

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

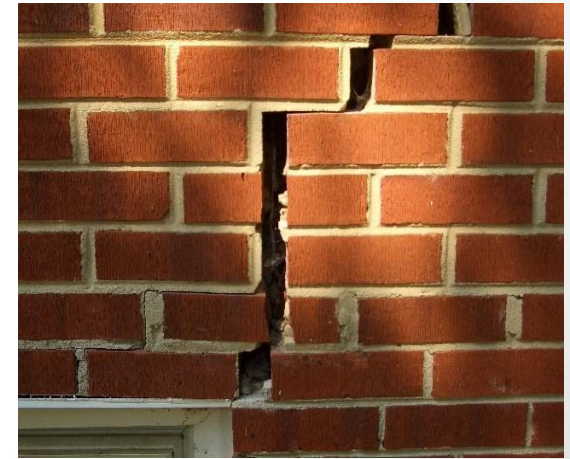
Идея → выбор конструкции → размеры
→ проверка расчетом

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**.

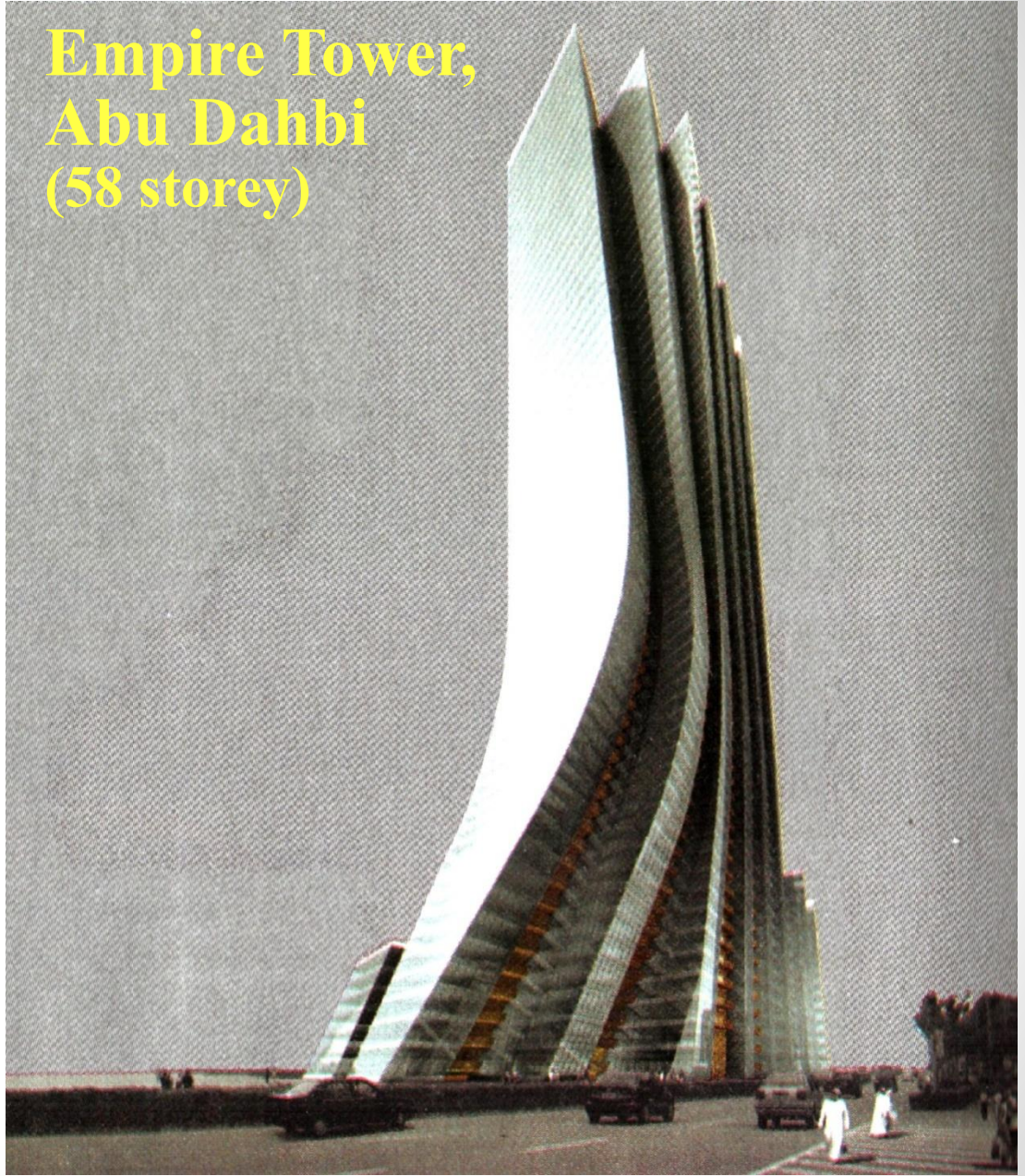
1. **в статике сооружений** внешняя **нагрузка постоянна** и элементы и части системы находятся в равновесии, то
2. **в динамике** сооружений рассматривается движение системы под воздействием **переменных динамических нагрузок**. Сюда же следует отнести задачи, связанные с учетом **вязких свойств материалов,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

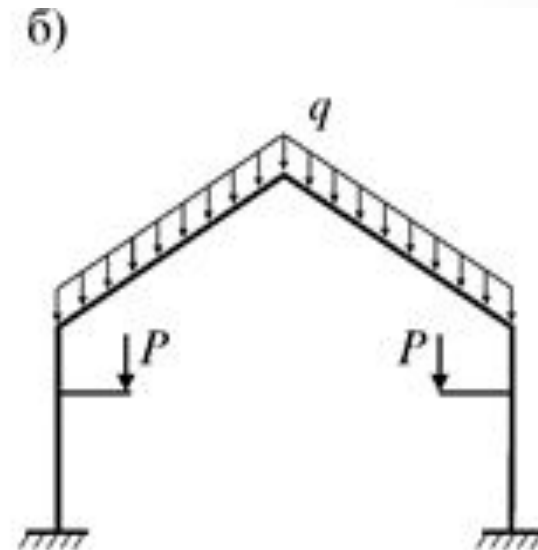
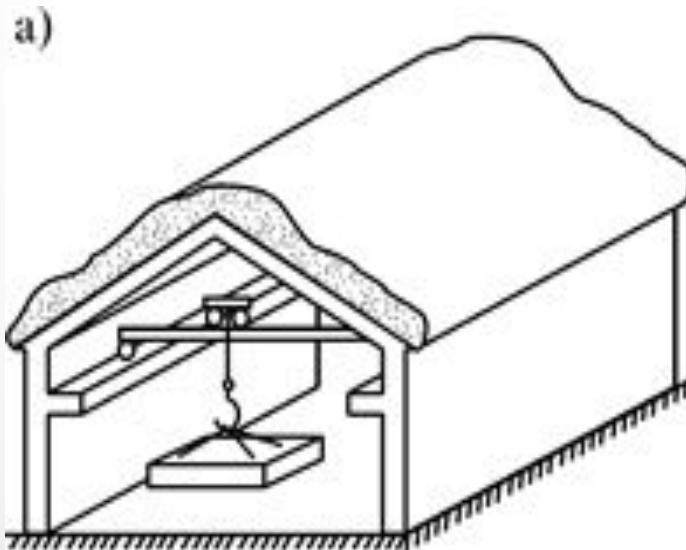
Предметом инженерных конструкций являются расчеты прочности и жесткости, поэтому для их изучения надо рассмотреть ее **упрощённую схему**, с определенной точностью отражающую действительную работу последней.

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).

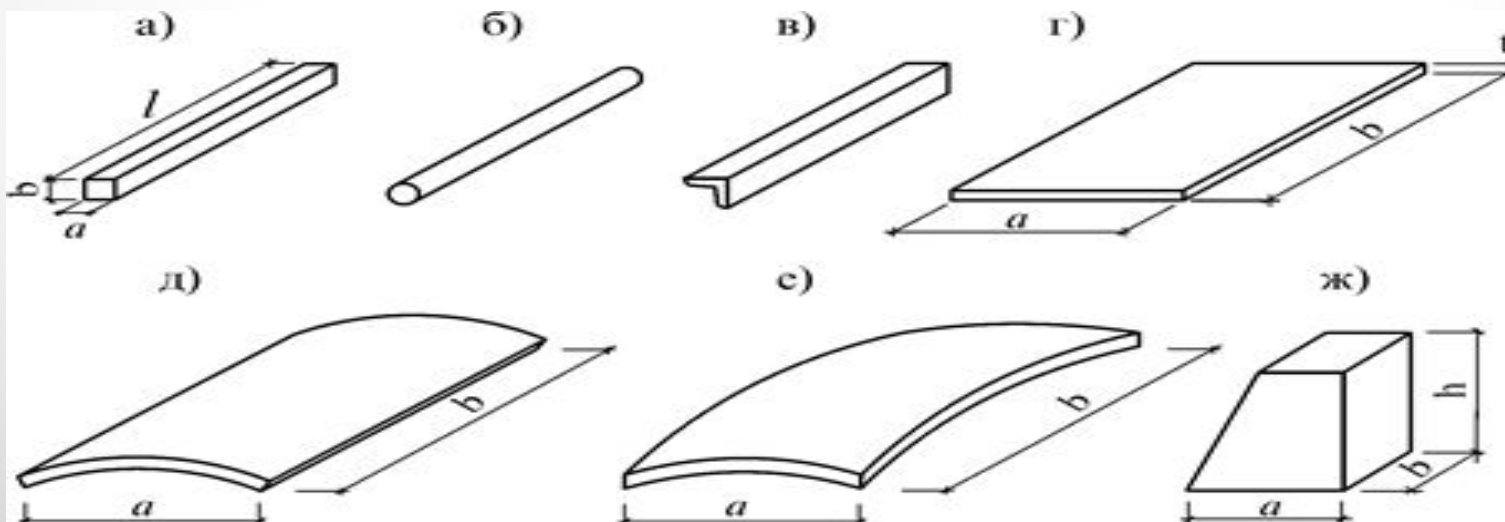
Основное назначение - восприятие осевых сил (**растягивающих и сжимающих**), а также **изгибающих и крутящих моментов**.

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).

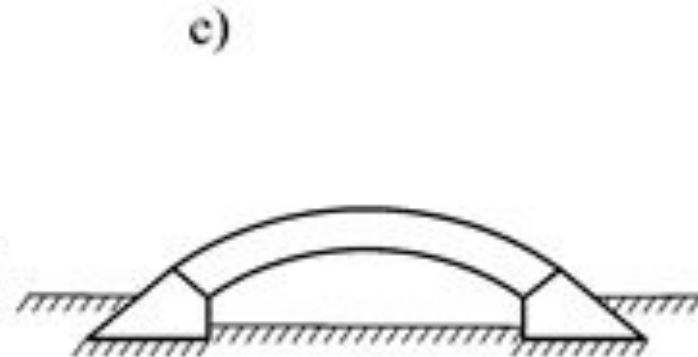
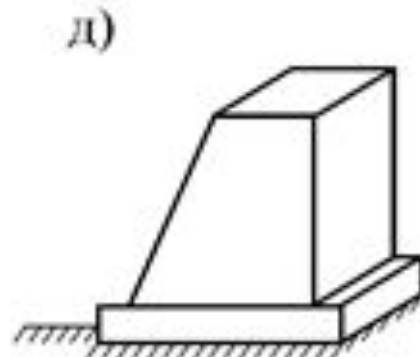
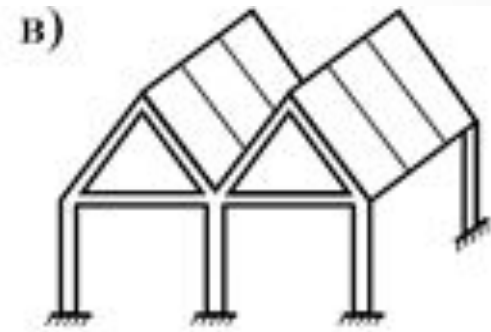
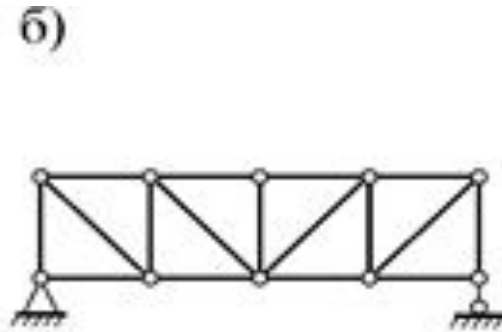
Расчет плит и систем значительно сложнее расчета стержневых систем.

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



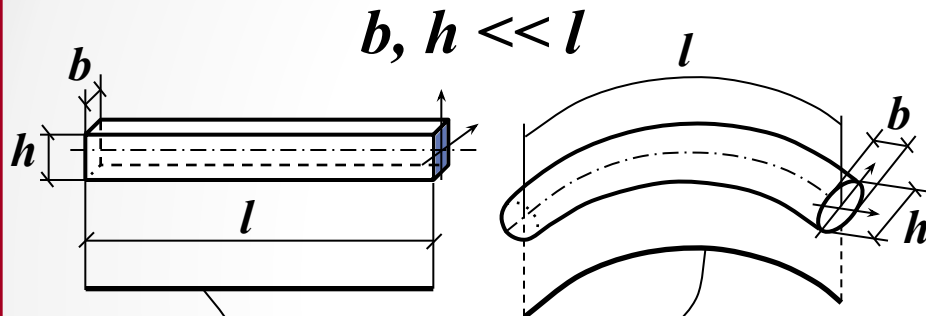
Простейшие сооружения, состоящие из таких элементов, делят на следующие типы:

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):



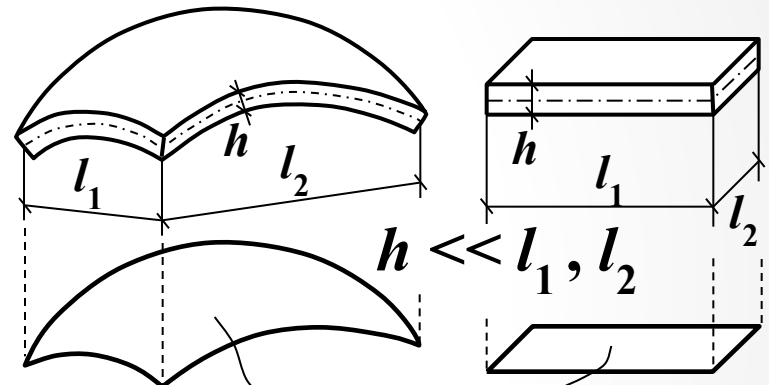
ИЗОБРАЖЕНИЕ НА РАСЧЁТНОЙ СХЕМЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СООРУЖЕНИЙ

Одномерные
(прямые и кривые стержни)



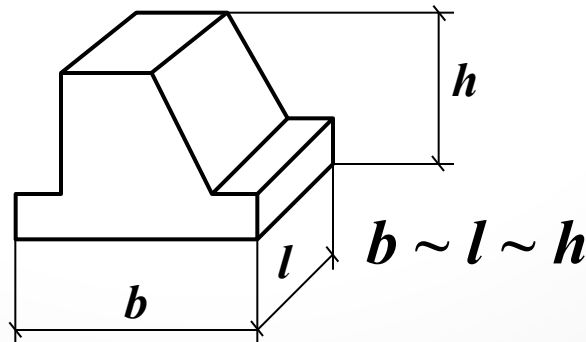
Осевая линия

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

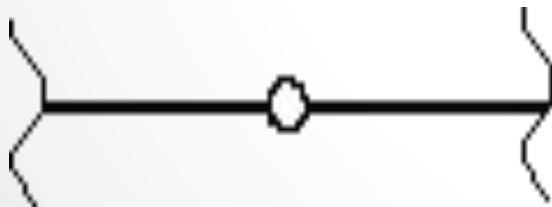
СВЯЗИ ЭЛЕМЕНТОВ В КОНСТРУКЦИЯХ

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

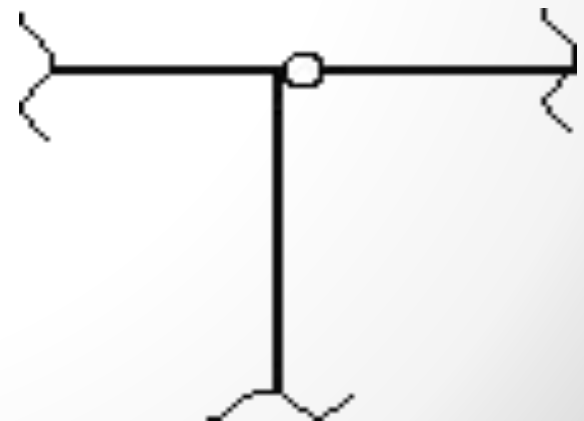
В реальных конструкциях **связями являются болты, заклепки, сварные швы, анкерные болты** и т.п.

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

Одиночный (врезанный) шарнир.



б) Одиночный (приставной) шарнир.

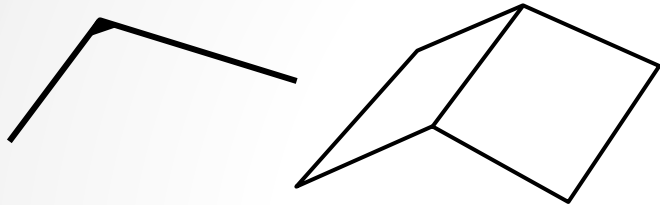


Основные типы опор плоских систем

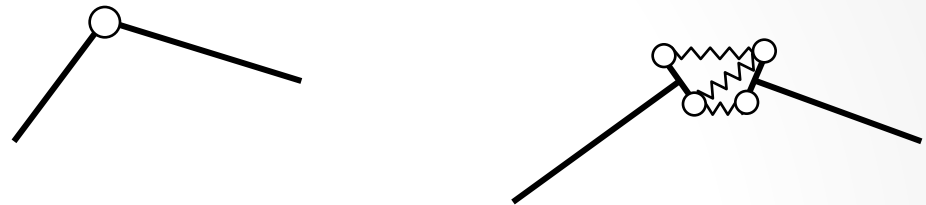
Тип опоры	Условное обозначение	Реакции	Перемещения
Шарнирная опора			 Δ – перемещение; φ – угол поворота
Шарнирно-неподвижная опора			
Заделка			 Перемещений нет
Ползун			
Упругая опора (κ - жесткость)	<p>а) </p> <p>б) </p>	<p>а) </p> <p>б) </p>	<p>а) </p> <p>б) </p>

ИЗОБРАЖЕНИЕ НА РАСЧЁТНОЙ СХЕМЕ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ

Жёсткое



Шарнирное (Упруго) податливое

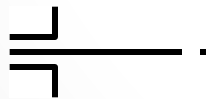


ИЗОБРАЖЕНИЕ НА РАСЧЁТНОЙ СХЕМЕ ОПОРНЫХ УСТРОЙСТВ

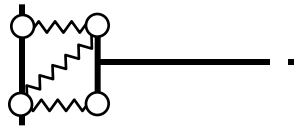
Шарнирные опоры



Неподвижная
защемляющая
опора



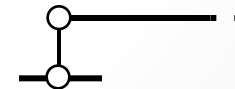
Подвижная
защемляющая
опора



(Упруго) податливая
защемляющая
опора



Неподвижная
шарнирная
опора



Подвижная
шарнирная
опора

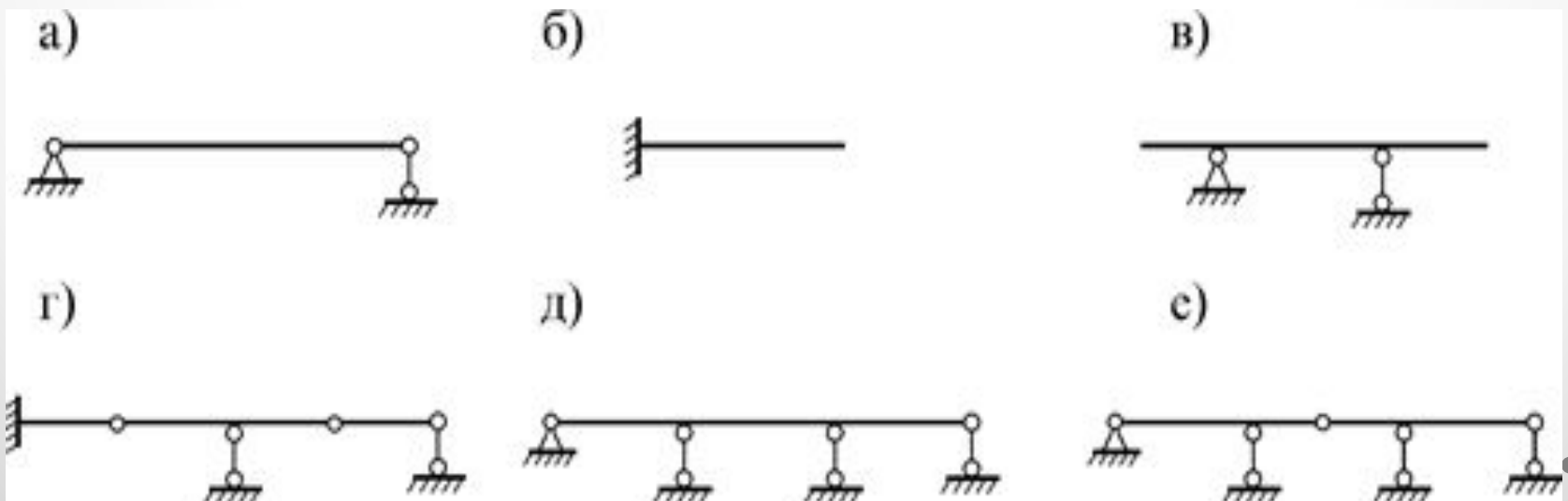


(Упруго) податливая
шарнирная
опора

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.

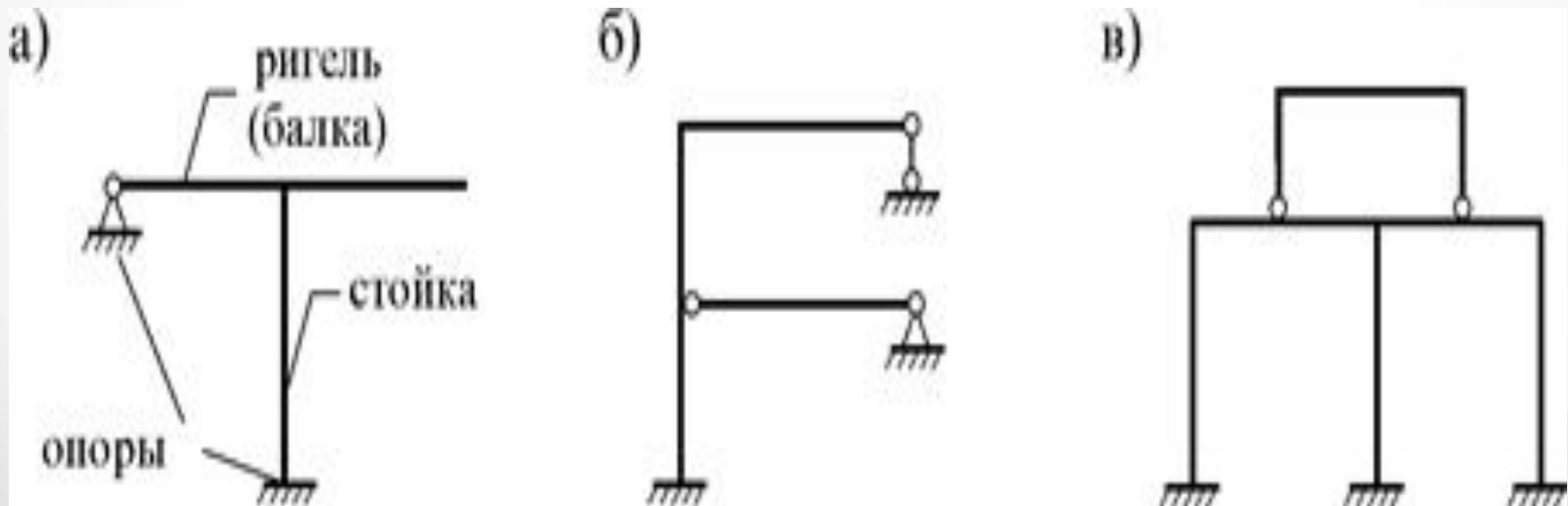
Колонна воспринимает **сжимающие усилия**.

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

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

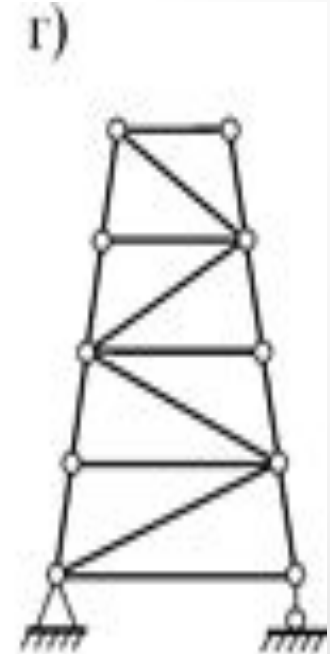
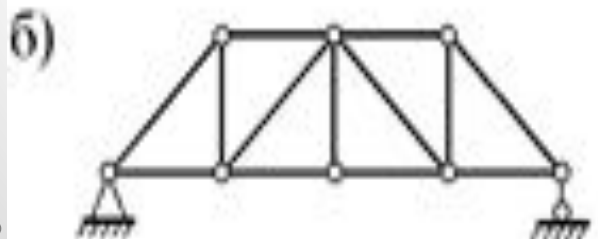
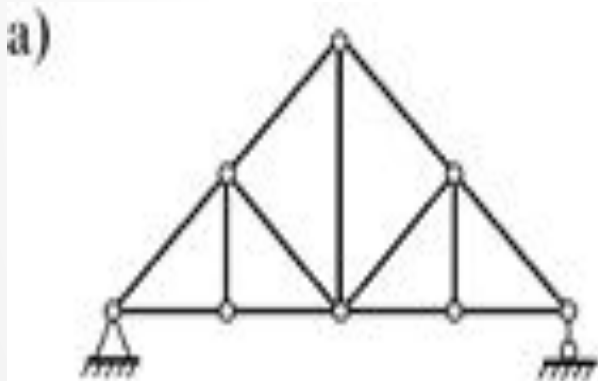
Стержни рам работают на **изгиб с растяжением или сжатием**.

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**.

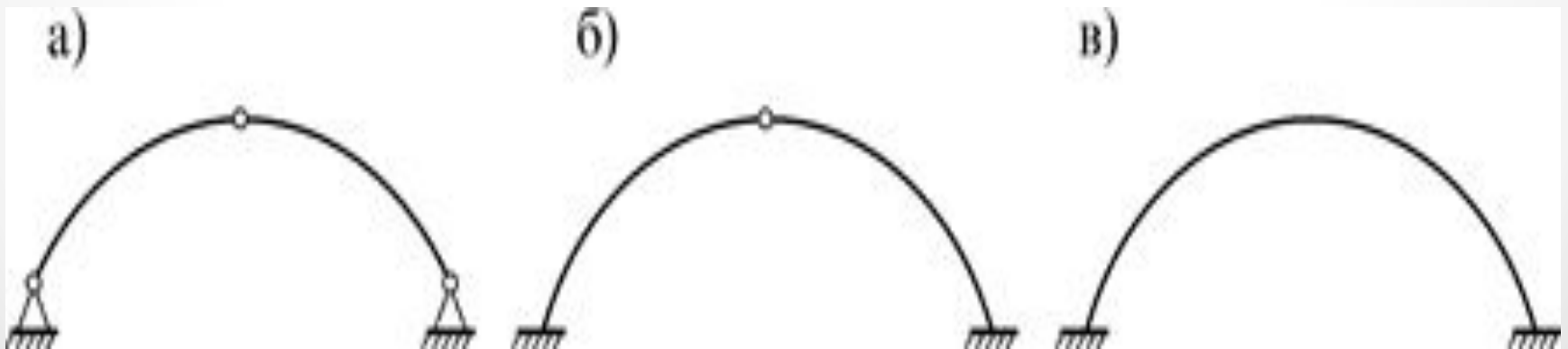
Типов ферм много. Например, бывают **стропильная ферма** (рис. а), **мостовая ферма** (рис. б), **крановая ферма** (рис. в), **башенная ферма** (рис. г).



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

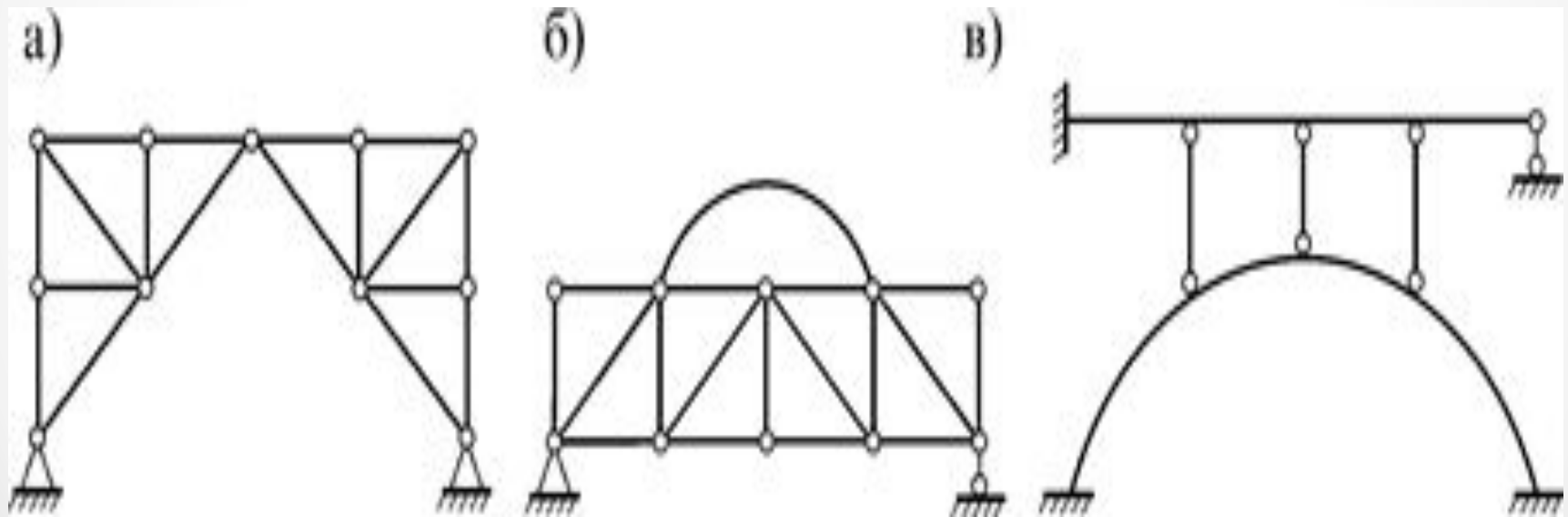
Вертикальные нагрузки на арки вызывают в **опорных устройствах вертикальные и горизонтальные, составляющие опорных реакций** (боковой распор). Эти конструкции носят название **распорных**.

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

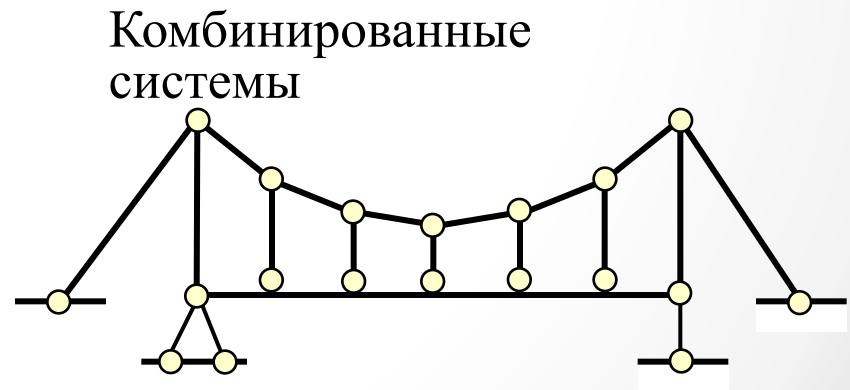
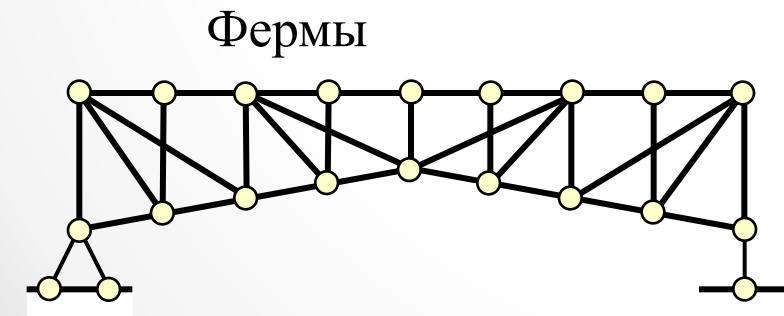
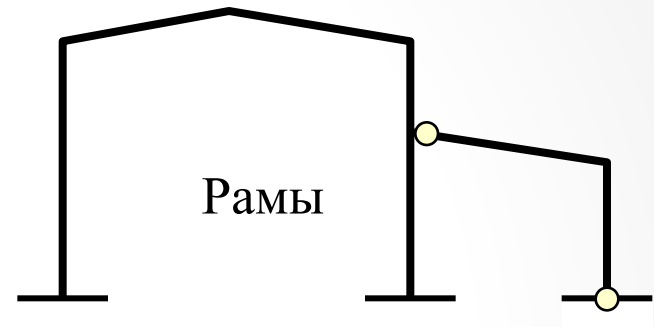
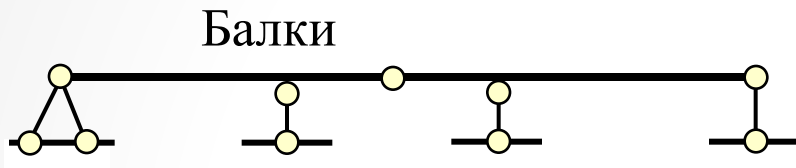


Существуют более **сложные системы** как комбинации простых систем. Они называются **комбинированными системами**.

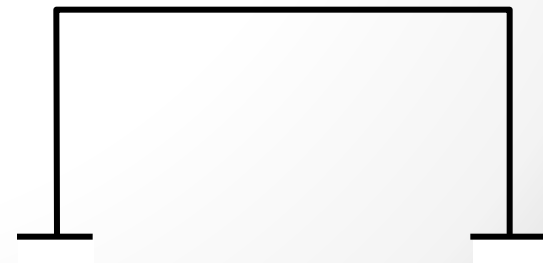
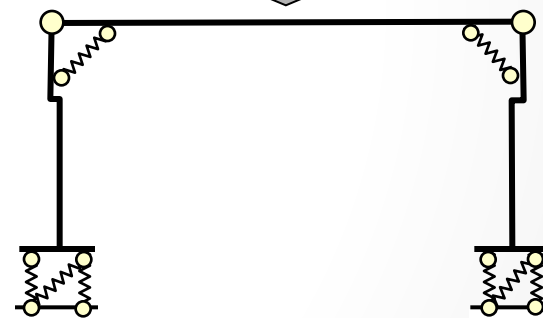
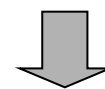
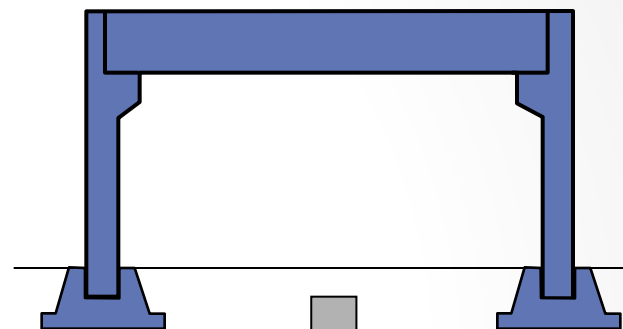
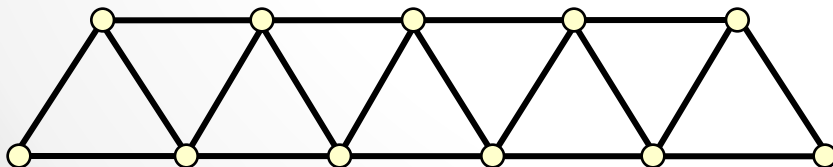
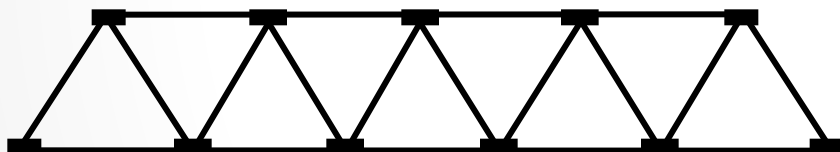
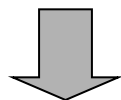
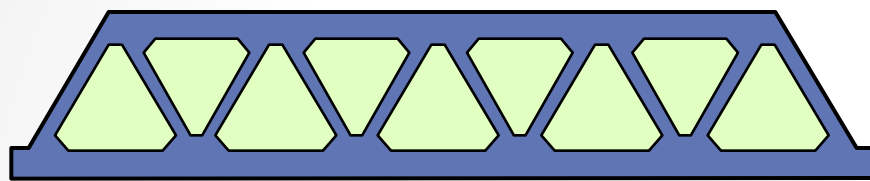
Например: **арочная ферма** (рис. а), **ферма с аркой** (рис. б), **висячая система** (рис. в):

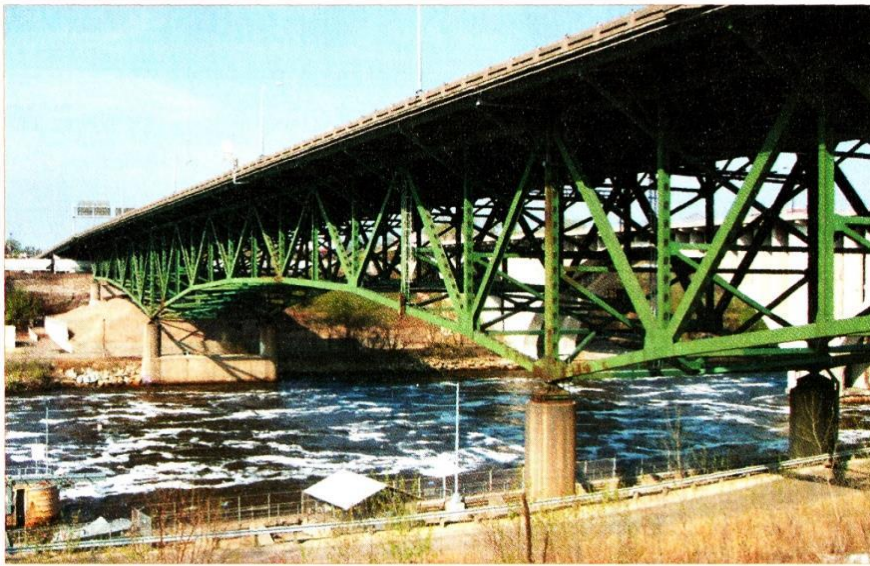


Основные типы плоских стержневых систем

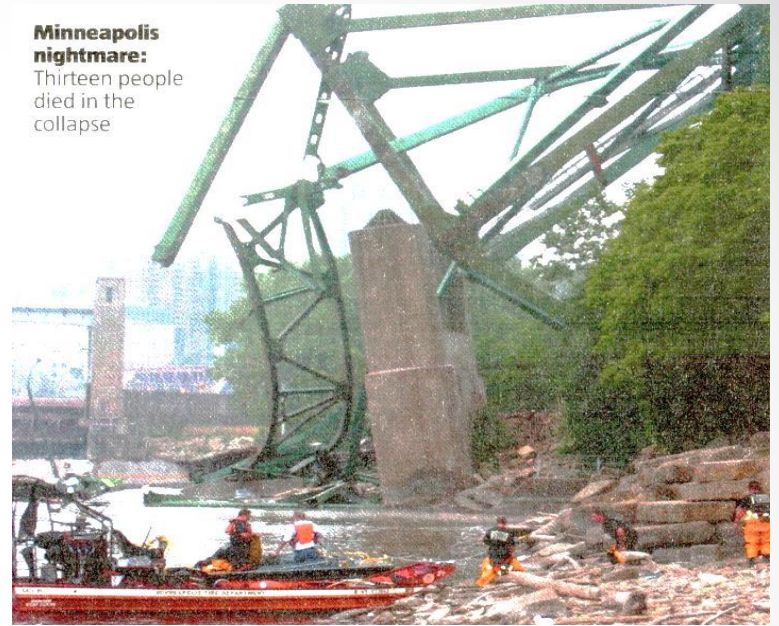


Формирование расчётной схемы сооружения (конструкции)





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

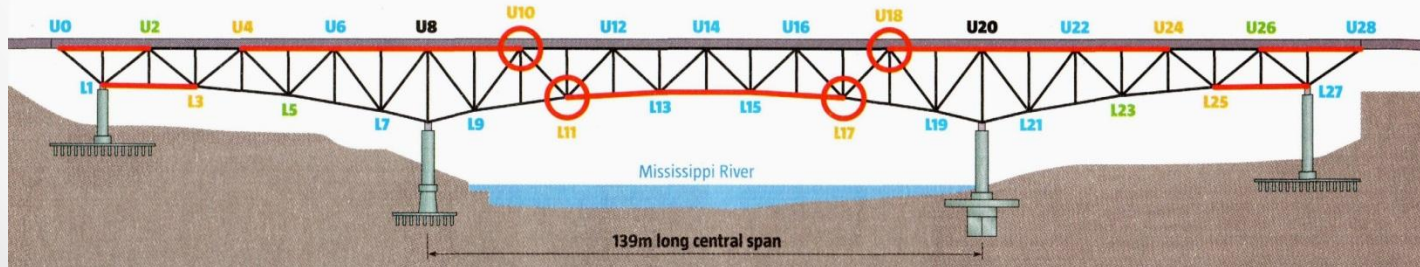
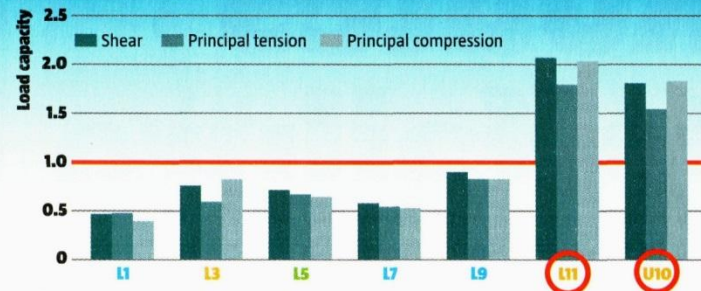
○ UNDER-DESIGNED GUSSET PLATE

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

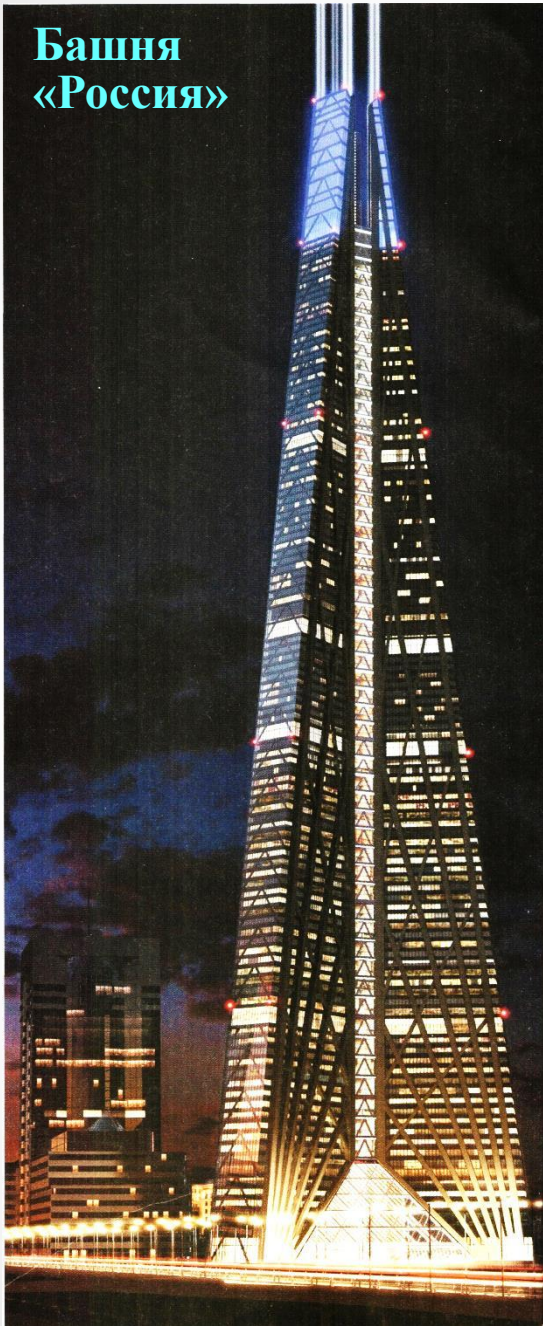
- U/L 35mm thick gusset plate
- U/L 25mm thick gusset plate
- U/L 16mm thick gusset plate
- U/L 12mm thick gusset plate



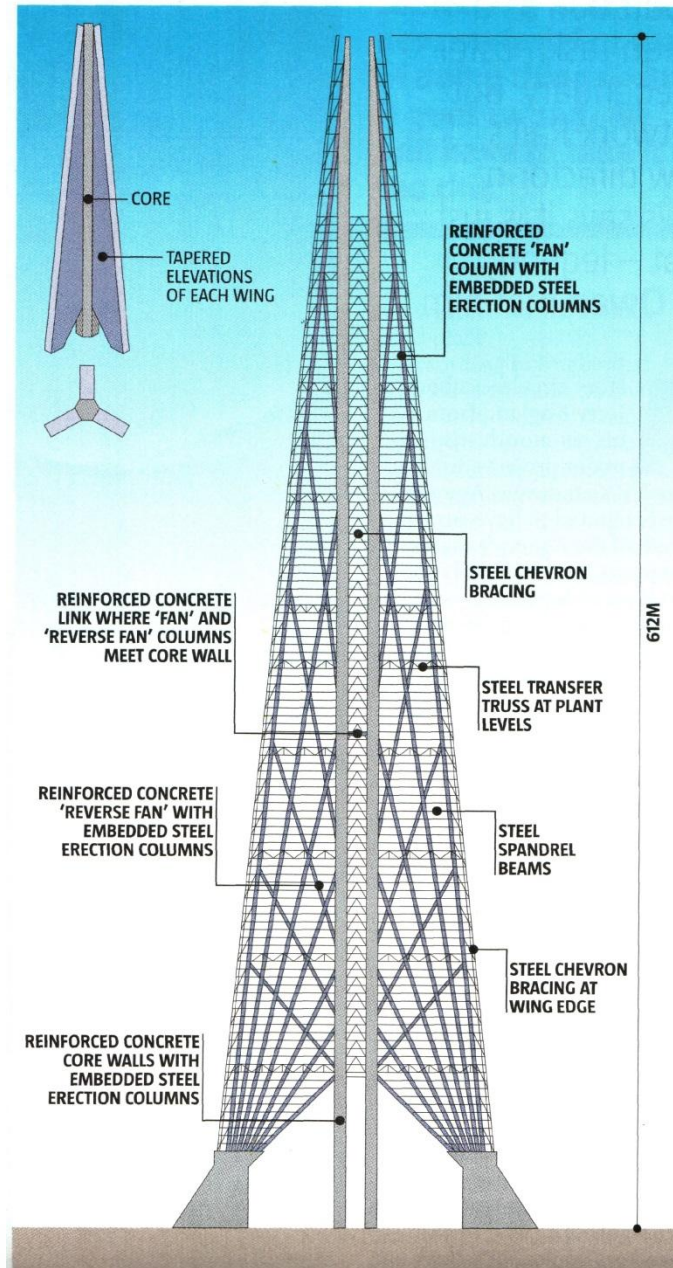
GRAPH SHOWING TYPICAL LOAD TO CAPACITY RATIOS OF PLATES



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.

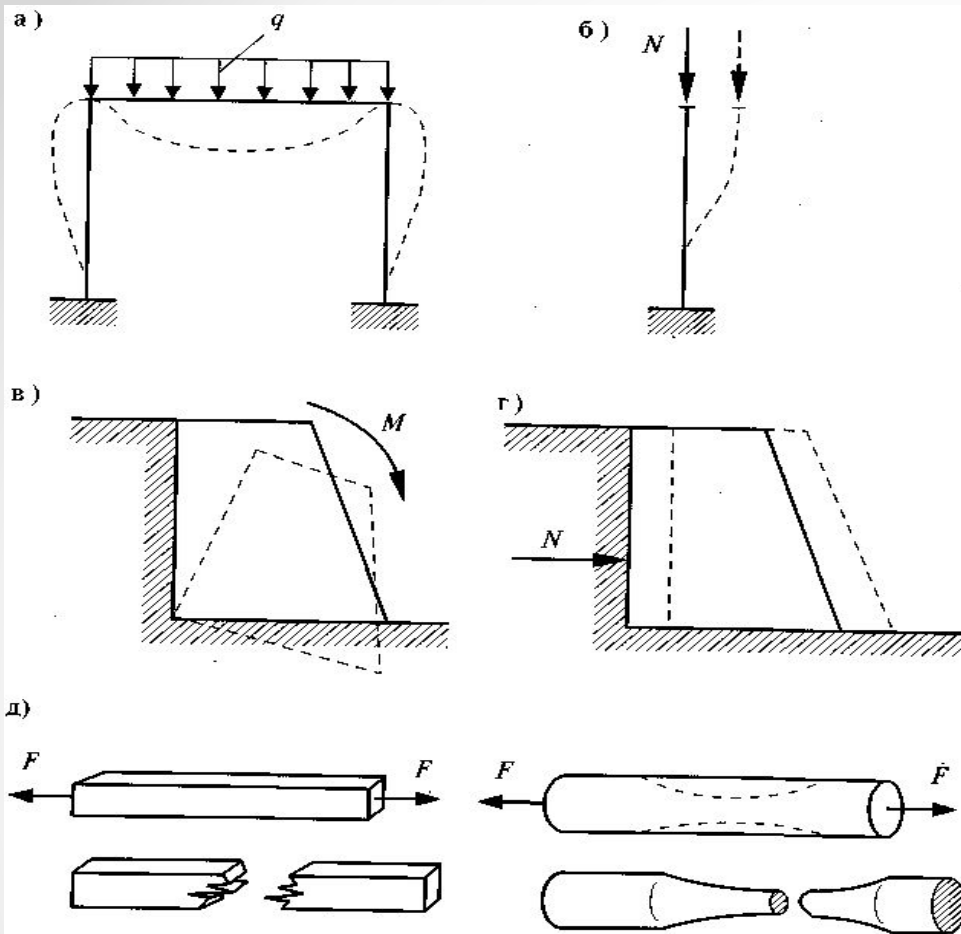


Рис. Предельные состояния первой группы:

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

д) хрупкое, вязкое или иного характера разрушение

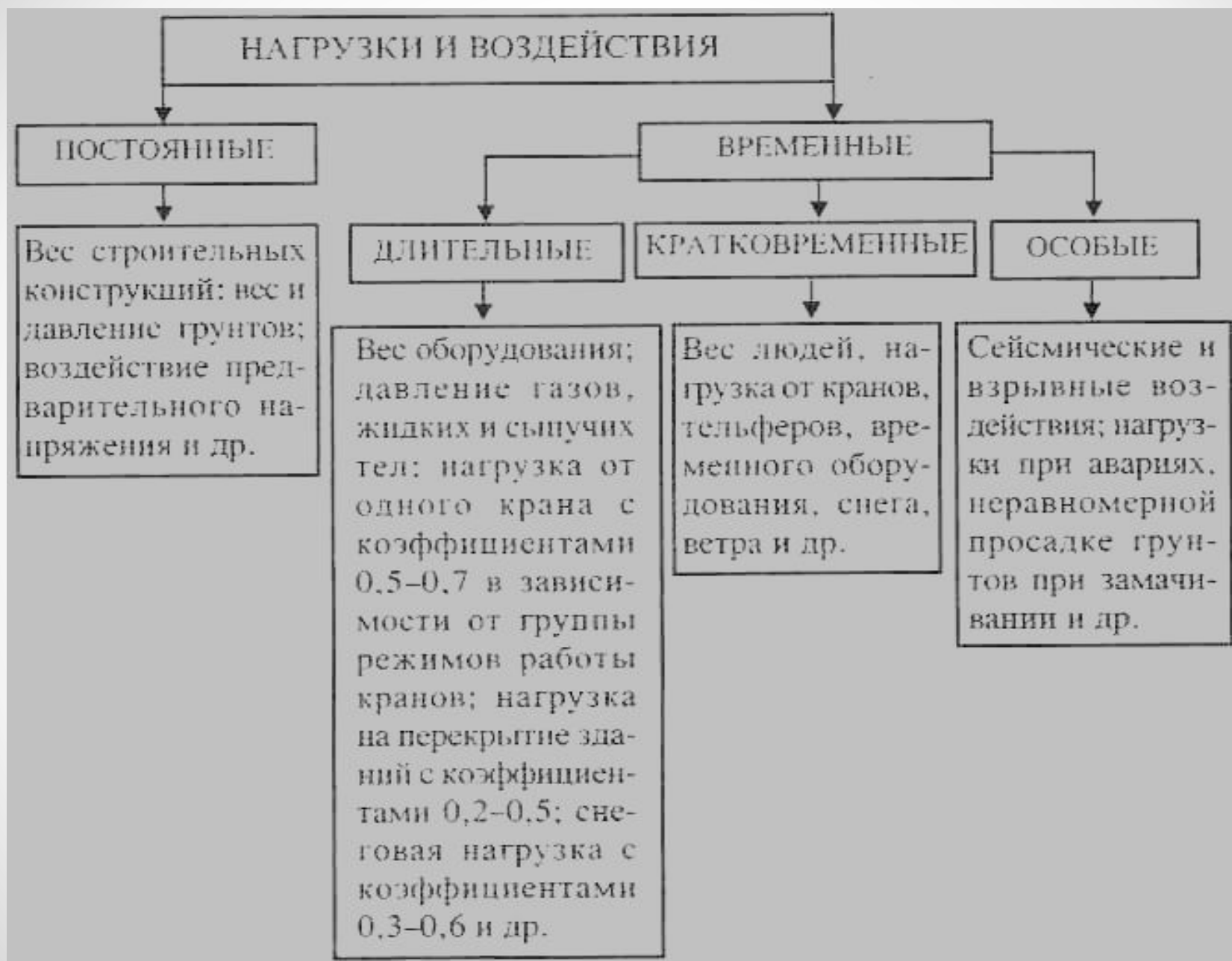
Наступление того или иного предельного состояния зависит от следующих **основных факторов:**

- 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* (γ_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** γ_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

γ_{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;

ν — 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 γ* , 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 γ_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 γ_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;

Φ — 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 Δ — 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

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

или по их раскрытию

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

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.

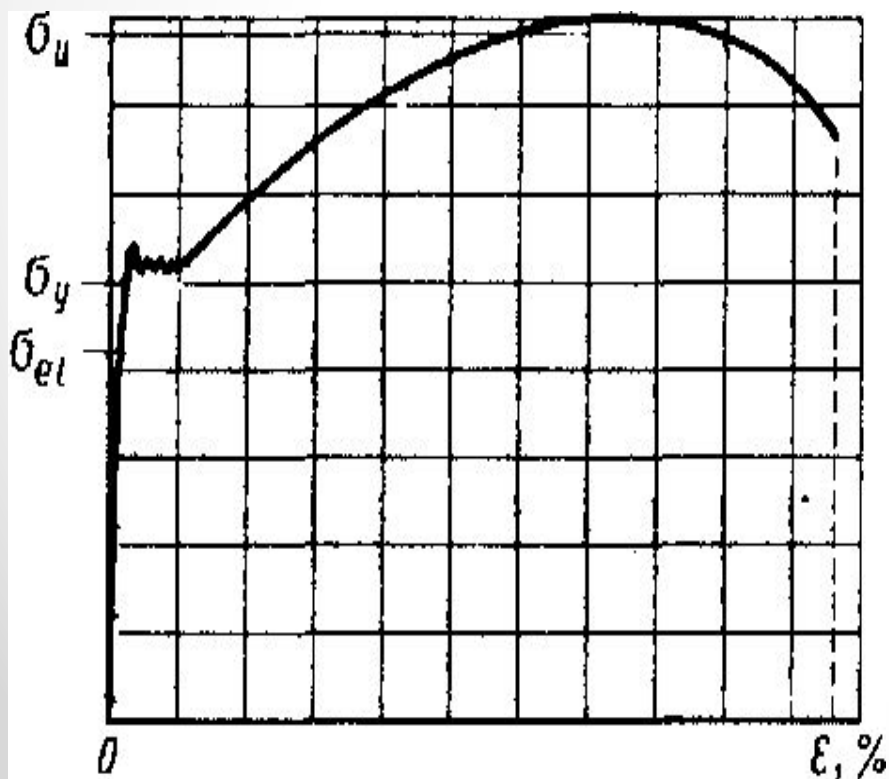
Важнейшими показателями механических свойств стали являются:

предел текучести (σ_y),

временное сопротивление (предел прочности — σ_u),

относительное удлинение (ε).

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 **СтЗ**, 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).

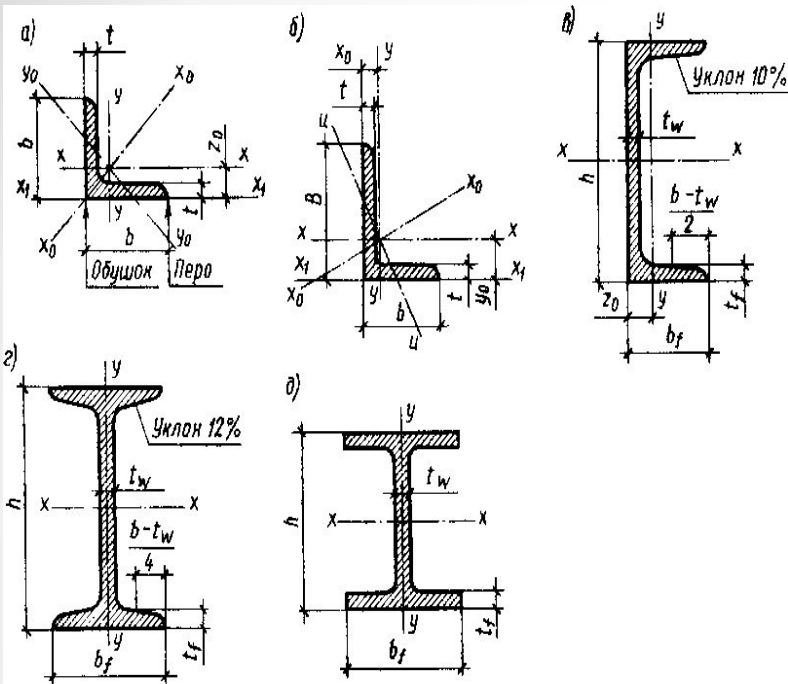
Для гидротехнических сооружений, мостов и других особо ответственных конструкций предназначены малоуглеродистые **стали марки М16С** (по ГОСТ 6713—75*) и **марки 16Д** (по ГОСТ 6713—75*)..

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 полки 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.

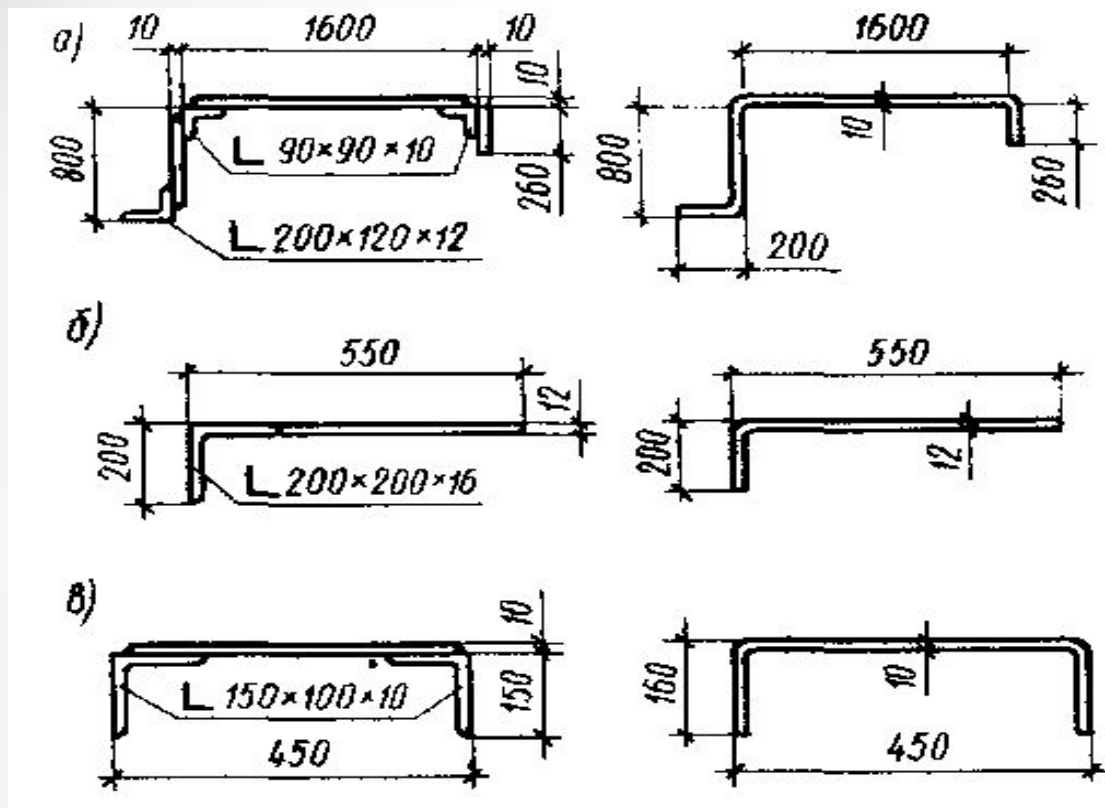
Кроме перечисленных основных профилей в инженерных конструкциях применяют

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