недостатки:** металл подвержен коррозии, особенно в водной среде, что снижает долговечность сооружения и требует дополнительных эксплуатационных расходов.





**Деревянные конструкции** применяют для изготовления **несущих элементов** различных сооружений небольшого пролета (зданий, башен, акведуков, мостов, регуляторов, невысоких плотин и т. п.), во временных сооружениях, в качестве лесов, подмостей и опалубки. Наиболее совершенными являются деревянные конструкции **клееные заводского изготовления**. Кроме того, деревянные детали используют в **затворах, шандорах, деформационных швах** и т. д.



**Бетонные и железобетонные конструкции** занимают ведущее место в строительстве,

- **Достоинства:** менее дефицитны, обладают высокой прочностью, долговечностью, огнестойкостью, водонепроницаемостью, допускают изготовление элементов разнообразной формы и не требуют значительных эксплуатационных расходов.
- **По способам** выполнения различают железобетонные конструкции **сборные**, изготавливаемые на специальных заводах и затем монтируемые на строительной площадке, **монолитные**, возводимые на месте строительства, и **сборно-монолитные**, которые образуются из сборных железобетонных элементов и монолитного бетона.





**Гидротехнические сооружения из сборно-монолитного бетона,** значительные по объемам работ и по размерам (плотины, подводные части зданий ГЭС, подпорные стены и устои, судоходные шлюзы, тоннели и т.п.). Надводные части таких сооружений (зданий ГЭС, водозаборов), а также связанные с ними специальные или вспомогательные сооружения (служебные мосты, эстакады, помещения для механизмов и т. п.) могут быть сборными.





# Пластмассовые конструкции

Перспективными в водохозяйственном строительстве конструкции из пластмасс



**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИИ**  
**Инженерные конструкции** рассчитывают на **силовые воздействия по методу предельных состояний**, который характеризуется четким установлением предельных состояний конструкции и введением системы расчетных коэффициентов, учитывающих изменчивость различных факторов.

Предельными называют состояния, при которых конструкция:

1. теряет способность сопротивляться внешним нагрузкам и воздействиям,
2. получает недопустимые деформации или местные повреждения, т. е. перестает удовлетворять требованиям, предъявляемым к ней в процессе эксплуатации или возведения.

\*Нормальной эксплуатацией считается постоянный процесс бесперебойной работы конструкции или сооружения, осуществляемый без ограничений в соответствии с предусмотренными в нормах или заданиях на проектирование условиями.

## Предельные состояния подразделяют на две группы:

первая группа — по потере, несущей способности или непригодности к эксплуатации;

вторая группа — по непригодности к нормальной эксплуатации\*.

Расчеты по первой группе предельных состояний производят:

1. потерю устойчивости положения формы (расчет на общую и местную устойчивость тонкостенных элементов);
2. потерю устойчивости положения конструкций (расчет на опрокидывание и скольжение);
3. разрушение под совместным воздействием силовых факторов и неблагоприятных влияний внешней среды.
4. чтобы предотвратить хрупкое, вязкое, усталостное и иного характера разрушение (расчет по прочности).

Расчеты по второй группе предельных состояний должны предотвратить:

1. чрезмерные перемещения (прогибы, осадки, углы поворота, амплитуды колебаний),
2. образование или чрезмерное раскрытие трещин, в железобетонных конструкциях в зависимости от категории требований к их трещиностойкости.

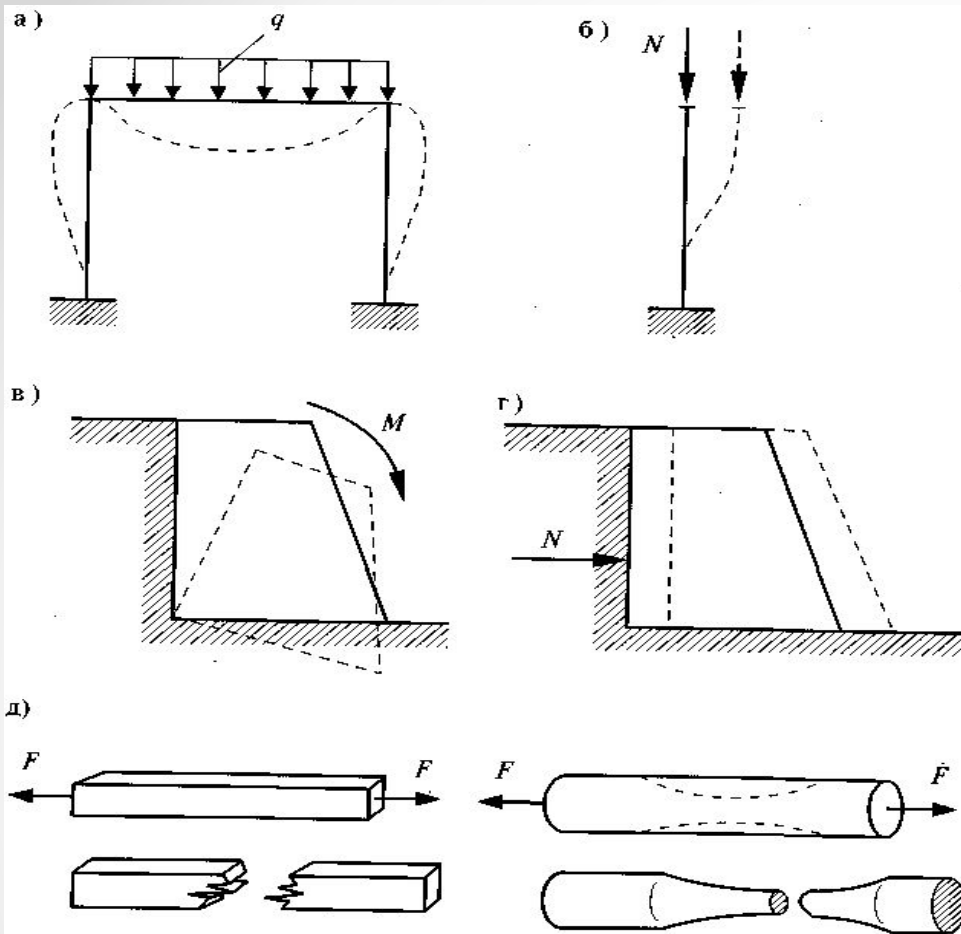


Рис. Предельные состояния первой группы:

а), б) потеря общей устойчивости; в), г) потеря устойчивости положения;

д) хрупкое, вязкое или иного характера разрушение

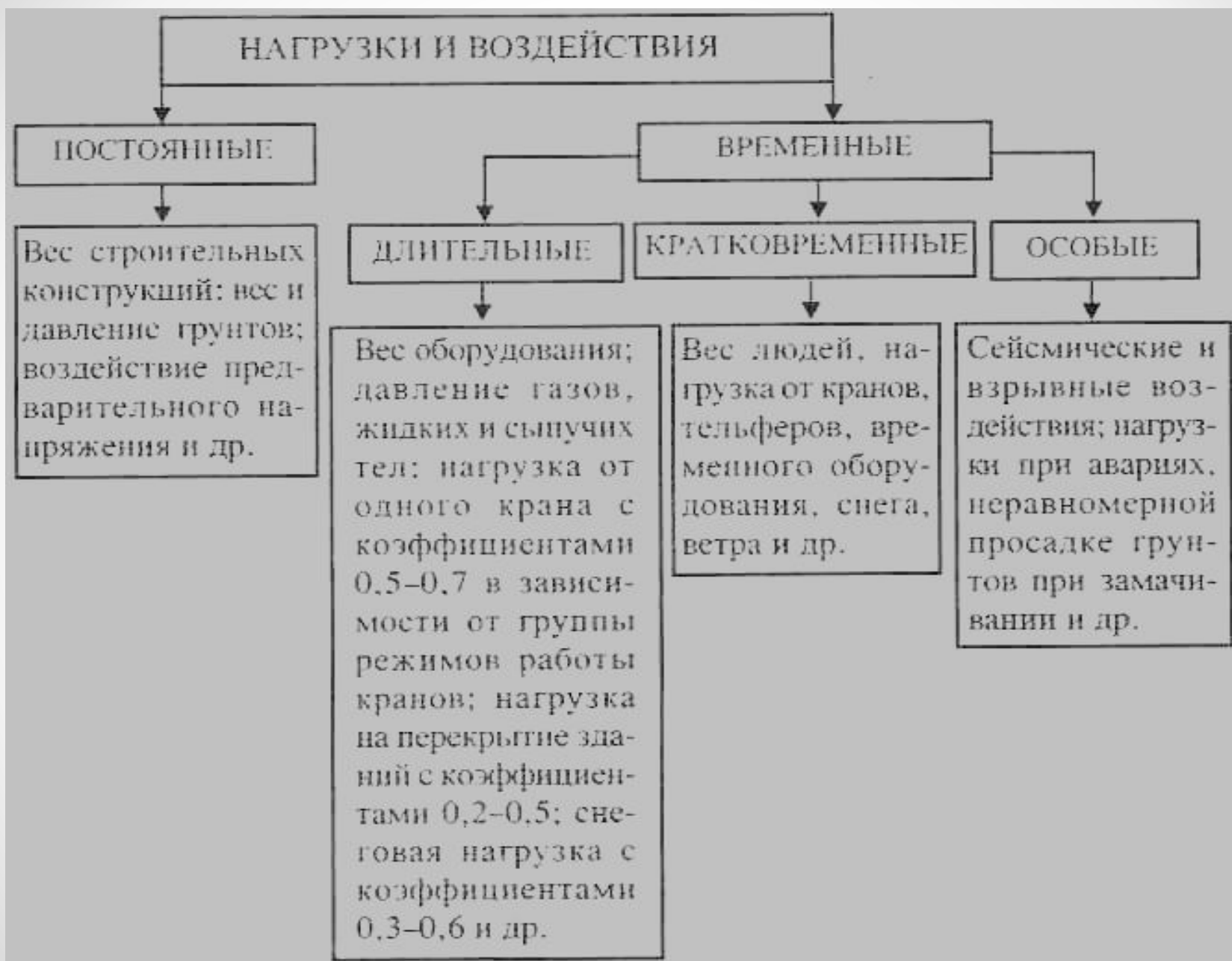
Наступление того или иного предельного состояния зависит от следующих **основных факторов:**

- величины внешних нагрузок и воздействий,
- механических характеристик материалов,
- условий работы конструкций и материалов.

# Нагрузки и воздействия

При расчете конструкций их принимают по СНиП 2.01.07--85, а для гидротехнических сооружений, кроме того, по СНиП 2.06.01—86 и СНиП 2.06.04—82.

- 1. Постоянные нагрузки** - собственный вес конструкции (сооружения), вес, давление грунтов. В гидротехнических сооружениях учитывают давление воды при нормальном подпорном уровне, вес технологического оборудования, расположения которого не меняется.
- 2. Временные длительные нагрузки и воздействия** - вес стационарного оборудования (станки, насосы и т. п.); давления жидкостей в емкостях и трубопроводах; нагрузки от людей и оборудования на перекрытия зданий, от мостовых и подвесных кранов (вертикальные нагрузки), от веса снега и от температурных климатических воздействий; воздействия влажности и др.
- 3. Кратковременные нагрузки и воздействия** - нагрузки от подвижного подъемно-транспортного оборудования; снеговые, также от мостовых и подвесных кранов; ветровые и гололедные нагрузки; вес людей, деталей, материалов; волновые, ледовые и другие нагрузки на гидросооружения; нагрузки, возникающие при изготовлении, перевозке и монтаже элементов конструкций, и др.
- 4. Особые нагрузки** - сейсмические и взрывные воздействия; нагрузки и воздействия, вызываемые неисправностью или поломкой оборудования; воздействия неравномерных деформаций основания, сопровождающиеся коренным изменением структуры грунта; ледовые нагрузки при прорыве заторов; дополнительное гидростатическое давление воды при форсированном уровне в гидросооружениях и т. п.







Величины нагрузок, устанавливаемые нормами (например, **СНиП 2.01.07—85**) называют **нормативными**.

Для постоянных нагрузок они принимаются

- по *проектным значениям геометрических и*
- *конструктивных параметров и*
- *по нормативным* значениям удельного веса материала; для атмосферных нагрузок (ветровой, снеговой, волновой, ледовой и др.) по средним из ежегодных неблагоприятных значений и т. п.

*Отклонение нагрузок* в сторону от их нормативных значений вследствие изменчивости нагрузок от условий нормальной эксплуатации учитывают *коэффициентами надежности по нагрузке* ( $\gamma_f$ ), которые зависят

- от назначения сооружения и
- рассматриваемого предельного состояния.

# Расчетные нагрузки

**Расчетные нагрузки и воздействия** принимаемые в расчетах и получаемые умножением их нормативных значений на соответствующие коэффициенты надежности по нагрузке, например

$$g = g_n \times \gamma_f$$

При расчете на **прочность и устойчивость** (по первой группе предельных состояний) коэффициенты надежности по нагрузке принимают:

- от **веса конструкций**  $\gamma_f$  — 1,1 ( $\gamma_f = 1,05$  для металлических конструкций и массивных железобетонных гидросооружений);
- от **веса изоляционных, выравнивающих и отделочных слоев** (утеплителя, засыпки и т. п.), выполняемых в заводских условиях  $\gamma_f = 1,2$ , на строительной площадке  $\gamma_f = 1,3$ ;
- от **давления грунтов** в природном залегании = 1,1, насыпных = 1,15, от веса снега  $\gamma_f = 1,4$  или 1,6; от ветрового давления  $\gamma_f = 1,4$ ; от гидростатического и волнового давления воды  $\gamma_f = 1$ ; от давления льда  $\gamma_f = 1,1$ ; от кранов  $\gamma_f = 1 > 1$  и т. д.

В зависимости от состава учитываемых нагрузок различают;

- **основные сочетания**, состоящие из постоянных, временных длительных и кратковременных нагрузок;
- **особые сочетания**, состоящие из постоянных, временных длительных, возможных кратковременных и одной из особых нагрузок.

Вероятность одновременного появления наибольших значений нагрузок или усилий учитывается коэффициентом сочетаний

$\gamma_{lc}$

При расчете конструкций на основные сочетания, включающие только одну кратковременную нагрузку, коэффициент сочетаний  $\gamma_{lc} = 1$ .

При расчете на основные сочетания, включающие две временные нагрузки или более, расчетные величины длительных нагрузок или усилий умножают на коэффициент  $\gamma_{lc} = 0,95$ , а кратковременных - на  $\gamma_{lc} = 0,9$ .

# Нормативные сопротивления

Нормативные сопротивления  $R_n$ . Устанавливаемые нормами проектирования, они являются основными характеристиками *сопротивления материалов силовым воздействиям*.

За нормативное сопротивление принимают наименьшее контролируемое значение *временного сопротивления* или предела текучести материала, определяемое с учетом статистической изменчивости прочности:

$$R_n = R_m (1 - \chi \nu),$$

где  $R_m$  — среднее значение показателя прочности;

$\nu$  — коэффициент вариации прочности (изменчивости);

$\chi = 1,64$  — число «стандартов», оценивающее вероятность повторения наименьшего контролируемого значения прочности не более чем у 5 % испытанных образцов.



# Расчетные сопротивления

*Расчетные сопротивления  $R$ .* Это сопротивления, принимаемые при расчетах конструкций и получаемые делением нормативного сопротивления на *коэффициент надежности по материалу*.

*Коэффициент надежности по материалу* учитывает возможные отклонения сопротивлений материалов в неблагоприятную сторону от нормативных значений в зависимости от свойств материалов, изменчивости прочностных показателей.

При расчетах по первой группе предельных состояний коэффициент надежности по материалу принимают:

- для стального проката  $\gamma_m = 1,025..1,15$ ;
- для бетона  $\gamma_{bc} — 1,3$  (при сжатии) и  $\gamma_{bt} = 1,5$  (при растяжении);
- для арматуры  $\gamma_s — 1,05... 1,20$ ;
- для древесины  $\gamma_t — 1,7...5,5$ .

- Особенности действительной работы и предельных состояний материалов, конструкций и сооружений в целом, имеющие систематический характер, но не отражаемые в расчетах прямым путем, учитывают *коэффициентами условий работы  $\gamma$* , величины которых установлены СНиПом.

Коэффициенты условий работы учитывают

- *влияние температуры, влажности и агрессивности среды;*
- *длительности действия нагрузки;*
- *условия, характер и стадию работы конструкции;* приближенность расчетных схем и др.
- При благоприятных условиях работы  $\gamma > 1$ , а при неблагоприятных  $\gamma < 1$ .

Степень капитальности сооружений, значимость последствий наступления тех или других предельных состояний, определяемая материальным и социальным ущербом, учитывается в расчетах **коэффициентом надежности по назначению  $\gamma_n$** . Его значение зависит от класса ответственности зданий.

- Для I класса - объекты особо важного народнохозяйственного значения  $\gamma_n = 1$ ;
  - для сооружений II класса (важные народнохозяйственные объекты)  $\gamma_n = 0,95$ ;
  - для сооружений III класса (имеющих ограниченное народнохозяйственное значение)  $\gamma_n = 0,9$ ;
  - для временных сооружений со сроком службы до 5 лет  $\gamma_n = 0,8$ .
- Гидротехнические сооружения по капитальности** делятся на четыре класса, для которых коэффициенты надежности по назначению составляют:
- 1 класс — 1,25;
  - 2 класс — 1,2;
  - 3 класс — 1,15;
  - 4 класс — 1,1.

На коэффициент  $\gamma_n$  следует делить **предельные значения несущей способности** или **расчетные сопротивления**, предельно допустимые деформации и величины раскрытия трещин либо **умножать величины расчетных нагрузок или усилия**.

При расчете конструкций **по первой группе предельных** состояний (по несущей способности) условие прочности с учетом рассмотренных расчетных коэффициентов можно представить в общем виде:

$$\sum N_n \gamma_f \gamma_{lc} \leq \Phi \left[ S; \frac{R_n}{\gamma_m} \frac{\gamma}{\gamma_n} \right],$$

где  $\sum N_n \gamma_f \gamma_{lc}$  — расчетное усилие, полученное от различных нагрузок со своими коэффициентами надежности по нагрузкам и сочетаний;

$\Phi$  — функция несущей способности;

$S$  — геометрические характеристики сечения.

Смысл этой формулы состоит в том, что наибольшее внешнее расчетное усилие не должно превышать наименьшую несущую способность.



Основное условие для расчета конструкций по **второй группе предельных состояний** — по перемещениям

$$\Delta \leq f \frac{1}{\gamma_n} ,$$

где  $\Delta$  — перемещения от расчетных нагрузок с коэффициентом надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1$ ;  $f$  — предельная нормативная величина перемещений. Железобетонные конструкции, кроме того, в зависимости от категории требований к их трещиностойкости рассчитывают по образованию трещин

$$T \leq T_{cr} \frac{1}{\gamma_n}$$

или по их раскрытию

$$a_{cr} \leq [a_{cr}] \frac{1}{\gamma_n} .$$

Расчет по предельным состояниям конструкции в целом, а также отдельных ее частей должен производиться для всех стадий: изготовления, транспортирования, возведения и эксплуатации. В зависимости от применяемых материалов и функционального назначения конструкций и сооружений их проектирование производится по соответствующим СНиП или другим нормативным документам.

# МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ

## СТАЛИ, ИХ СОСТАВ И СВОЙСТВА

Материалами для инженерных металлических конструкций являются прокатная сталь, стальное литье и алюминиевые сплавы. Наиболее часто (более 95%) применяют прокатную сталь.

**Сталь** — это *сплав железа с углеродом* и незначительным количеством примесей (которые попадают из руды или образуются в процессе выплавки) и легирующих добавок (которые вводят для улучшения свойств стали).

Стали подразделяются на *углеродистые и легированные*.

**Углеродистые стали** в зависимости от содержания углерода делят на: малоуглеродистые (0,09... 0,23% углерода), среднеуглеродистые (0,24...0,5% углерода) и высокоуглеродистые (0,51...1,2% углерода).

В инженерных конструкциях применяют в основном *малоуглеродистую сталь*, обладающую *большой пластичностью и хорошей свариваемостью*.

# Механические свойства стали

Эти свойства стали определяют такие показатели, как прочность, упругость и пластичность, а также склонность к хрупкому разрушению, которое косвенно оценивается ударной вязкостью.

**Прочность** стали определяется сопротивляемостью материала внешним силовым воздействиям.

**Упругость** характеризуется свойством материала восстанавливать свою первоначальную форму после снятия внешних нагрузок.

**Пластичность** — свойство материала не возвращаться в свое первоначальное состояние после снятия внешних нагрузок, т. е. получать остаточные деформации.

**Хрупкость** характеризуется разрушением материала при малых деформациях.

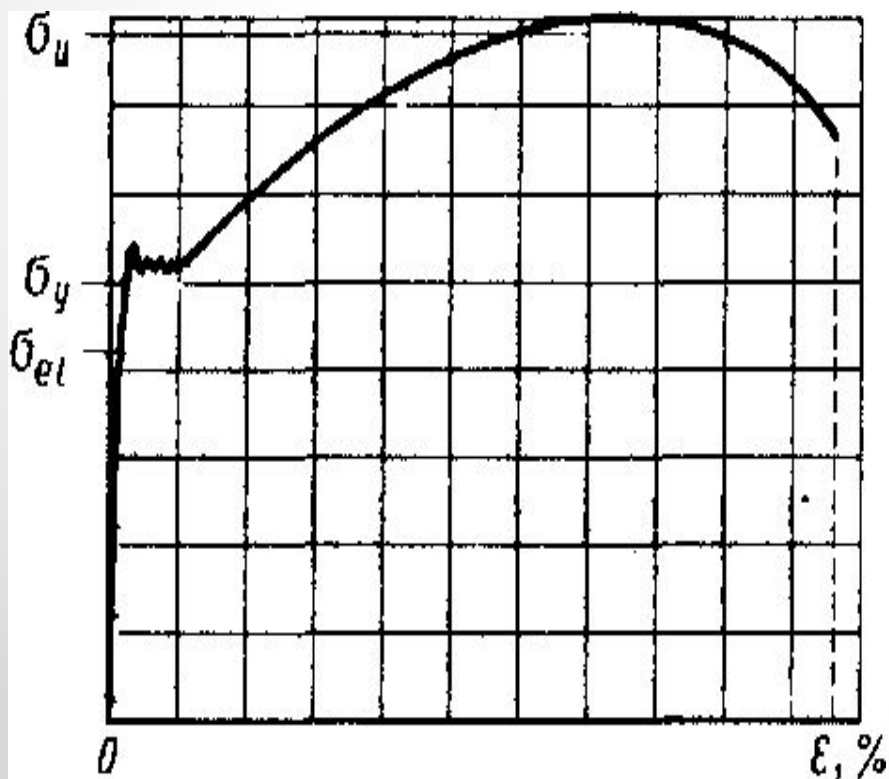
Важнейшими показателями механических свойств стали являются:

*предел текучести* ( $\sigma_y$ ),

*временное сопротивление* (предел прочности —  $\sigma_u$ ),

*относительное удлинение* ( $\varepsilon$ ).

Предел текучести и временное сопротивление характеризуют *прочность стали*, относительное удлинение — *пластические свойства стали*.



До достижения стандартным образцом из малоуглеродистой стали напряжений, равных *пределу текучести*, материал работает *практически упруго*. Затем в нем развиваются большие деформации при постоянном напряжении. В результате образуется *площадка текучести* (горизонтальный участок диаграммы на рис

# Обозначение марок малоуглеродистой стали

Например, ВСтЗспб, ВСтЗГпсб, 18сп, 18Гпс.

**Буква В** указывает, что сталь поставляется с гарантиями механических свойств и химического состава, **буквы Ст — сталь, цифра 3 — условный порядковый номер** марки малоуглеродистой стали. Марки стали различаются в зависимости от химического состава и механических свойств от Ст0 до Ст5.

В инженерных конструкциях применяется сталь **Ст3**, которая имеет достаточно **высокий предел текучести, пластична, хорошо сваривается**. Степень раскисления стали обозначается индексами «сп» (спокойная), «пс» (полуспокойная) и «кп» (кипящая). Для обозначения **полуспокойной стали** с повышенным содержанием **марганца добавляют букву Г**.

Последняя цифра указывает **категорию стали**. Стали марок 18сп и 18пс поставляются по группе В (цифра **18 показывает среднее содержание углерода в сотых долях процента**; остальные обозначения те же).

**Для гидротехнических сооружений**, мостов и других особо ответственных конструкций предназначены малоуглеродистые **стали марки М16С** (по ГОСТ 6713—75\*) и **марки 16Д** (по ГОСТ 6713—75\*)..

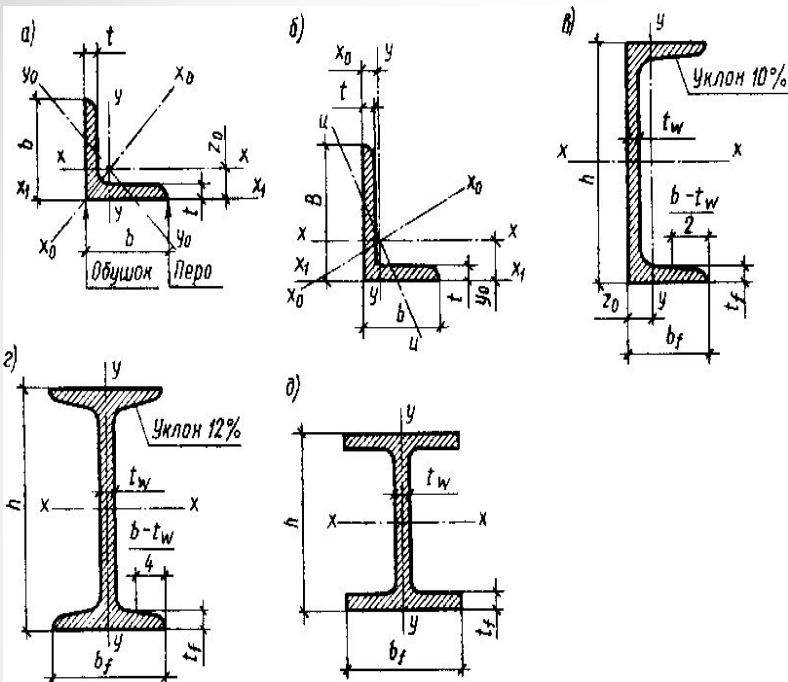


# СОРТАМЕНТ СТАЛЕЙ

**В инженерных конструкциях сталь применяют в виде прокатных изделий**, получаемых с металлургических заводов и имеющих различную форму поперечного сечения.

**Листовая сталь** распространена наиболее широко. Она часто составляет 40...60 % массы всего сооружения. Некоторые конструкции (составные балки, листовые оболочки и др.) почти целиком выполняют из листовой стали. Причиной такого широкого применения листа является неограниченная возможность создания любых профилей необходимых размеров, мощности и конфигурации сечения путем сварки листов.

# Прокатные профили



Угловые профили (рис. а, б) широко применяют для несущих элементов, работающих на *осевые силы*, в качестве связующих элементов.

Более экономичны уголки с меньшими толщинами полок.

Уголки -двух типов: *равнополочные и неравнополочные*.

Двутавры, используемые в инженерных конструкциях, прокатываются двух типов: *обыкновенные и широкополочные*.

Балки двутавровые – основной балочный профиль, работают на изгиб, чем и определяется их конфигурация (рис. г). Балки двутавровые широкополочные высотой до 1000 мм имеют параллельные грани полок (рис. д). Выпускают трех типов: *нормальные двутавры (Б), широкополочные двутавры (Ш) и колонные двутавры (К)*. Из широкополочных двутавров путем разрезки стенки в продольном направлении получают *тавровые профили*.

*Швеллер* отличается от двутавра сдвинутой к краю полок стенкой. Он прокатывается двух типов с уклоном внутренних граней полок (рис. в) и с параллельными гранями полок.

**Трубы стальные** бывают бесшовные **горячекатаные и электросварные.**

Трубы менее подвержены коррозии, чем фасонные профили, благодаря чему их часто применяют в гидротехническом строительстве.

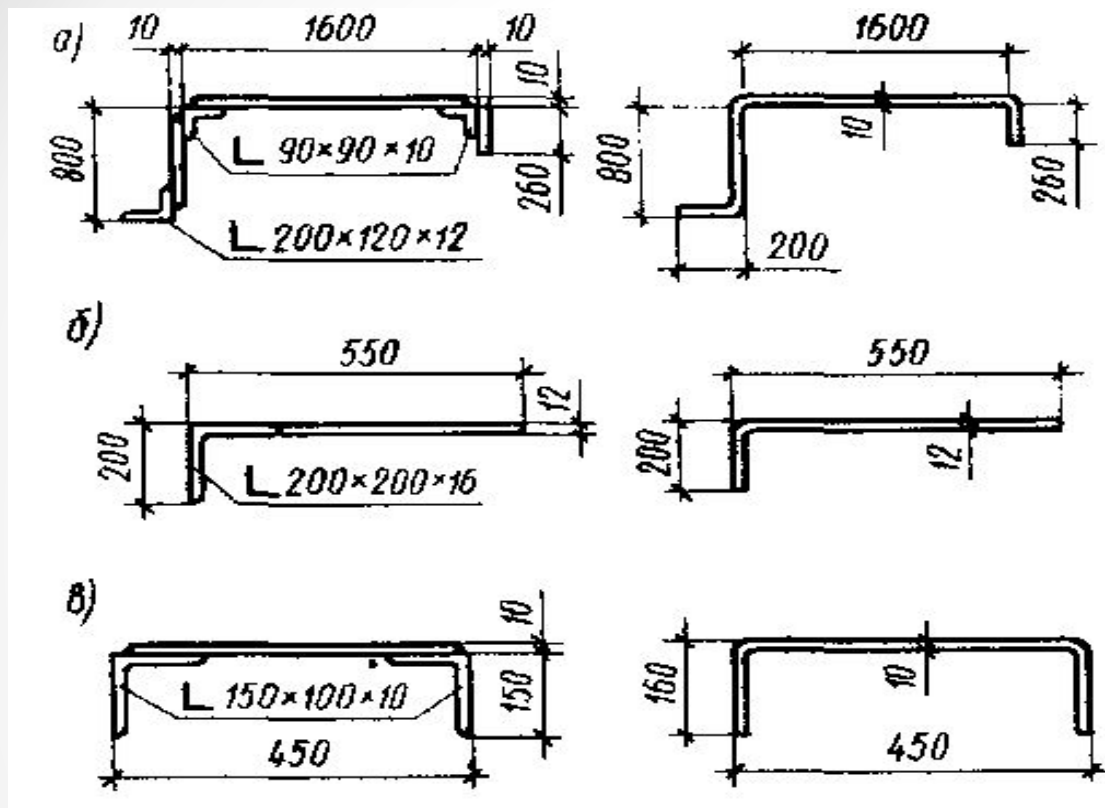
Кроме перечисленных основных профилей в инженерных конструкциях применяют

**сталь квадратную;**

**сталь круглую;**

также ряд других профилей.

# гнутые профили (рис. )



Сложные составные профили, замененные гнутыми: а — закладные части и облицовка пазов гидротехнических затворов; б — закладные части обратного пути гидротехнического затвора; в — ветвь колонии промышленного здания

# Классификация нагрузок и воздействий

## – по физической природе

- силовые (нагрузки)
- кинематические (смещения связей)
- температурные (тепловые)
- другие (электромагнитные, биохимические и проч.)

## – по способу (месту) приложения

- сосредоточенные
- распределённые

## – по характеру изменения во времени

- статические
- динамические
  - ударные
  - вибрационные
  - другие

## – по длительности воздействия

- постоянные
- временные