

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ И СВАРКА

Левитский Валерий Евгеньевич

кафедра «Строительные конструкции, здания и сооружения» 7506

[Блок 1. Основы проектирования](#)

Блок 2. Балочные конструкции

Блок 3. Центральнo-сжатые колонны

Модуль 1

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1. [Общая характеристика металлических конструкций](#)
2. [Состав и свойства строительных сталей](#)
3. [Основные этапы проектирования строительных конструкций. Нагрузки и воздействия](#)
4. [Основы расчёта металлических конструкций по предельным состояниям](#)
5. [Сварные соединения. Конструктивные требования и расчёт](#)
6. [Болтовые соединения. Конструктивные требования и расчёт](#)

Блок 1

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

- [Понятие о несущих конструкциях и несущих системах зданий и сооружений](#)
- Требования к несущим конструкциям, учитываемые при проектировании
- Преимущества и недостатки металлических конструкций
- Область применения металлических конструкций
- Краткий исторический обзор развития металлических конструкций

Понятие о несущих конструкциях зданий и сооружений

Продукцией строительного производства являются здания и сооружения.

Здания – наземные строительные объекты, связанные с пребыванием людей.

Понятие «сооружения» является более широким и включает как здания, так и специальные виды сооружений, предназначенных для выполнения задач технических (**инженерные сооружения** – мосты, трубы, резервуары и т.д.) или эстетических (**архитектурные сооружения**).

Здания и сооружения состоят из отдельных **конструктивных элементов** (конструкций), которые можно разделить на **несущие** и **ограждающие**.

Некоторые элементы сочетают эти две функции (как правило, неэффективно).



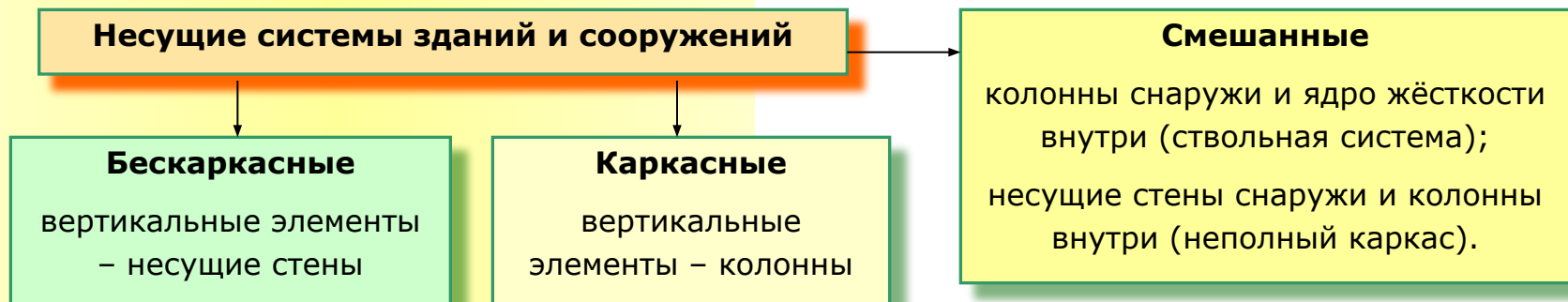
Материалы для несущих конструкций и виды несущих систем зданий и сооружений

В зависимости от применяемых конструкционных материалов различают

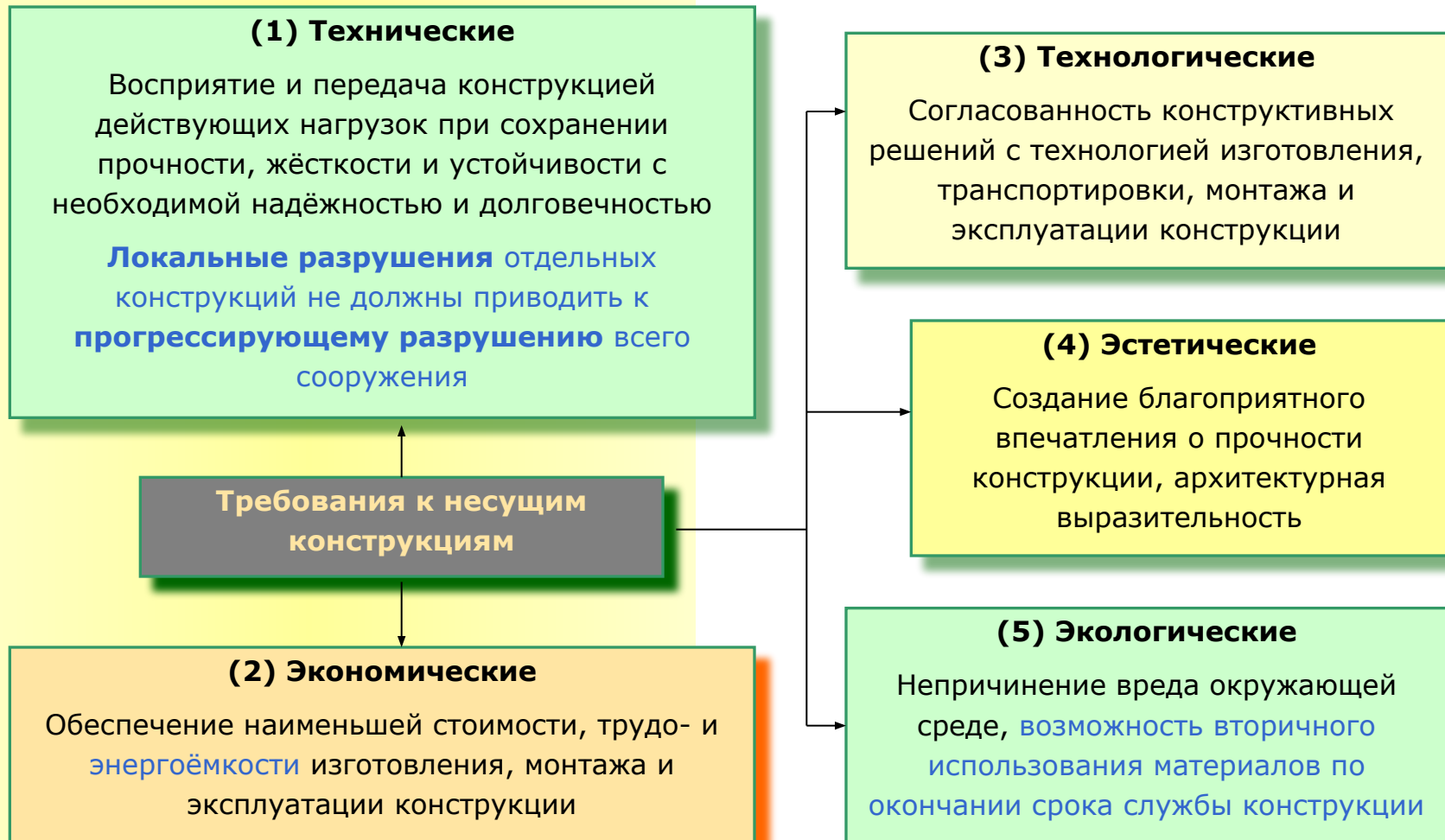
- **бетонные и железобетонные конструкции;**
- **металлические конструкции (стальные и алюминиевые);**
- **конструкции из дерева и пластмасс;**
- **каменные и армокаменные конструкции.**

Современные конструкции часто выполняются **композиционными**, то есть из двух и более материалов, что позволяет с наибольшей эффективностью использовать их свойства.

- 4 Взаимосвязанная совокупность несущих конструкций здания (сооружения) называется его **несущей**, или **конструктивной**, системой.



Требования к несущим конструкциям, учитываемые при проектировании



Особенности обеспечения экономических требований

Технические и экономические требования во многом являются противоречивыми: нередко сокращение расхода материала снижает не только стоимость, но и надёжность конструкции.

Проектирование несущих конструкций неизбежно связано с выбором компромисса между экономичностью и рисками.

Поиск наиболее экономичного конструктивного решения достигается сравнением различных вариантов (**вариантное проектирование**) или поиском оптимального соотношения параметров в пределах одного варианта (**оптимальное проектирование**).

Концентрация материала – сосредоточение массы в отдельных конструктивных элементах, воспринимающих значительные усилия.

Снижение веса конструкций приводит к уменьшению нагрузки на них и нижележащие конструкции.

Унификация – приведение к единообразию размеров и форм конструктивных элементов.

Обеспечение экономичности конструктивных решений

Совершенствование методов расчёта

Применение рациональных конструктивных форм, концентрация материала

Снижение веса конструкций

Унификация и типизация

Сравнение эффективности конструкций из различных материалов

Преимущества и недостатки металлических конструкций можно выявить в сравнении с конструкциями из других материалов.

Показатели	Виды конструкций			
	железобетонные	металлические	деревянные	каменные
Лёгкость	тяжёлые	лёгкие	средние	очень тяжёлые
Огнестойкость (без огнезащиты)	высокая	неогнестойкие	огнестойки, но возгораемы	очень высокая
Атмосферостойкость	достаточная	склонность к коррозии	подверженность гниению	достаточная
Химическая стойкость	в ряде случаев недостаточная	слабая	весьма высокая	достаточная
Эксплуатационные расходы	почти отсутствуют	необходимость периодической окраски	необходимость восстановления защитных покрытий против гниения и огня	почти отсутствуют
Ремонтопригодность	трудности в усилении	высокая	высокая	трудности в усилении

Сравнение лёгкости конструкционных материалов

Лёгкость конструкций количественно характеризуется отношением расчётного сопротивления **R** к удельному весу **γ** материала.

Чем больше это отношение, тем легче конструкция.

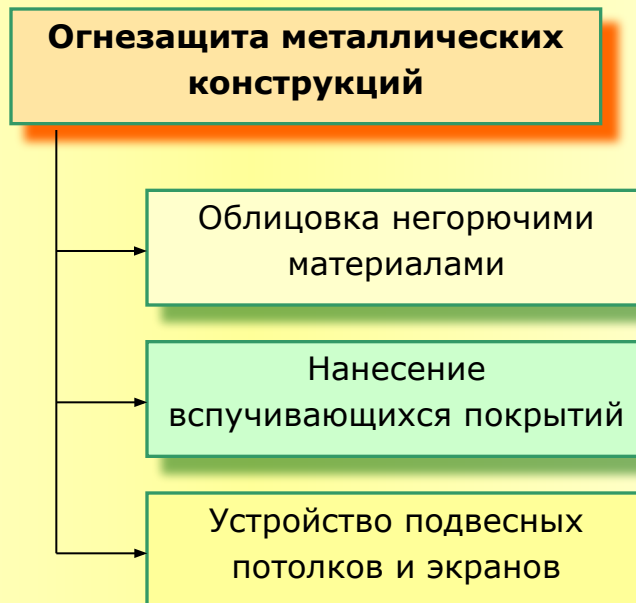
Наиболее лёгкими являются металлические конструкции; деревянные оказываются тяжелее примерно **в 1,5...2 раза**, железобетонные – **в 4...10 раз**; каменные – **в 20...40 раз**.

Материал	Плотность, кг/м ³	Удельный вес γ , кН/м ³	Расчётное сопротивление R , МПа	R/γ · 10³ , м
Сталь обычной прочности С245	7850	78,5	230	2,93
Сталь повышенной прочности С375	7850	78,5	325	4,14
Алюминиевый сплав упрочнённый 1915Т	2750	27,5	200	7,27
Бетон класса В30	2400	24	17	0,71
Древесина (сосна) 2-го сорта	600	6	13	2,16
Кладка из кирпича М100 на растворе М25	1800	18	1,3	0,072

Методы повышения долговечности и огнестойкости металлических конструкций

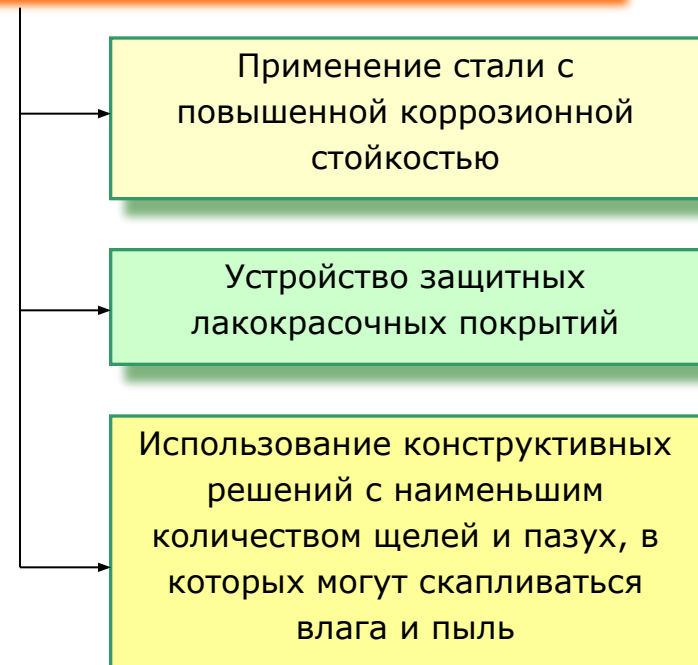
Огнестойкость незащищённых металлических конструкций невелика: при пожаре они теряют несущую способность уже через **12...15 мин.**

Для повышения огнестойкости предусматривают **огнезащиту** конструкций, действие которой основано на замедлении прогрева металла.



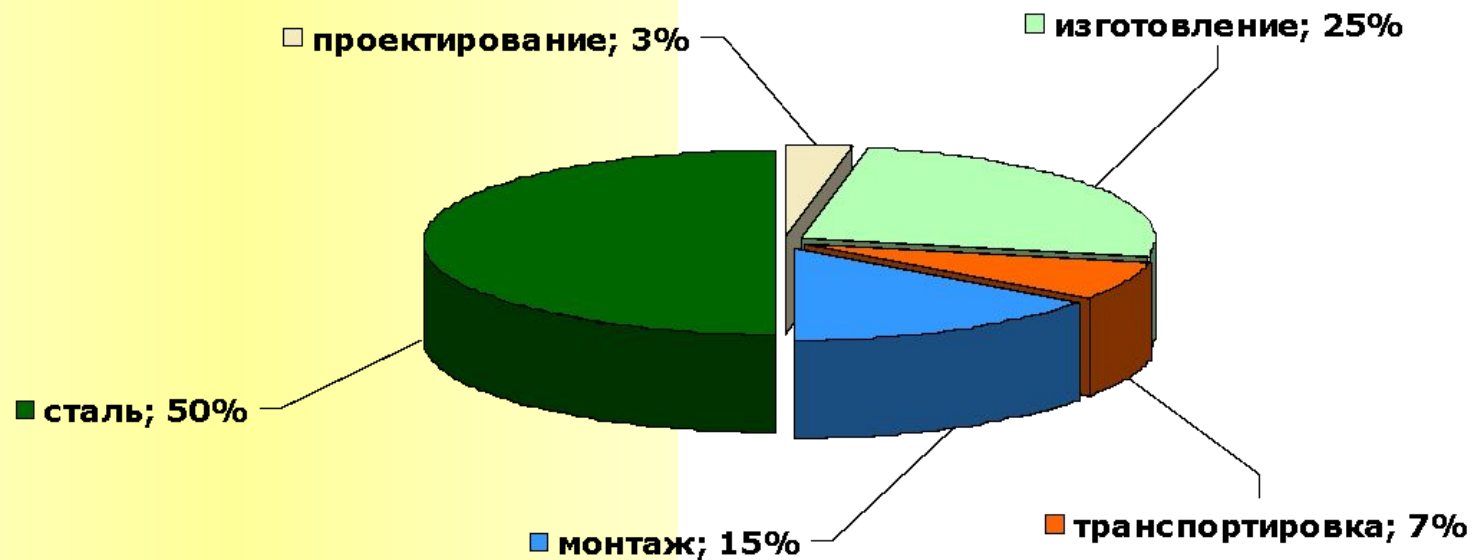
Во влажной среде сталь подвергается коррозии.

Повышение атмосферной и химической стойкости стальных конструкций



Структура стоимости стальных конструкций

Наиболее значительную часть стоимости металлических конструкций составляет стоимость материала.



Стоимость конструкций из различных материалов во многом определяется рыночной ситуацией.

Преимущества и недостатки металлических конструкций

Стальные конструкции

[+]

- Высокая прочность при небольшой собственной массе
- Высокая индустриальность и скорость монтажа; удобство изготовления и усиления
- Непроницаемость для жидкостей и газов

[-]

- Подверженность коррозии, необходимость антикоррозионной защиты
- Низкая огнестойкость, необходимость огнезащиты
- Высокая стоимость

Алюминиевые конструкции

[+] по сравнению со стальными

- Более лёгкие
- Более высокая коррозионная стойкость (в 10...20 раз выше)
- Не создают искр при ударе

[-] по сравнению со стальными

- Повышенная деформативность (модуль упругости в 3 раза меньше)
- Более низкая огнестойкость
- Более высокая стоимость

Область применения стальных и алюминиевых конструкций

Область применения стальных конструкций

Эффективность применения несущих **стальных** конструкций повышается с **увеличением пролётов** и **высоты** (этажности) сооружений, а также **возрастанием нагрузок** на них.

Применение **алюминиевых** конструкций в качестве несущих оправдано только в исключительных случаях, например, для грузоподъёмного оборудования.

В зданиях

- **Каркасы одноэтажных промышленных зданий** (ОПЗ), в том числе из быстровозводимых лёгких металлических конструкций (ЛМК)
- **Каркасы многоэтажных и высотных зданий**
- **Большепролётные покрытия** общественных и специальных промышленных зданий (спортивные сооружения, рынки, выставочные павильоны, ангары)

В сооружениях

- **Мосты, эстакады**
- **Башни и мачты**
- **Листовые конструкции** (резервуары, газгольдеры) – благодаря непроницаемости
- **Конструкции подъёмно-транспортного оборудования** (краны)
- **Специальные конструкции** (радиотелескопы и др.)

Тестовые вопросы (1-2)

Недостатки стальных конструкций

Выберите правильные ответы

- Большой собственный вес
- Малая индустриальность
- Подверженность коррозии
- Слабая огнестойкость
- Высокая стоимость
- Трудности при усилении

Наиболее значительную часть стоимости металлических конструкций составляют расходы на

Выберите правильный ответ

- Проектирование
- Изготовление
- Транспортировку
- Монтаж
- Материал

Краткий исторический обзор развития
металлических конструкций



Бруски из кованого железа (до конца 18 в.)

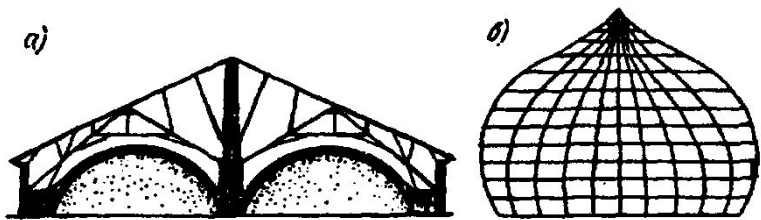
Применение металлических конструкций в строительстве всегда определялось уровнем развития металлургии и металлообработки.

Простейшие конструкции из железа были известны ещё в глубокой древности.

До конца 18 века в строительстве применялись кованые бруски из кричного железа, соединённые на замках и скрепах горновой сваркой.

Первоначально их использовали только в качестве затяжек каменных сводов, а с 17 века – также в качестве наслонных стропил и элементов каркасов куполов.

В России железные затяжки куполов использовались с 12-го века (Успенский собор во Владимире, 1158).



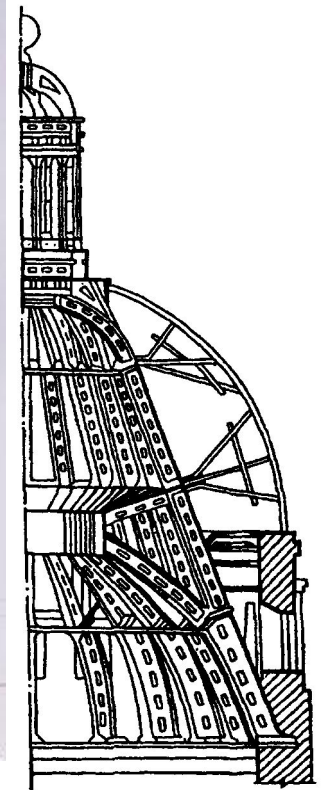
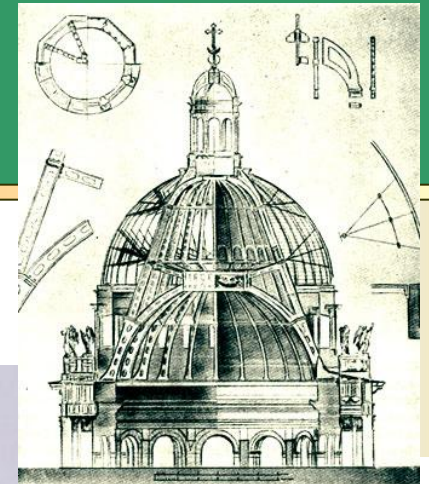
Чугунные конструкции (18 – 19 век)

В начале 18 века был освоен процесс чугунного литья. С этого момента и до конца 19 века чугун применялся для строительства мостов и конструкций перекрытий.

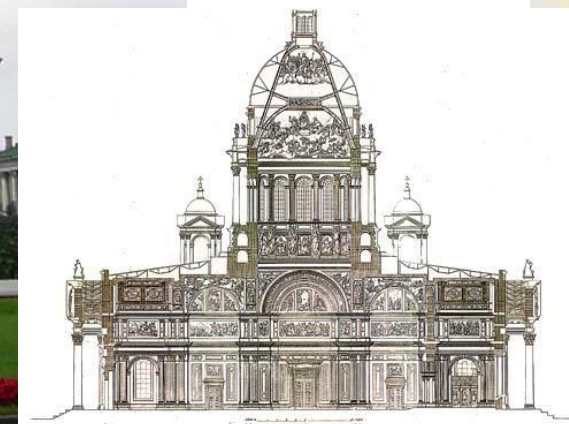
Купол Исаакиевского собора в Петербурге (40-е годы 19 в.) собран из чугунных косяков.

Перекрытие Зимнего дворца (1837 г.) выполнено в виде треугольных железочугунных ферм пролётом 12,9 м.

Николаевский мост в Петербурге с восемью арочными пролётами от 33 до 47 м (50-е годы 19 в.) является самым крупным чугунным мостом мира.



Купол Исаакиевского собора (40-е г. 19 века)



Развитие промышленного производства стали, зарождение науки о металлоконструкциях (19-й век)

В 1784 г. Г. Кортон (Англия) было предложено заменить кричный процесс получения железа более совершенным – пудлингованием.

В 30-х годах 19 века появляются заклёпочные соединения.

Во второй половине 19 века были разработаны основные способы промышленного производства литой стали: бессемеровский, (1856), мартеновский (1864), томасовский (1878).

С их внедрением получило развитие производство листовых, уголковых и двутавровых прокатных профилей.

В этот период возникает наука о металлических конструкциях.

Сталь постепенно вытесняет чугун из строительных конструкций.

В 1889 г. для Всемирной выставки в Париже возводится Эйфелева башня высотой 300 м

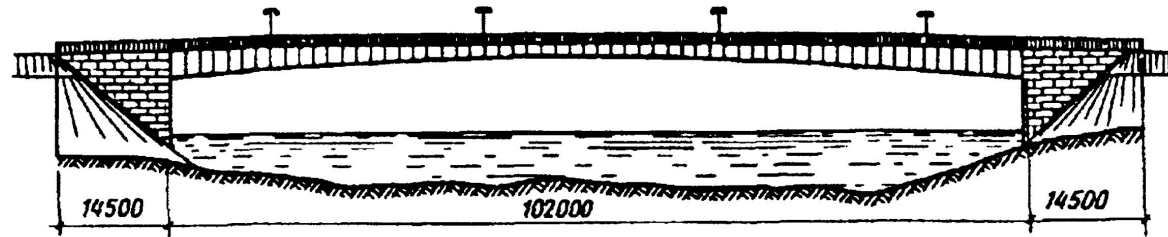


Развитие мостостроения

В связи с ростом железных дорог интенсивно развивается металлическое мостостроение.

Разработанные в мостостроении принципы проектирования переносятся на промышленные и гражданские объекты.

Балочный мост



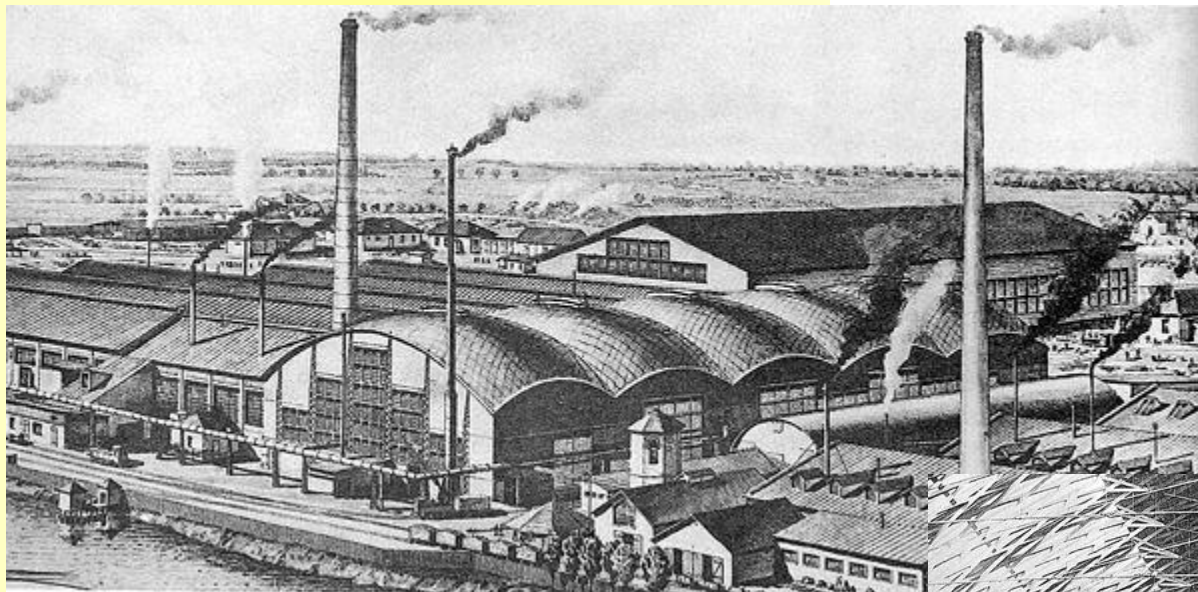
Арочный мост



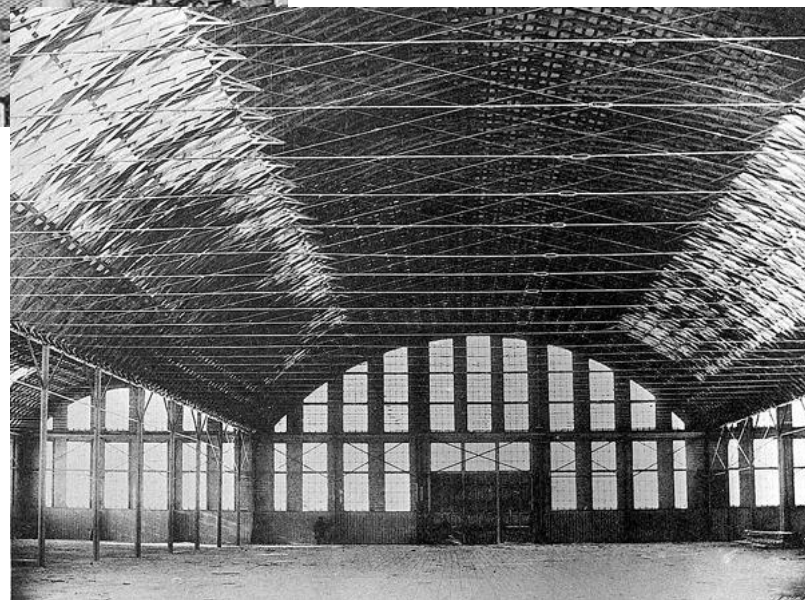
Висячий мост



Проекты В.Г. Шухова (1853-1939)

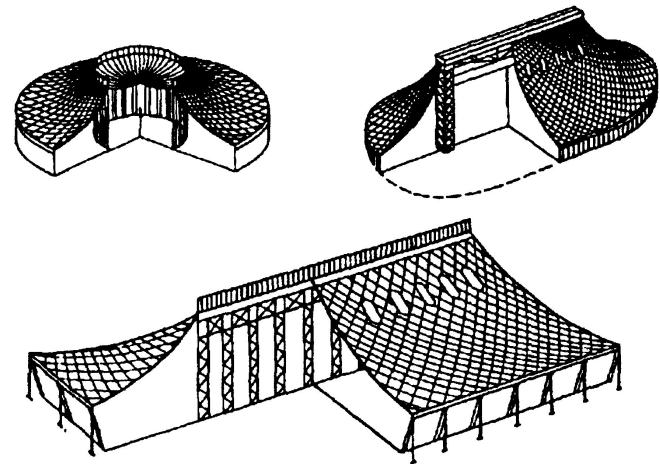
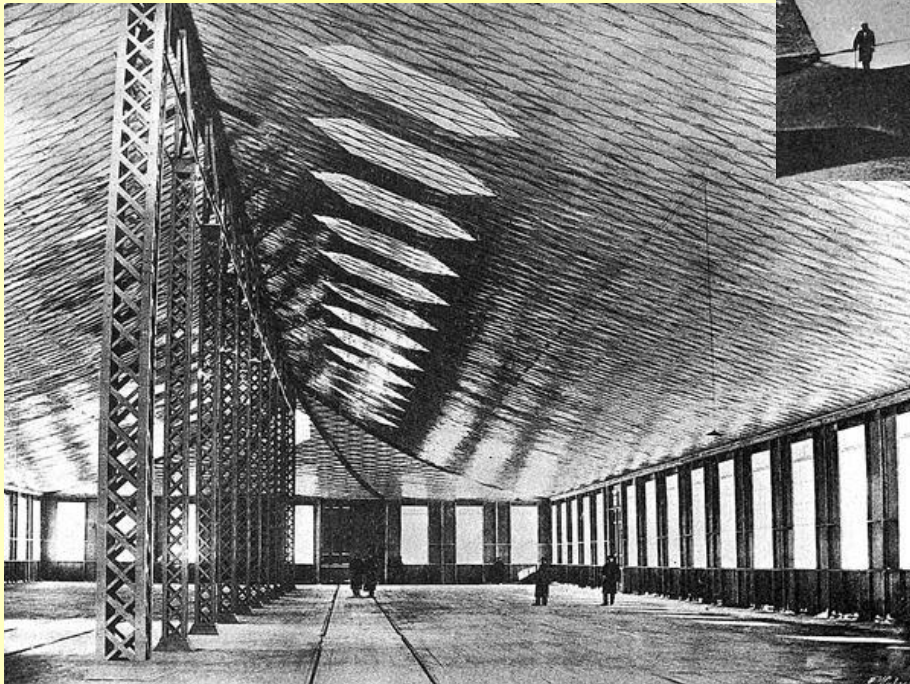


Покрытие завода в г. Выкса – первая пространственная конструкция (сетчатая оболочка)



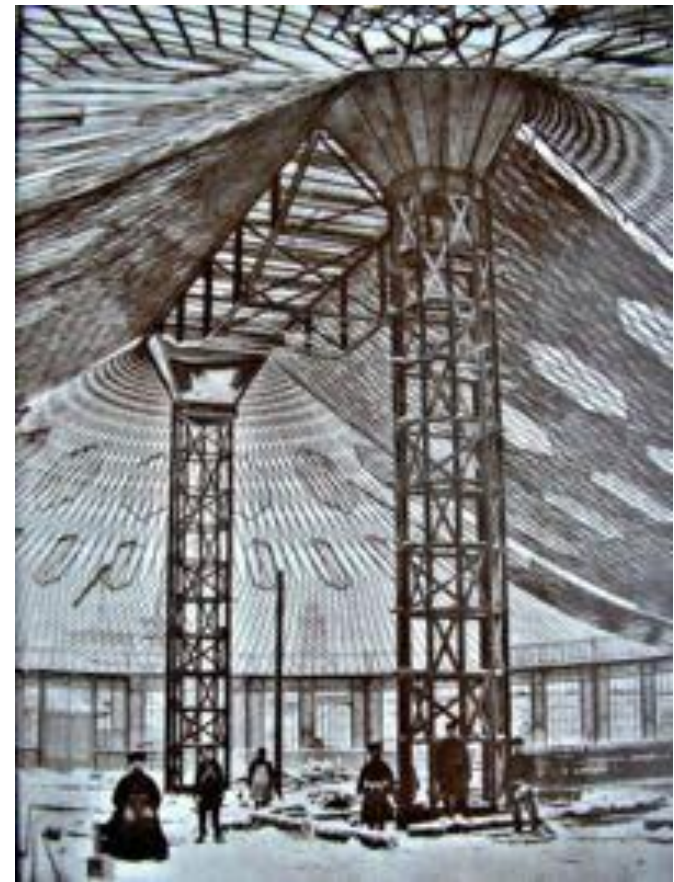
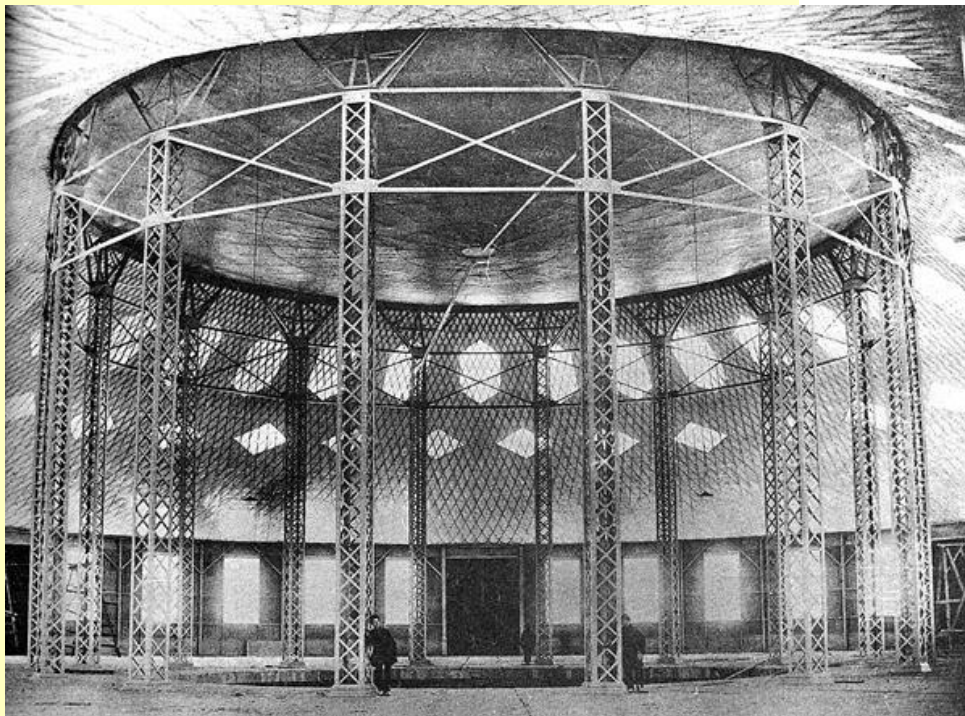
Проекты В.Г. Шухова (1853-1939)

Первые висячие сетчатые покрытия были представлены на Всероссийской промышленной выставке (Нижний Новгород, 1896 г.)



Проекты В.Г. Шухова (1853-1939)

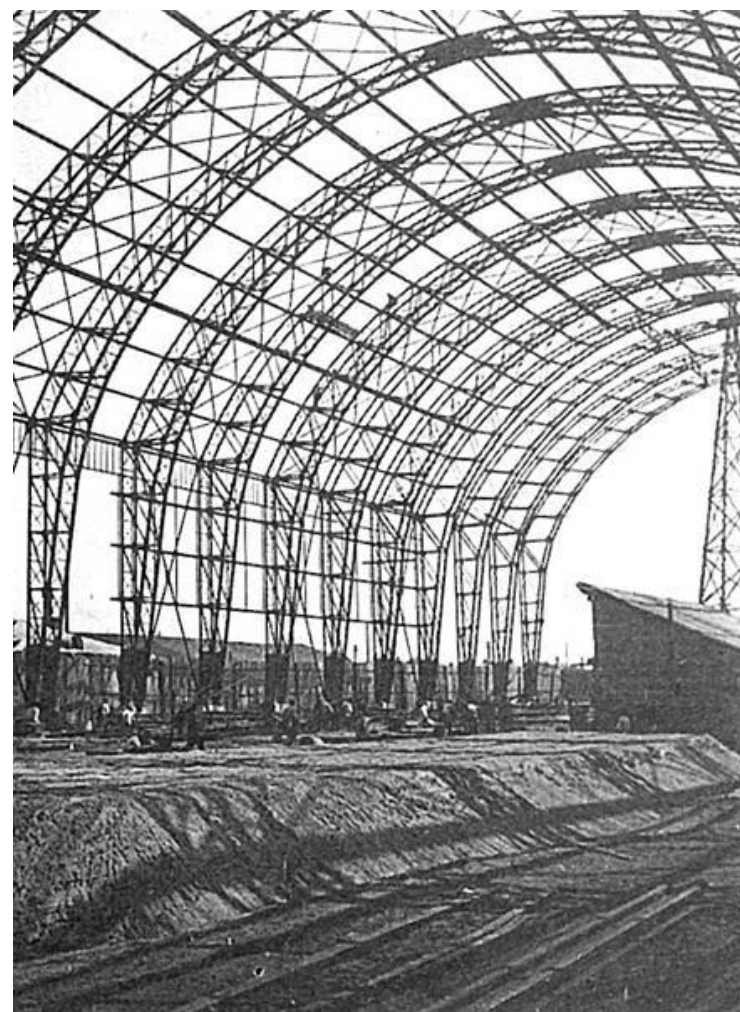
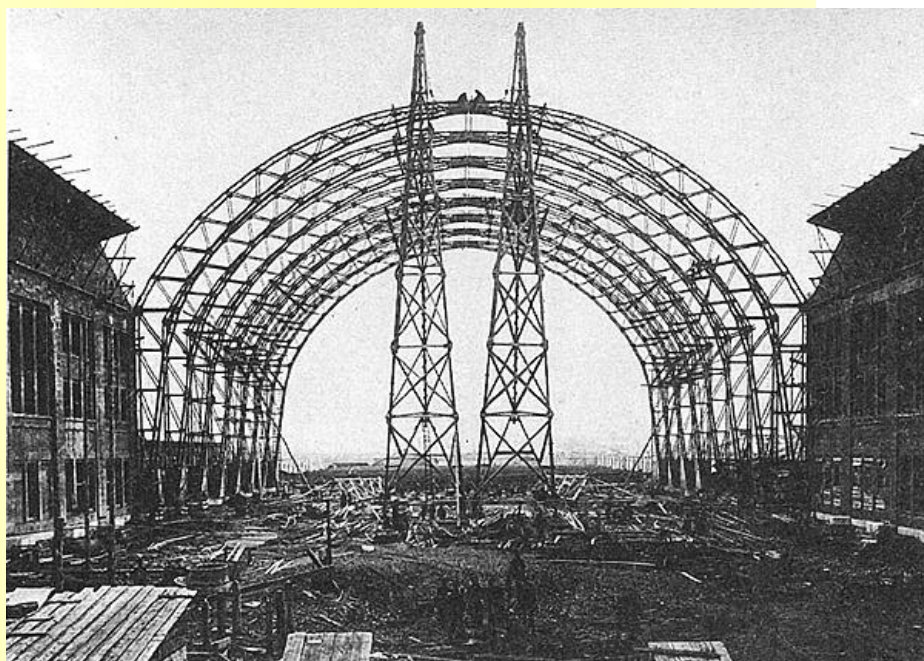
Висячие сетчатые покрытия на
Нижегородской выставке (1896 г.)



Проекты В.Г. Шухова (1853-1939)

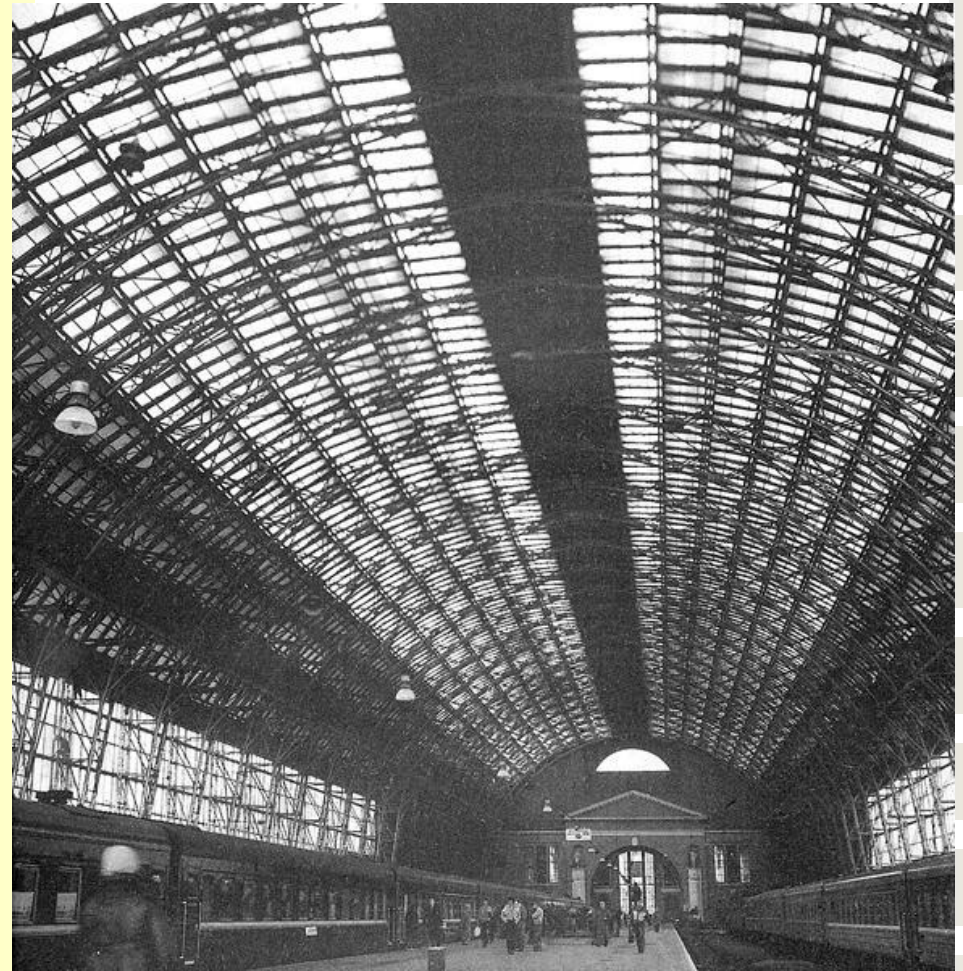
В 1914 г. по проекту В.Г. Шухова была построена рамно-арочная конструкция дебаркадера Киевского вокзала в Москве.

В.Г. Шухов также спроектировал арочные покрытия ГУМа, Петровского пассажа, гостиницы «Метрополь».



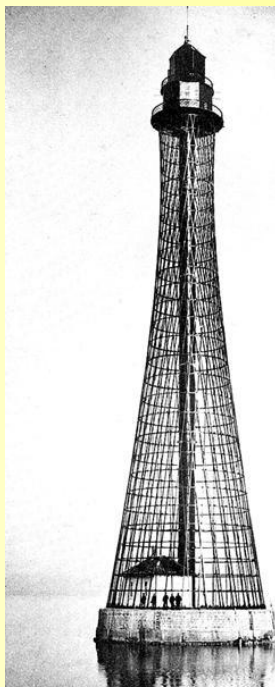
Проекты В.Г. Шухова (1853-1939)

Рамно-арочная конструкция дебаркадера
Киевского вокзала в Москве (1914 г.)

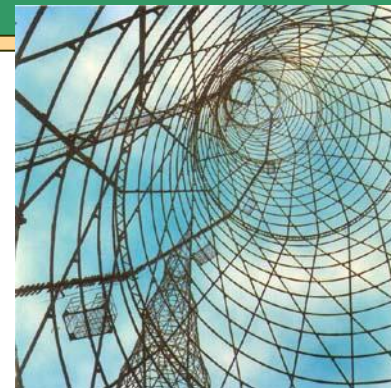


Проекты В.Г. Шухова (1853-1939)

Плавучие маяки



Сетчатые гиперболоидные башни различного назначения



Шаболовская башня в Москве (1922 г.)



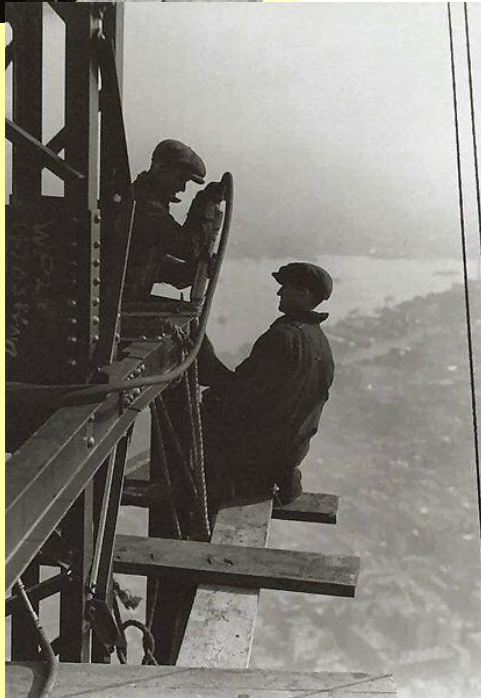
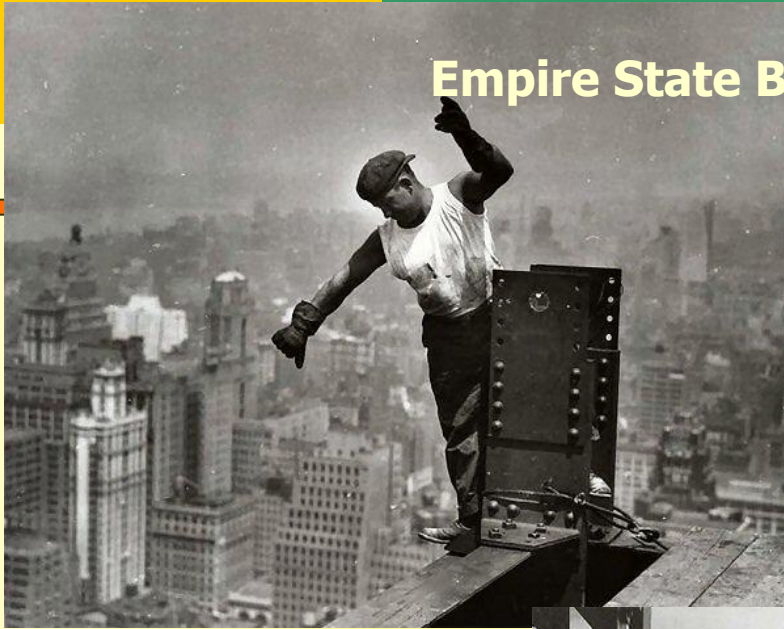
Empire State Building (New York, 1931)

В США было развёрнуто высотное строительство. Первое многоэтажное здание (8 этажей) со стальным каркасом было построено в 1891 г. в Чикаго.

А уже в 1931 г. в центре Нью-Йорка за 15 месяцев был построен «Эмпайр Стейт» высотой 312 м с причальной башней для дирижаблей высотой 62 м.



Empire State Building (New York, 1931)



Empire State Building (New York, 1931)



Идёт
строительство
«Эмпайр Стейт» -
«восьмого чуда
света»



**Висячий мост «Золотые ворота»
(Сан-Франциско, 1937),
средний пролёт 1237 м**



«Golgen Gate»

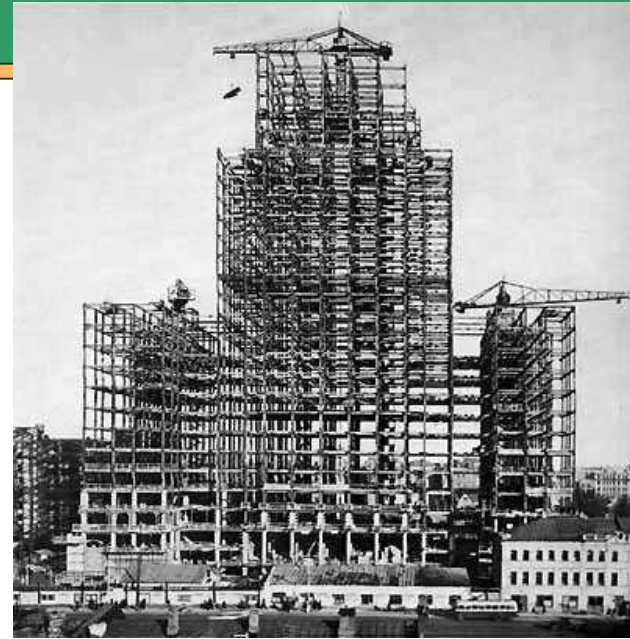
www.toddadams.net

Развитие металлоконструкций в сер. 20 в.

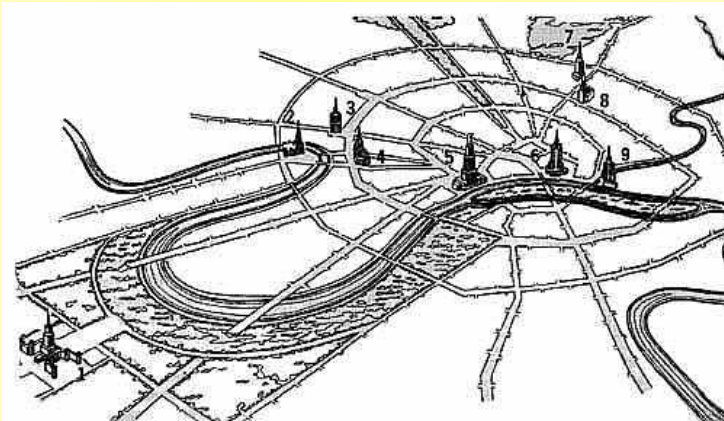
В 40-х годах 20-го века заклёпочные соединения почти полностью заменяются сварными – более лёгкими, технологичными и экономичными.

Дальнейшее развитие металлоконструкций связано с увеличением пролётов и этажности сооружений, возрастанием нагрузок на них.

Внедряются стали повышенной прочности, разрабатываются облегчённые металлические конструкции, совершенствуются методики расчёта и конструирования.



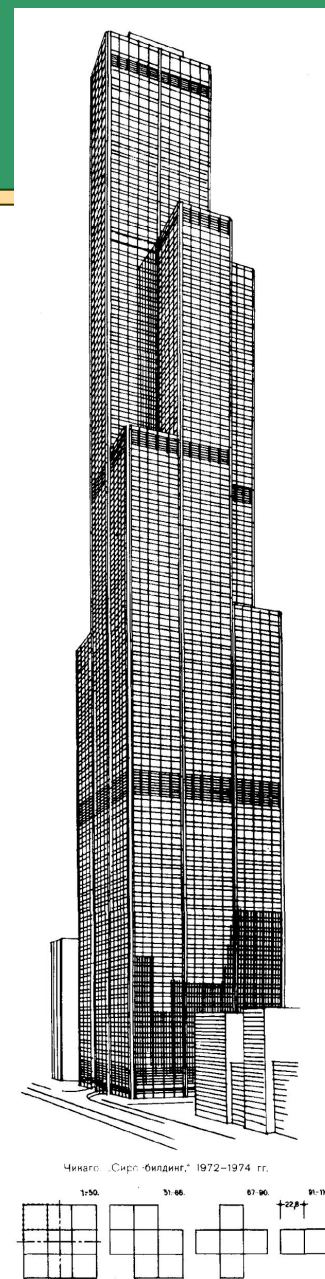
Московские «высотки» - начало 50-х годов



Высотное строительство из металлоконструкций



Чикаго, «Сирс-билдинг»
(1972-1974 г.) 109 этажей,
высота 445 м.



Современное высотное строительство



**Taipei 101 (Тайбэй),
Тайвань (2003 г.) 101 этаж,
высота 509 м.**



**Petronas Twin Towers
(Петронас) Малайзия
(1988 г.) 88 этажей,
высота 452 м**

Тестовые вопросы (3-4)

Проекты, разработанные В.Г. Шуховым

Выберите правильные ответы

- Купол Исаакиевского собора в Петербурге
- Перекрытие Зимнего дворца в Петербурге
- Покрытие ГУМа
- Дебаркадер Киевского вокзала в Москве
- Шаболовская башня
- Останкинская телевизионная башня

Основные способы промышленного производства стали разработаны

Выберите правильный ответ

- Во второй половине 17 века
- Во второй половине 18 века
- Во второй половине 19 века
- В первой половине 20 века

Блок 2

СОСТАВ И СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

- Химический состав и технология производства стали
- Оценка свойств стали
- Диаграмма деформирования стали
- Нормативные и расчётные сопротивления стали
- Маркировка стали
- Выбор марки стали
- Сортамент

Свойства стали, существенно важные для строительной стали



Химический состав стали

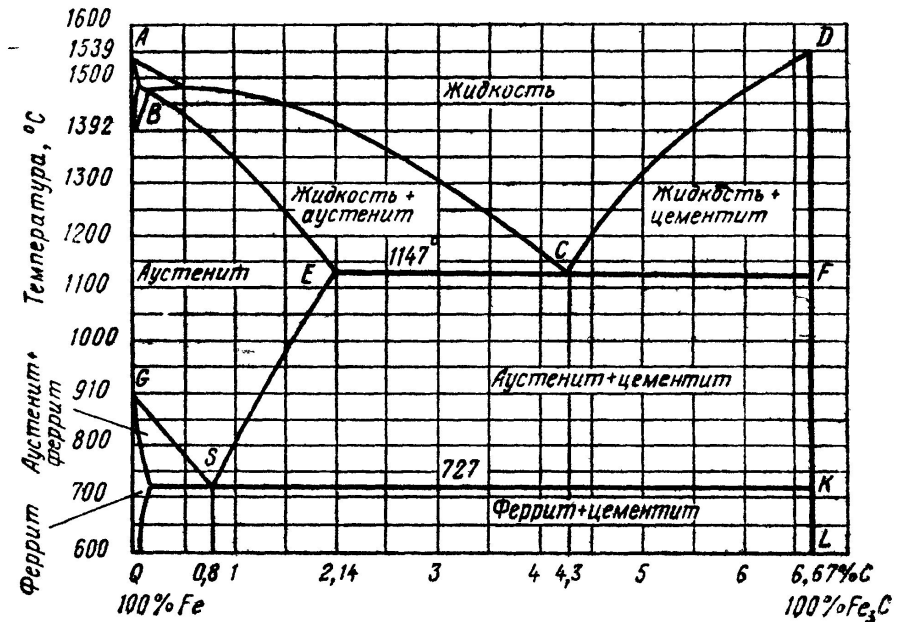
Сталь – это сплав железа с углеродом и некоторыми добавками.

Железо обеспечивает высокую пластичность, а углерод (при содержании до 1%) – прочность.

Однако углерод снижает пластичность и ухудшает свариваемость, поэтому его содержание в строительных сталях составляет **не более 0,22%**.

Присутствие в стали **нормальных примесей** (кремний, марганец, фосфор, сера, кислород) вызвано условиями её получения.

Диаграмма состояния сплавов «железо-углерод»



Содержание углерода	Наименование
не более 0,22%	строительные стали
не более 0,65%	конструкционные стали
0,65...1,5 %	инструментальные стали
2,14...6,67 % (обычно 2,8...4 %)	чугуны

Вредные примеси и получение стали

Вредные примеси – фосфор, сера, атмосферные газы (кислород, водород, азот).

Они ухудшают свариваемость, снижают пластичность стали и её стойкость к хрупкому разрушению.

Фосфор повышает хрупкость стали при пониженных температурах (**хладноломкость**).

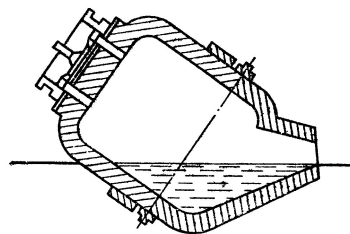
Сера способствует образованию трещин при температуре 800...1000° С (**красноломкость**).

Содержание вредных примесей в стали ограничивается. Кроме того, при сварке металл необходимо защищать от воздействия атмосферы.

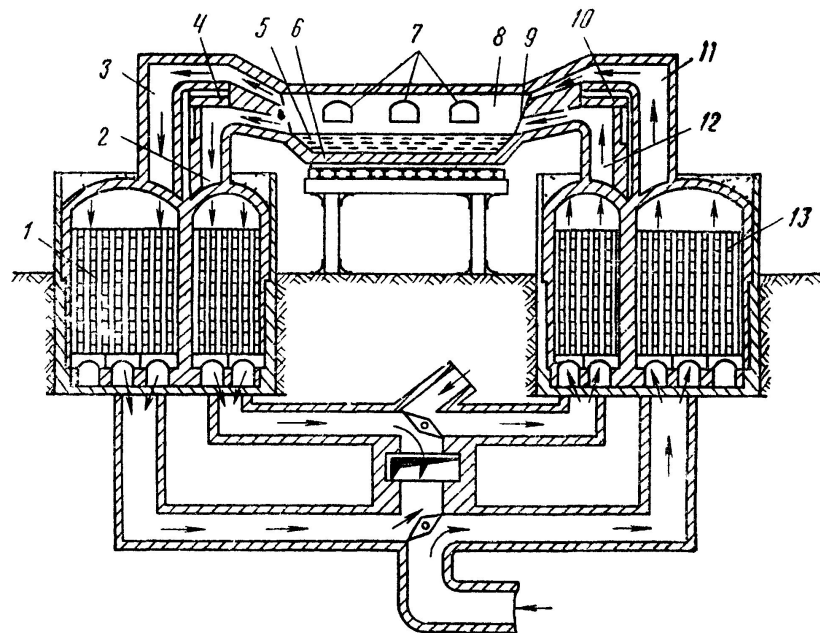
Сталь получают в конвертерах с продувкой кислородом, в мартенах или электропечах.

Исходным сырьём является **чугун**, который отличается от стали более высоким содержанием углерода, кремния, марганца, серы, фосфора.

Не исключено использование в качестве сырья металлолома (скрапа).



Конвертер в наклонном положении в момент заливки чугуна



Мартеновская печь

Классификация стали по степени раскисления

После плавки сталь разливают ковшами в **изложницы**, где происходит остывание и кристаллизация металла. В процессе кристаллизации выделяется большое количество газов – сталь «кипит», это ухудшает её качество.

Полученную сталь называют **кипящей**, она пригодна лишь для неответственных конструкций.

Спокойное остывание достигается использованием раскислителей (**кремния, марганца, алюминия**), которые связывают газы, образуя шлак.

Шлак концентрируется в верхней части слитка; её впоследствии срезают и отправляют в переплавку.

Получаемая сталь называется **спокойной**, она на 10-12% дороже кипящей и применяется в ответственных конструкциях.

При неполном раскислении (меньшем количестве раскислителя) получается **полуспокойная** сталь. По цене и качеству она занимает промежуточное положение между кипящей и спокойной.



Разливка стали

Способы повышения прочности стали

Для повышения прочности стали применяется термическая обработка и легирование.

Основные виды **термической обработки** – закалка, нормализация, отпуск и отжиг. Они отличаются температурой нагрева и условиями охлаждения.

Легирование стали заключается в добавлении специальных легирующих элементов, повышающих её прочность и пластичность. Некоторые добавки связывают вредные примеси, превращая их в полезные.

Однако легирующие добавки ухудшают свариваемость стали.

Поэтому в строительстве применяют **низколегированные стали**, в которых суммарное содержание легирующих добавок составляет **не более 5%**.

Сталь	Раскислитель (кремний), %	Срезаемая часть слитка, %
кипящая (кп)	-	5
полуспокойная (пс)	0,05...0,15	8
спокойная (сп)	0,12...0,80	15



Изложницы

Легирующие добавки

Строительные стали легируют преимущественно **хромом**.

В отдельных случаях применяется **никель**.

Добавки-раскислители (**кремний, марганец**) одновременно являются и легирующими.

Ванадий и молибден предотвращают разупрочнение термообработанной стали при сварке.

Медь повышает стойкость стали к атмосферной коррозии.

Нержавеющая сталь (высоколегированная)	Содержание, %
Углерод	0,1...0,2
Хром	17...20
Никель	8...11



Химический состав строительной стали

Основной состав		Вредные примеси		Добавки-раскислители		Легирующие добавки	
железо	-	сера	не более 0,03...0,05 %	кремний	до 0,8 %	хром	0,3...0,4 %
		фосфор		марганец		до 1,7 %	
углерод	не более 0,22 %	кислород, водород, азот	не более 0,015...0,025%	алюминий	до 0,1 %	молибден	0,15...0,25 %
				медь		не более 0,7 %	

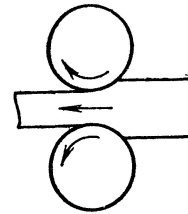
Прокатка стали и её влияние на прочность

Прокатка является одним из видов горячей обработки металлов давлением (ОМД) и производится на прокатных станах.

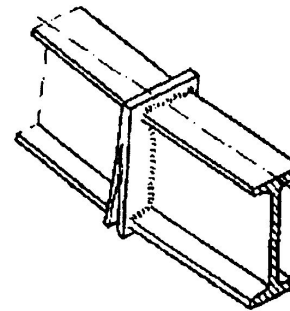
Разогретые слитки многократно пропускаются между двумя валками, вращающимися навстречу друг другу, при этом металл пластически деформируется и приобретает заданную форму (лист, рельс, двутавр и т.д.).

Чем толще прокат, тем меньше степень обжатия и скорость охлаждения, поэтому с **увеличением толщины проката прочностные характеристики снижаются.**

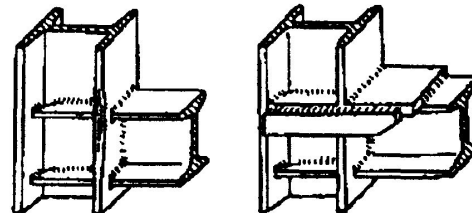
Прочность при растяжении в направлении толщины проката составляет **всего 5 %** от прочности в перпендикулярном направлении (анизотропия свойств).



Прокатка стали



Расслоение поперечной диафрагмы в балке



Расслоение пояса колонны в месте примыкания консоли

Тестовые вопросы (5-6)

Содержание углерода в строительной стали составляет не более

Выберите правильный ответ

- 0,02%
- 0,22%
- 2,00%
- 12%
- 22%
- 52%

Содержание легирующих добавок в низколегированной стали составляет не более

Выберите правильный ответ

- 0,05%
- 0,5%
- 5%
- 15%
- 25%
- 55%

Тестовые вопросы (7-9)

Часть слитка, которую отрезают после разливки в изложницы

Установите соответствие

спокойная сталь
кипящая сталь
полуспокойная сталь

- 5%
- 8%
- 15%

Вредными примесями в стали являются

Выберите правильные ответы

- Кремний
- Марганец
- Фосфор
- Сера
- Медь
- Кислород

Добавками-раскислителями стали являются

Выберите правильные ответы

- Кремний
- Марганец
- Азот
- Медь
- Алюминий
- Кислород

Тестовые вопросы (10-11)

Легирующими добавками в стали являются

Выберите правильные ответы

- Кремний
- Марганец
- Фосфор
- Хром
- Молибден
- Сера
- Ванадий

Дайте оценку следующим суждениям:

- (А) **С увеличением толщины проката прочность стали снижается.**
- (Б) **Прочность стали поперёк проката намного меньше, чем вдоль проката.**

- Верно только (А)
- Верно только (Б)
- Верно и (А) и (Б)
- Оба суждения неверны

Оценка свойств стали

Для оценки **механических** свойств стали проводятся испытания:

- на одноосное растяжение;
- на ударную вязкость;
- на выносливость.

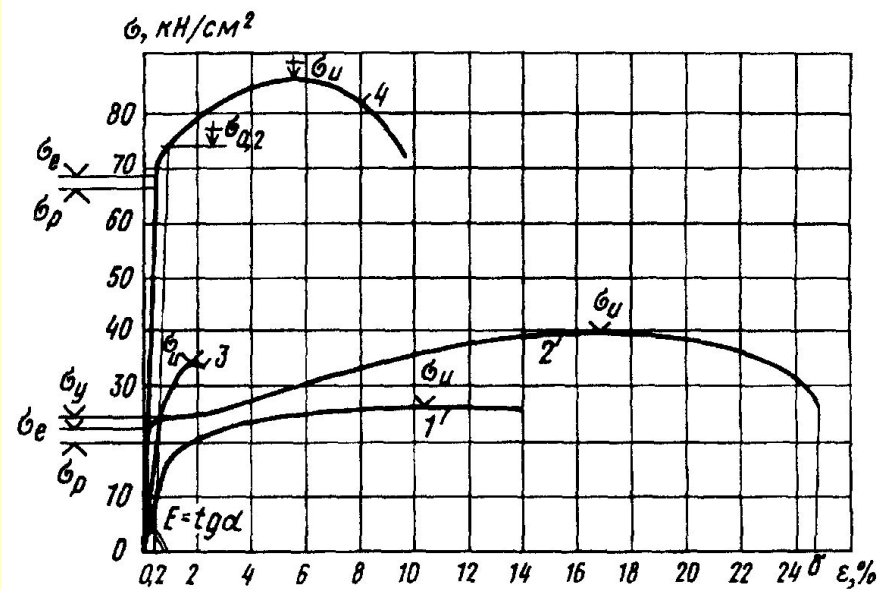
Свариваемость стали оценивают по углеродному эквиваленту:

$$C_{\Sigma} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{13} + \frac{V}{14} + \frac{P}{2}, \%$$

где C, Mn, Si, Cr, Ni, Cu, V, P – массовая доля углерода, марганца, кремния, хрома, никеля, меди, ванадия и фосфора, %.

Если $C_{\Sigma} \leq 0,4$, то сварка стали не вызывает затруднений.

Прочность металла при статическом нагружении, а также его упругие и пластические свойства определяются испытаниями стандартных образцов на растяжение с записью диаграммы «напряжения-деформации» σ - ϵ .



- 1 – алюминиевый сплав
- 2 – малоуглеродистая сталь
- 3 – чугун
- 4 – низколегированная термоупрочнённая сталь

Прочностные характеристики стали

Прочность – это способность материала не разрушаться при возникновении в нём напряжений от внешних воздействий.

Прочностные характеристики стали:

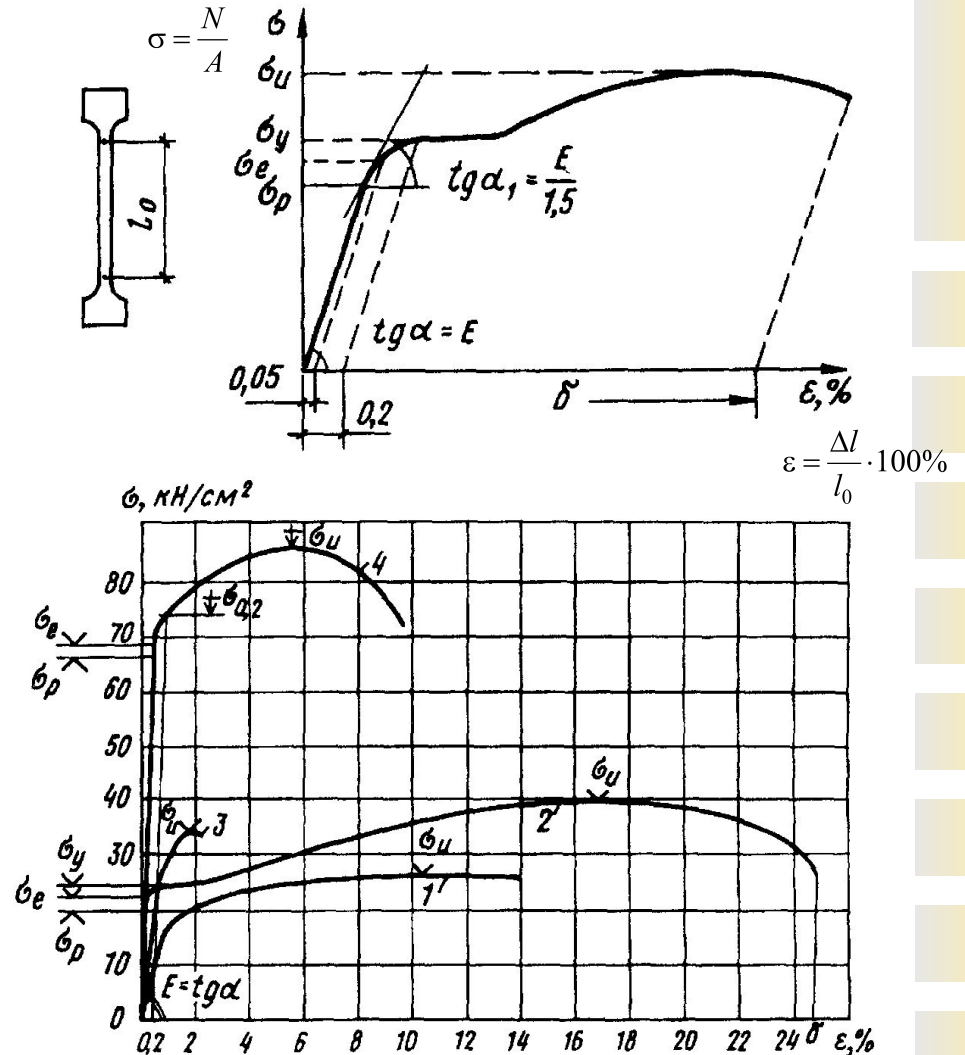
Физический предел текучести σ_y – это напряжение, при котором происходит рост пластических деформаций без увеличения внешней нагрузки.

$y = yield$ (текучесть)

Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ – это напряжение, при достижении которого и последующей разгрузке остаточные деформации составляют 0,2%.

Временное сопротивление σ_u – это напряжение, которое соответствует наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца.

$u = ultimate$ (предельный)



Характеристики упругости и пластичности

Упругость – это способность материала восстанавливать свою первоначальную форму после снятия внешней нагрузки.

Упругие характеристики стали:

Модуль упругости E – это тангенс угла наклона касательной к кривой деформирования в начале координат.

Предел упругости σ_e – это наибольшее напряжение, при котором деформации исчезают после снятия нагрузки.

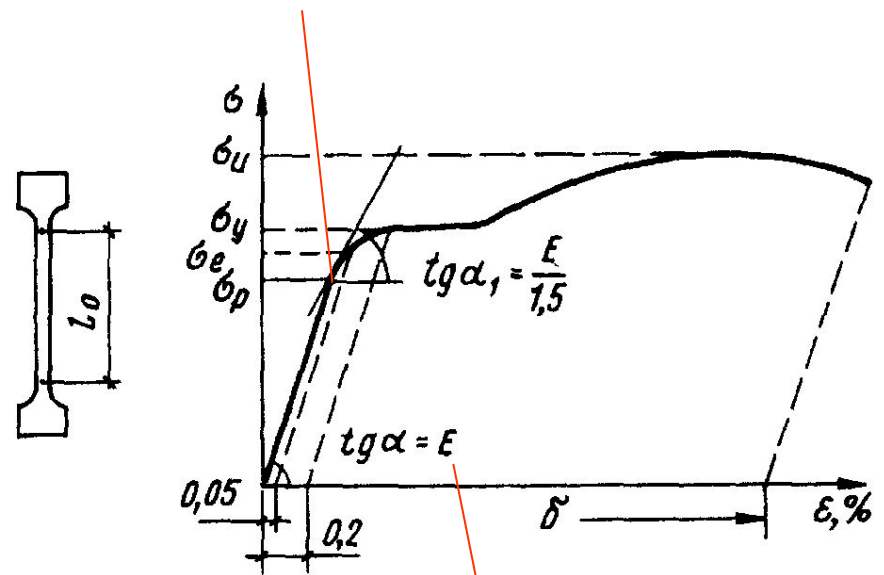
$e = elastic$ (упругость)

Пластичность – это способность материала получать необратимые (остаточные) деформации после снятия внешней нагрузки.

Пластичность характеризуется относительным остаточным удлинением при разрыве δ .

$p = plastic$ (пластичность)

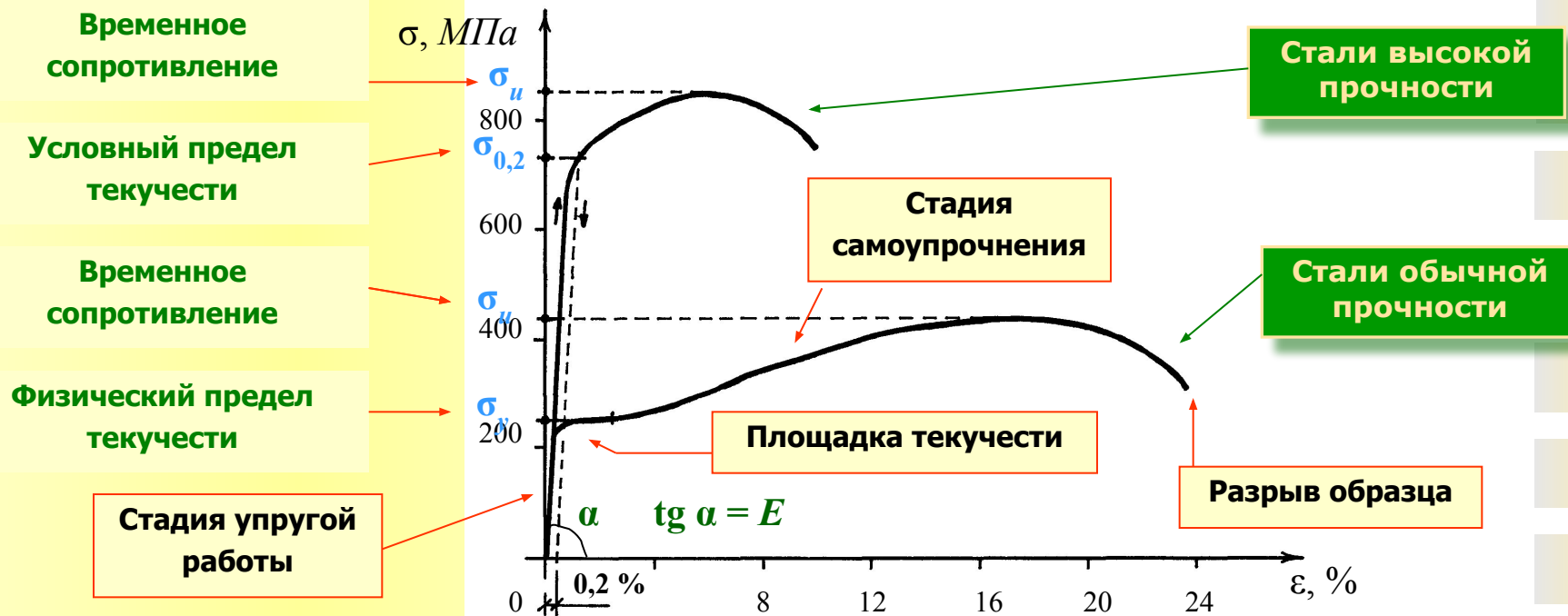
Предел пропорциональности σ_p находится чуть ниже предела упругости



Модуль упругости принимается постоянным для всех марок стали:

$$E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Диаграмма деформирования стали



Испытание образцов на ударную вязкость

Испытания на ударную вязкость

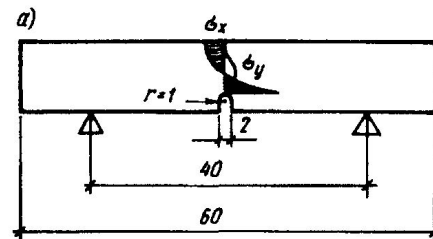
проводятся на специальных маятниковых копрах. Под ударом молота образец разрушается.

Ударная вязкость КС (Дж/см²) определяется отношением работы, затраченной на разрушение образца, к площади его поперечного сечения.

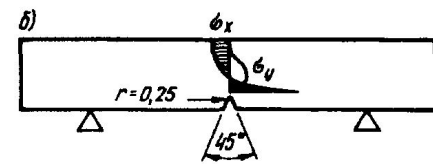
Для ужесточения условий испытаний

- а в образцах делают надрез, возникает концентрация напряжений;
- а понижают температуру среды (-40°C; -70°C);
- а образцы подвергают искусственному старению (создают остаточное удлинение 10% и нагревают в печи до 250 °C).

Образец с U-образным надрезом (образец Менаже)



Образец с V-образным надрезом (образец Шарпи)



Образец с трещиной

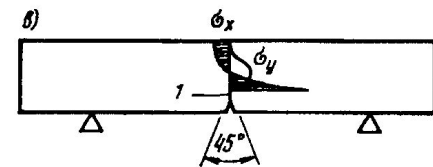
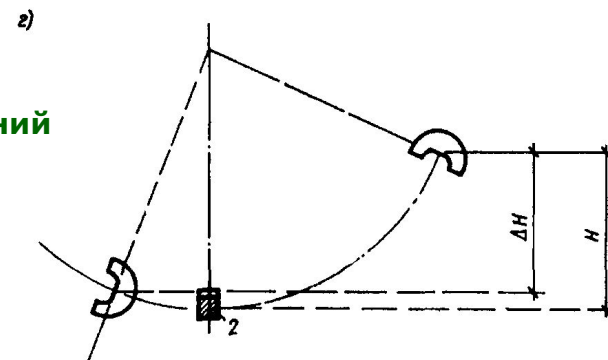


Схема испытаний



Испытание образцов на ударную вязкость

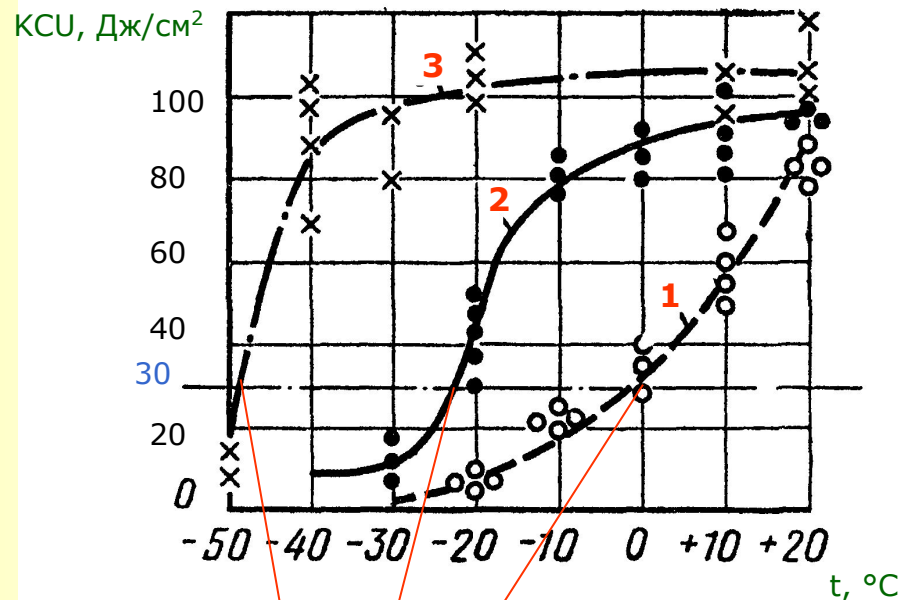
Ударная вязкость является комплексным показателем, характеризующим

- а Состояние стали (хрупкое или вязкое);
- а Чувствительность стали к концентрации напряжений;
- а Сопротивление стали динамическим воздействиям;
- а Склонность стали к хрупкому разрушению при пониженных температурах;
- а Склонность стали к старению.

Хрупкость – это свойство материала внезапно разрушаться без остаточных деформаций.

К хрупкому разрушению при пониженной температуре наиболее склонны **кипящие стали**.

Зависимость ударной вязкости от температуры



- 1 – сталь C235
- 2 – сталь C255
- 3 – сталь C375

порог хладноломкости

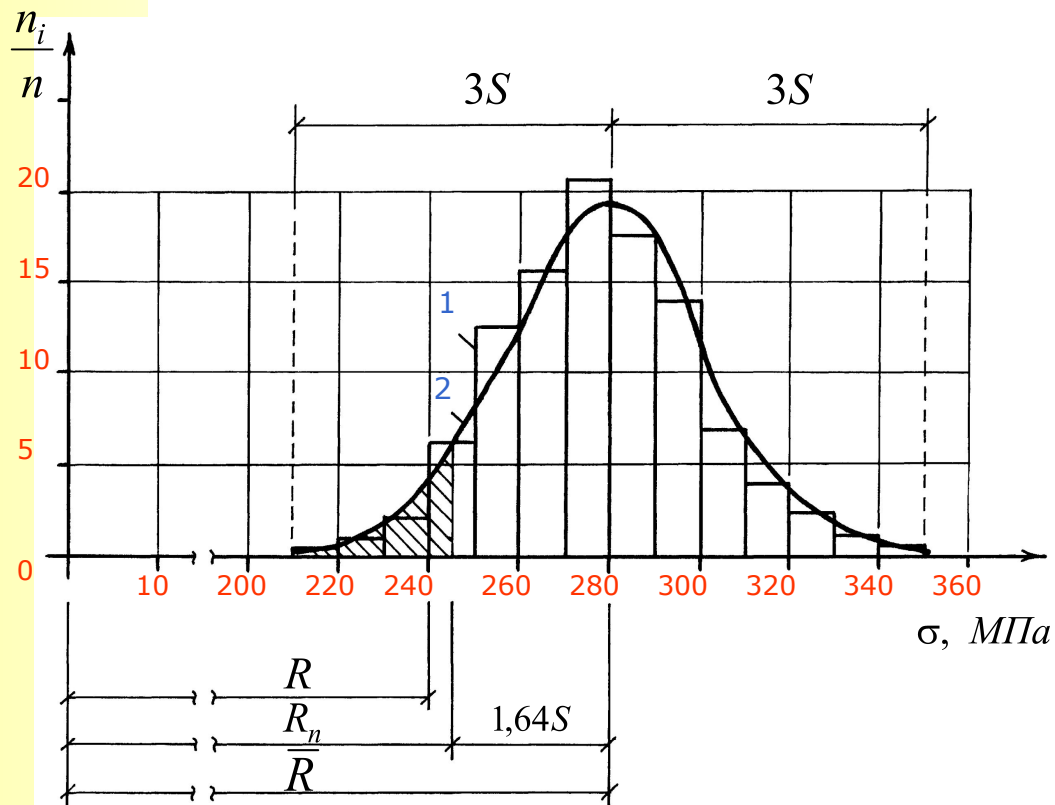
Нормирование прочностных характеристик стали

Прочность стали, как и любого материала, находится под влиянием большого числа факторов и не остаётся постоянной даже в пределах одной партии образцов.

Изменчивость механических характеристик материалов учитывается методами математической статистики на основе большого числа испытаний (свыше 1000).

По результатам испытаний строят **гистограмму (1)**, которую затем аппроксимируют одной из **теоретических кривых плотности распределения (2)**.

Для прочностных характеристик материала наиболее подходящей является кривая Гаусса (**нормальный закон распределения**).



Нормативное сопротивление материала

$$f(\sigma) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\sigma - \bar{R})^2}{2S^2}\right];$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i}{n};$$

$$S = \sqrt{\frac{(\sigma_i - \bar{R})^2}{n-1}} \quad \text{при } n < 30;$$

$$S = \sqrt{\frac{(\sigma_i - \bar{R})^2}{n}} \quad \text{при } n > 30;$$

$$R_n = \bar{R} \cdot (1 - \gamma V); \quad V = S / \bar{R}$$

$f(\sigma)$ – плотность распределения;

σ – рассматриваемая характеристика (например, предел текучести σ_y);

\bar{R} – математическое ожидание (среднее значение);

S – стандарт распределения (среднеквадратичное отклонение от математического ожидания);

n – число испытаний.

Нормативное сопротивление материала R_n – это значение его прочностной характеристики, принятое с обеспеченностью $p = 0,95$ на основании статистической обработки результатов стандартных испытаний образцов.

γ – показатель надёжности, гарантирующий заданную обеспеченность (табличное значение);

V – коэффициент вариации; характеризует качество технологии.

Расчётное сопротивление материала

Обеспеченность (доверительная вероятность) нормативного сопротивления **0,95** означает, что из 100 образцов 95 будут иметь прочность не ниже нормативного значения.

Нормативное сопротивление указывается в ГОСТ и контролируется на производстве.

При выполнении расчётов пользуются **расчётным сопротивлением**:

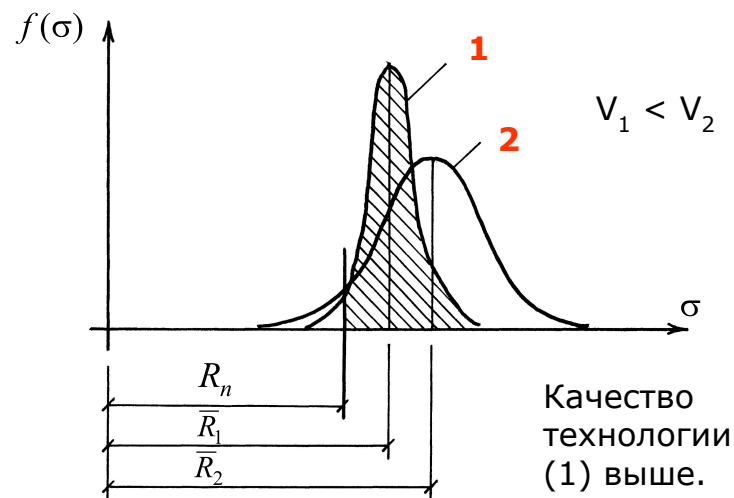
$$R = R_n / \gamma_m$$

γ_m – коэффициент надёжности по материалу ($\gamma_m > 1$); учитывает

- а неблагоприятные отклонения сопротивления материала от его нормативного значения вследствие неоднородности свойств;
- а установленные допуски на размеры сечений проката.

Обеспеченность p	Гауссовский показатель надёжности γ
0,95	1,64
0,9973	3

Материал	Коэффициент вариации V	Коэффициент надёжности по материалу γ_m
Сталь	0,075...0,105	1,025...1,15
Бетон	0,135	1,15...1,50



Нормативные и расчётные сопротивления стали

Условные обозначения

	Нормативное сопротивление	Расчётное сопротивление
по пределу текучести (σ_y)	R_{yn}	R_y
по временному сопротивлению (σ_u)	R_{un}	R_u

Нормативные и расчётные сопротивления проката, МПа

Марка стали	толщина проката, мм	нормативные				расчётные			
		листового, широкополочного, универсального		фасонного		листового, широкополочного, универсального		фасонного	
		R_{yn}	R_{un}	R_{yn}	R_{un}	R_y	R_u	R_y	R_u
С 245	от 2 до 20	245	370	245	370	240	360	240	360
	св. 20 до 30	-	-	235	370	-	-	230	360
С 345	от 2 до 10	345	490	345	490	335	480	335	480
	св. 10 до 20	325	470	325	470	315	460	315	460
	св. 20 до 40	305	460	305	460	300	450	300	450
С 375	от 2 до 10	375	510	375	510	365	500	365	500
	св. 10 до 20	355	490	355	490	345	480	345	480
	св. 20 до 40	335	480	335	480	325	470	325	470

Маркировка стали по ГОСТ 27772-88

C 245

Сталь строительная

$R_{уп}$ для наименьшей толщины
(с округлением до 5 МПа).

**ГОСТ 27772-88 «Прокат для
строительных конструкций. Общие
технические условия»**

C 345Д

Сталь повышенной
коррозионной стойкости
(с добавкой меди)

C 345К

Вариант хим. состава

Маркировка стали по другим стандартам

Группа поставки

А – по механическим свойствам

Б – по химическому составу

В – по механическим свойствам и химическому составу

Вст3псб

Категория стали (1...6), указывает вид испытаний на ударную вязкость

Сталь «3»

Степень раскисления

сп – спокойная

пс – полуспокойная

кп – кипящая

Вст3Гпсб

Сталь с повышенным содержанием марганца

ГОСТ 380-88 «Сталь углеродистая обыкновенного качества»

ГОСТ 19281-73 «Сталь низколегированная сортовая и фасонная»

Стали, поставляемые по разным стандартам, взаимозаменяемы

содержание углерода 0,09%

09Г2С

кремний до 1%

марганец до 2%

Классификация сталей по прочности

Группа стали	Марки стали по ГОСТ 27772-88	Протяженность площадки текучести, %	σ_y / σ_u	δ , %
Стали обычной прочности малоуглеродистые	C235; C245; C255; C275; C285	2,5	0,6...0,7	21
Стали повышенной прочности низколегированные	C345; C375	1...1,5	0,7...0,8	17
Стали высокой прочности низколегированные с термическим упрочнением	C390; C440; C590	отс.	0,8...0,9	12

Выбор марки стали для конструкции

В зависимости от условий работы стальные конструкции разделяются на 4 группы, для которых установлены применяемые марки стали (табл. 50*СНиП II-23-81*).

Можно ли в одной конструкции применять разные марки стали. Да, это экономически целесообразно. Для более нагруженных элементов применяется более прочная сталь.

Группа конструкций	Характеристика работы сварных* конструкций	Примеры конструкций	Марка стали (при t до -40°C)
1	Работающие в особо тяжёлых условиях или подвергающиеся воздействию динамических, вибрационных или подвижных нагрузок	<ul style="list-style-type: none">• подкрановые балки• фасонки ферм	все, кроме C235; C245; C275; C345K; C590
2	Работающие преимущественно на растяжение и изгиб при статической нагрузке	<ul style="list-style-type: none">• фермы• балки перекрытий и покрытий	все, кроме C235
3	Работающие преимущественно на сжатие при статической нагрузке	<ul style="list-style-type: none">• колонны• опорные плиты	все
4	Вспомогательные конструкции	<ul style="list-style-type: none">• лестницы• элементы фахверка	только C235

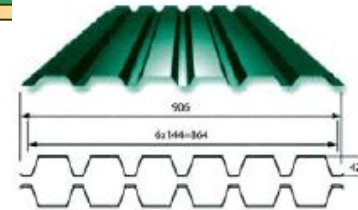
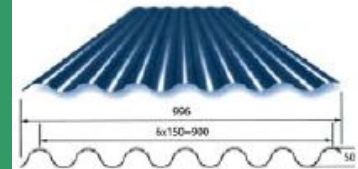
* При отсутствии сварных соединений группа понижается на одну ступень.

Выбор марки стали для конструкции

Сталь	Расчётная температура в районе строительства и группа конструкций												
	до - 40 °С				до - 50 °С				до - 65 °С				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
C235			+	+									
C245		+	+					+					+
C255	+	+	+				+	+					+
C275		+	+					+					+
C285	+	+	+				+	+					+
C345	+	+	+		+	+	+		+	+	+		
C345K		+	+				+						
C375	+	+	+		+	+	+		+	+	+		
C390	+	+	+		+	+	+		+	+	+		
C440	+	+	+		+	+	+		+	+	+		
C590		+	+										
C590K						+	+			+	+		

Примечания см. в табл. 50* СНиП II-23-81*

Сортамент стальных профилей



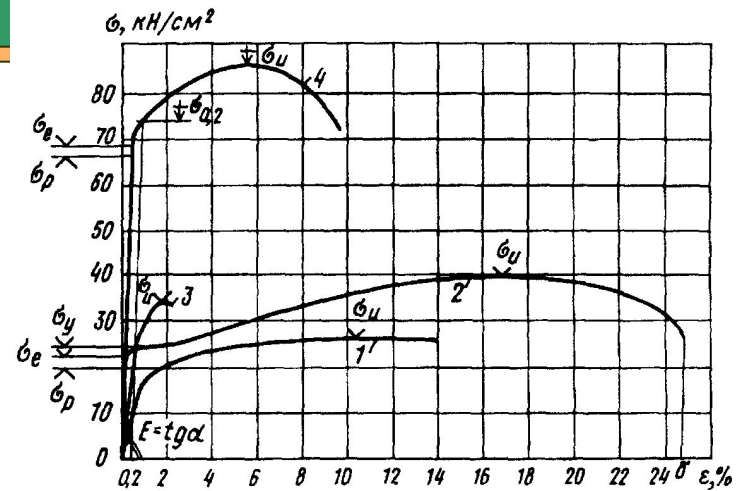
Сортамент – это каталог профилей с указанием формы сечения, геометрических характеристик и массы единицы длины.



Тестовые вопросы (12-13)

Установите соответствие

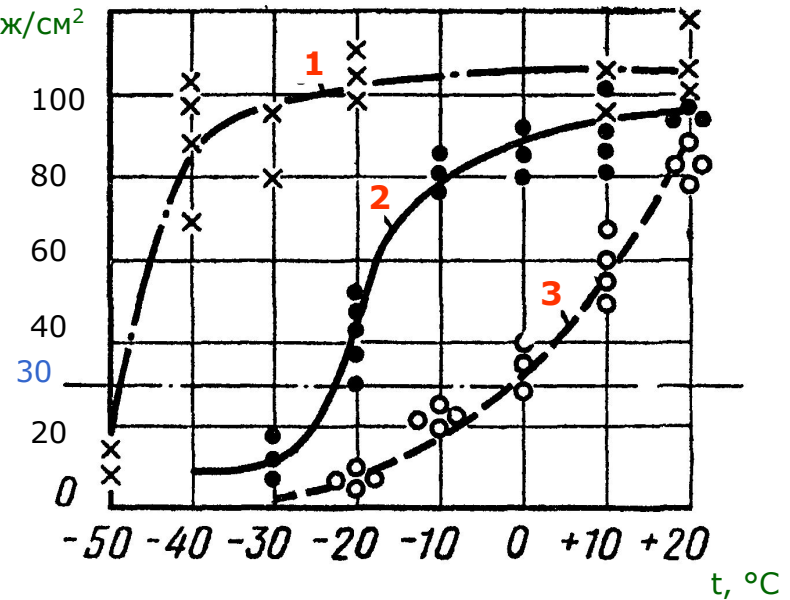
- | | | |
|---|--------------------------|-------------------------|
| 1 | <input type="checkbox"/> | чугун |
| 2 | <input type="checkbox"/> | алюминиевый сплав |
| 3 | <input type="checkbox"/> | малоуглеродистая сталь |
| 4 | <input type="checkbox"/> | низколегированная сталь |



Установите соответствие

- | | | |
|---|--------------------------|------|
| 1 | <input type="checkbox"/> | C235 |
| 2 | <input type="checkbox"/> | C255 |
| 3 | <input type="checkbox"/> | C375 |

КСУ, Дж/см²



Тестовые вопросы (14-15)

Нормативное сопротивление стали имеет обеспеченность

Выберите правильный ответ

- 0,05
- 0,9973
- 0,95
- 1,64
- 3,00

Расчётное сопротивление стали получают

Выберите правильный ответ

- Умножением нормативного сопротивления на коэффициент запаса 0,95
- Умножением нормативного сопротивления на коэффициент надёжности по материалу
- Делением нормативного сопротивления на коэффициент надёжности по материалу
- Делением нормативного сопротивления на коэффициент вариации
- Делением на нормативного сопротивления на показатель надёжности $\gamma = 1,64$

Тестовые вопросы (16-17)

Обеспеченность нормативного сопротивления стали 0,95 означает, что из 100 образцов 95 будут иметь прочность

Выберите правильный ответ

- не выше нормативного значения
- не ниже нормативного значения
- равную нормативному значению
- не выше расчётного значения
- не ниже расчётного значения

Коэффициент надёжности по материалу учитывает

Выберите правильные ответы

- Возможное неблагоприятное отклонение нагрузки от нормативной
- Возможное благоприятное отклонение нагрузки от нормативной
- Возможное отклонение сопротивления стали от нормативного в меньшую сторону
- Возможное отклонение сопротивления стали от нормативного в большую сторону
- Установленные допуски на размеры сечений
- Работу стали на динамические нагрузки
- Нормативное сопротивление стали

Тестовые вопросы (18-19)

В обозначении марки стали С345 число «345» означает

Выберите правильный ответ

- Временное сопротивление стали по пределу текучести
- Нормативное сопротивление стали по пределу текучести
- Расчётное сопротивление стали по пределу текучести
- Расчётное сопротивление стали по временному сопротивлению
- Нормативное сопротивление стали по временному сопротивлению
- Прочность стали

В обозначении марки стали С345Д буква «Д» означает

Выберите правильный ответ

- Двутавравая сталь
- Фасонная сталь
- Коррозионно-стойкая сталь с добавкой меди
- Сталь, хорошо воспринимающая динамические нагрузки
- Сталь высокой прочности
- Кипящая сталь

Тестовые вопросы (20-22)

Установите
соответствие

Расчётное сопротивление стали по пределу текучести
Расчётное сопротивление стали по временному сопротивлению
Нормативное сопротивление стали по пределу текучести
Нормативное сопротивление стали по временному сопротивлению

- R_y
- R_{un}
- R_u
- R_{yn}

**Для фасонок ферм нельзя применять
сталь марки (при t до -40°C)**

Выберите правильные ответы

- C235
- C345
- C245
- C345K
- C255
- C275

**Для балок перекрытий и покрытий
можно применять сталь марки
(при t до -40°C)**

Выберите правильные ответы

- C245
- C375
- C390
- C345
- C235

Блок 3

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ. НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ

- Основные этапы проектирования. Конструктивная и расчётная схемы
- Нормативная база проектирования
- Нагрузки и воздействия. Классификация нагрузок
- Постоянные и временные нагрузки
- Нормативные и расчётные нагрузки. Сочетания нагрузок
- Полезные нагрузки
- Снеговая и ветровая нагрузки

Основные этапы проектирования строительных конструкций. Конструктивная и расчётная схемы

Этапы

(1) Компоновка конструктивной схемы

(2) Формирование расчётной схемы

(3) Сбор нагрузок

(4) Статический расчёт

Определение внутренних усилий (M , Q , N) методами статики (строительной механики)

(5) Конструктивный расчёт

Подбор и проверка сечений

(6) Расчёт и конструирование узлов

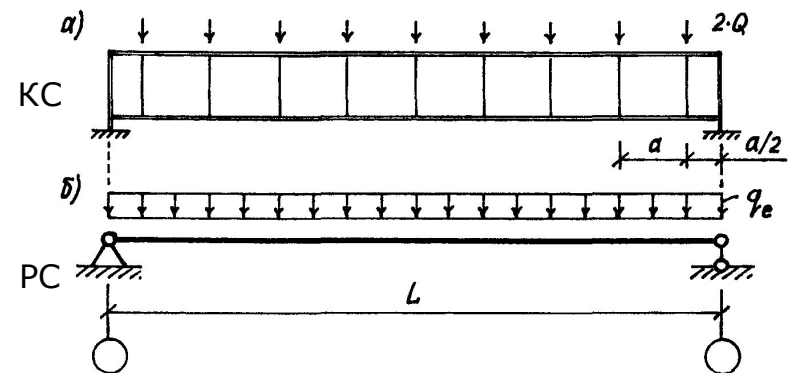
(7) Выполнение рабочих чертежей

Конструктивная схема (КС)

отражает действительные размеры элементов и фактические условия их закрепления

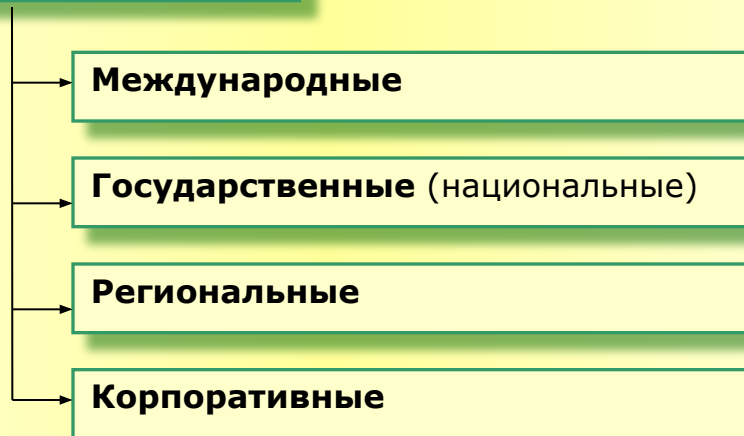
Расчётная схема (РС)

является упрощённой (условной, идеализированной) и с необходимой степенью точности отражает работу элемента под действием нагрузок



Нормативная база строительного проектирования

Нормативные документы



Обязательные для исполнения нормативные документы содержат только общие (как правило, словесные) требования.

Детальные указания по расчёту и конструированию являются рекомендуемыми.

Проектировщик сам выбирает применяемые расчётные модели и несёт полную ответственность за полученные результаты.

Закон 184-ФЗ «О техническом регулировании», принят 27 декабря 2002 г., с изм. от 06.04.2007 г.

Eurocode-1; Eurocode-2

ГОСТ, Технические регламенты, СНиП, СП (Своды Правил)

МГСН – Московские городские строительные нормы

СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия.

СНиП II-23-81*. Стальные конструкции.

СП 53-102-04. Общие правила проектирования стальных конструкций.

МГСН 4.19-05. Многофункциональные высотные здания и комплексы.

Нагрузки и воздействия. Классификация нагрузок

Воздействия

Силовые
(нагрузки)

Несиловые

- **Средовые** (температурное, влажностное, коррозионно-агрессивное и др.);
- **Кинематические** (смещение опор и др.)

Классификация
нагрузок

(1) По длительности действия

(2) По направлению

(3) По характеру распределения

(4) По вероятности реализации

Постоянные

Действуют в течение всего срока службы сооружения

Временные

Действуют в течение определённого времени

Кратковременные

Длительные

Особые

Вертикальные

Горизонтальные

**Равномерно
распределённые**

Сосредоточенные (кН)

по площади (кН/м²)
поверхностные

по длине (кН/м)
линейные, погонные

Нормативные (эксплуатационные)

Расчётные (предельные)

Постоянные, временные и особые нагрузки

Постоянные

- Вес несущих и ограждающих конструкций;
- Вес и давление грунтов;
- Усилия от предварительного напряжения.

Нагрузки и воздействия

Особые

- Сейсмические воздействия;
- Взрывные воздействия;
- Нагрузки, вызванные резким нарушением технологического процесса;
- Запроектные воздействия.

Кратковременные

- Нагрузки от людей и оборудования с **полным** значением;
- Снеговая нагрузка с **полным** значением;
- Ветровая нагрузка;
- Гололёдная нагрузка.

Длительные

- Вес стационарного оборудования;
- Давление газов, жидкостей и сыпучих тел;
- Вес складированных материалов;
- Нагрузки от людей и оборудования с **пониженным** значением;
- Снеговая нагрузка с **пониженным** значением.

Нормативные и расчётные нагрузки

Нормативная, или эксплуатационная, нагрузка q_n – это наибольшая величина нагрузки, позволяющая нормально эксплуатировать здание (сооружение);

Расчётная нагрузка q – это наибольшая величина нагрузки, используемая в расчётах конструкций на прочность и устойчивость:

$$q = q_n \cdot \gamma_f$$

γ_f – коэффициент надёжности по нагрузке (обычно $\gamma_f > 1$); учитывает возможные неблагоприятные отклонения нагрузки от нормативного значения (обычно в сторону увеличения) вследствие её статистической изменчивости.

Наибольшей изменчивостью обладают атмосферные нагрузки (снеговая, ветровая), для них $\gamma_f = 1,4$.

Вид нагрузки		γ_f	Пункт СНИП
Постоянная – от собственного веса конструкций	металлических	1,05	табл. 1
	железобетонных, каменных, деревянных	1,1	
	изоляционных, выравнивающих и отделочных слоёв, выполняемых на строительной площадке	1,3	
Временная	полезная при полном нормативном значении менее 200 кг/м ²	1,3	п. 3.7
	полезная при полном нормативном значении 200 кг/м ² и более	1,2	
	крановая	1,1	п. 4.8
	снеговая	1,4	п. 5.7
	ветровая	1,4	п. 6.11

СНИП 2.01.07-85*

Сочетания нагрузок

На конструкцию действует, как правило, несколько нагрузок, и при расчёте необходимо выявить их наиболее неблагоприятное сочетание.

При учёте одновременного действия более двух нагрузок их расчётные значения умножают на коэффициенты сочетаний $\psi < 1$.

Коэффициент сочетаний ψ учитывает маловероятность одновременного действия максимальных значений нескольких нагрузок.

СНиП 2.01.07-85* предусматривает **основные** и **особые** сочетания нагрузок.

Для некоторых многоэтажных зданий (например, жилых) учитывается маловероятность одновременного действия максимальных значений временных равномерно распределённых нагрузок

- **на всей грузовой площади перекрытия:** при расчёте элементов перекрытий временную нагрузку умножают на понижающий коэффициент ψ_A ;
- **на всех этажах:** при расчёте колонн, стен и фундаментов временную нагрузку умножают на понижающий коэффициент ψ_n .

Указания по определению ψ_A и ψ_n приводятся в п.3.8-3.9 СНиП 2.01.07-85*.

Сочетание	Учитываемые нагрузки	Коэффициенты сочетаний ψ для нагрузок			
		постоянных	длительных	кратковременных	особых
Основное 1	Постоянная + одна временная	1	1	1	-
Основное 2	Постоянная + две и более временных	1	0,95	0,9	-
Особое	Постоянная + временные + одна особая	1	0,95	0,8	1

Определение нагрузок

Нормативные значения нагрузок определяются:

- а для постоянных нагрузок – по проектным данным;
- а для полезных нагрузок – по наибольшим значениям, которые предусмотрены условиями нормальной эксплуатации;
- а для снеговой и ветровой нагрузок – по данным метеонаблюдений.

Сбор нагрузки на перекрытие жилого здания

Состав	Нормативная нагрузка, кг/м ²	Коэффициент надёжности по нагрузке γ_f	Расчётная нагрузка, кг/м ²
Паркетный пол; 600 кг/м ³ ; толщ. 20 мм	$600 \cdot 0,02 = 12$	1,1	$12 \cdot 1,1 = 13,2$
Стяжка из ц/п р-ра; 1800 кг/м ³ ; толщ. 20 мм	$1800 \cdot 0,02 = 36$	1,3	$36 \cdot 1,3 = 46,8$
Ж/б плита; 2500 кг/м ³ ; толщ. 250 мм	$2500 \cdot 0,25 = 625$	1,1	$625 \cdot 1,1 = 687,5$
Итого постоянная нагрузка	673	-	747,5
Временная (полезная) нагрузка	150	1,3	$150 \cdot 1,3 = 195$
Итого полная нагрузка	823	-	942,5

Полезные нагрузки

Полезными принято называть нагрузки, восприятие которых составляет целевое назначение сооружений.

Полезные нагрузки

(по табл. 3 СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия)

Здания и помещения		Нормативные значения нагрузок, кПа (кг/м ²)	
		полное	пониженное
Квартиры жилых зданий		1,5 (150)	0,3 (30)
Помещения административные, учебные		2,0 (200)	0,7 (70)
Залы	читальные	2,0 (200)	0,7 (70)
	обеденные	3,0 (300)	1,0 (100)
	зрительные, концертные, спортивные	4,0 (400)	1,4 (140)
	торговые, выставочные	не менее 4,0 (400)	не менее 1,4 (140)
Книгохранилища, архивы		не менее 5,0 (500)	не менее 5,0 (500)
Автостоянки*		не менее 3,5 (350)	не менее 1,5 (150)

*по МГСН 4.19-05

↑
кратковременная
нагрузка

↑
длительная
нагрузка

Снеговая нагрузка

Расчётная снеговая нагрузка на горизонтальную проекцию покрытия :

$$s = s_g \cdot \mu$$

где

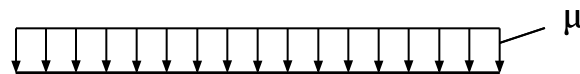
s_g – **расчётное** значение веса снегового покрова; определяется в зависимости от снегового района;

μ – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие;

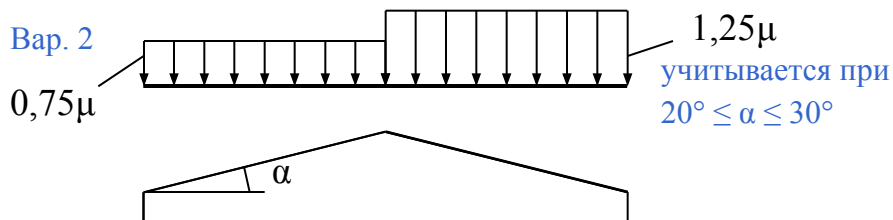
при уклоне кровли $\alpha \leq 25^\circ$ $\mu = 1$;

при уклоне кровли $\alpha \geq 60^\circ$ $\mu = 0$ (снега нет).

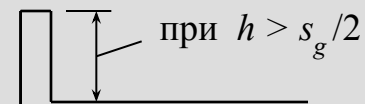
Вар. 1



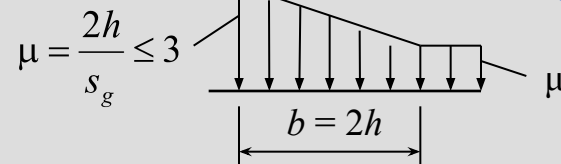
Вар. 2



Учёт снеговых мешков



h – в м; s_g – в кПа



Снеговой район	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
s_g , кПа	0,8	1,2	1,8	2,4	3,2	4,0	4,8	5,6
s_g , кг/м ²	80	120	180	240	320	400	480	560

табл. 4* СНиП 2.01.07-85*

Москва

Снеговая нагрузка

- В СНиП 2.01.07-85* до 2003 г. приводилась **нормативная** снеговая нагрузка:

для г. Москвы $s_n = 100 \text{ кг/м}^2$.

Расчётная снеговая нагрузка:

$$s = 100 \cdot 1,4 = 140 \text{ кг/м}^2,$$

где 1,4 – коэффициент надёжности по нагрузке (γ_f).

- В СНиП 2.01.07-85* после изменений 2003 г. стала приводиться **расчётная** снеговая нагрузка:

для г. Москвы $s_g = 180 \text{ кг/м}^2$
(повышена).

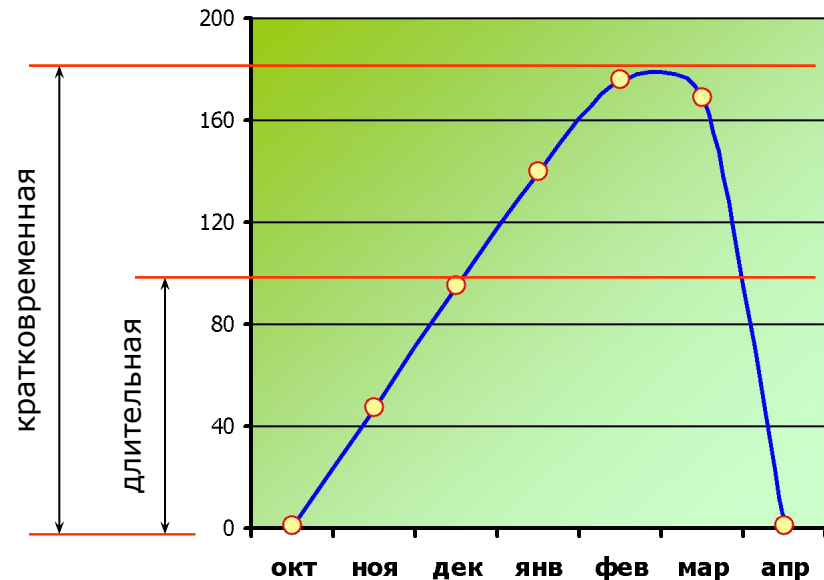
Нормативное значение снеговой нагрузки

$$s_n = 180/1,4 = 126 \text{ кг/м}^2.$$

- По МГСН 4.19-05 расчётное значение снеговой нагрузки для Москвы составляет

$$s_g = 200 \text{ кг/м}^2 \text{ (ещё более повышена).}$$

Распределение снеговой нагрузки по месяцам

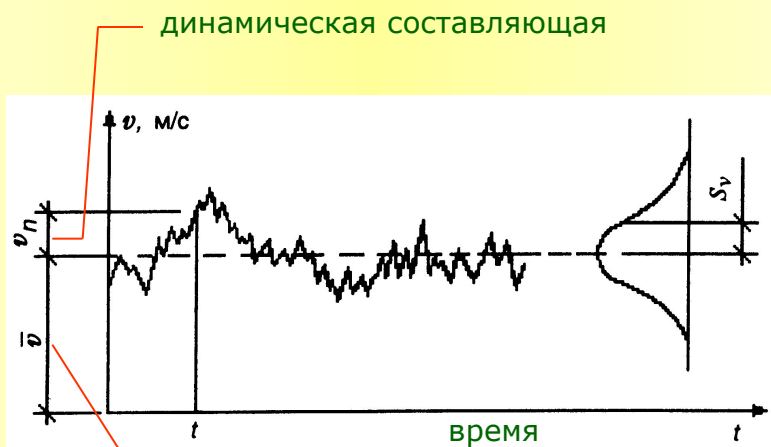


Длительной является снеговая нагрузка с пониженным расчётным значением, определяемым умножением полного значения на коэффициент 0,5.

Ветровая нагрузка

Ветровая нагрузка на сооружения определяется как сумма двух составляющих:

- 4 **средней** (статической);
- 4 **пульсационной** (динамической) – не учитывается, если высота здания менее 36 м и отношение высоты к пролёту менее 1,5.



динамическая составляющая

статическая составляющая

ветер



Наветренная сторона,
активное
давление ветра
($c_a = 0,8$)

Подветренная сторона,
пассивное
давление ветра
($c_p = 0,6$)

Расчётная воздействия статической составляющей
ветровой нагрузки

Ветровая нагрузка

Москва

(по табл. 5 СНиП 2.01.07-85*)

Расчётное значение
средней составляющей
ветровой нагрузки :

Ветровой район	I	II	III	IV	V	VI	VII
w_0 , кПа	0,23	0,30	0,38	0,48	0,60	0,73	0,85

$$w = w_0 \cdot k \cdot c \cdot \gamma_f;$$

где

w_0 – нормативное значение ветрового давления; определяется в зависимости от ветрового района;

k – коэффициент изменения ветрового давления по высоте; принимается в зависимости от типа местности (А,В,С);

c – аэродинамический коэффициент; в простейшем случае $c_a = 0,8$; $c_p = 0,6$;

γ_f – коэффициент надёжности по нагрузке; для ветровой нагрузки $\gamma_f = 1,4$.

Высота, м	Коэффициент k для типов местности		
	А	В	С
≤ 5	0,75	0,5	0,4
10	1,0	0,65	0,4
20	1,25	0,85	0,55
40	1,5	1,1	0,8
≥ 480	2,75	2,75	2,75

(по табл. 6 СНиП 2.01.07-85*)

Тип А – открытые побережья морей, озёр; пустыни, степи, лесостепи, тундра;

Тип В – городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м;

Тип С – городские районы с застройкой зданиями высотой более 25 м.

Блок 4

РАСЧЁТ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПО МЕТОДУ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

- Предельные состояния металлических конструкций
- Обобщённое условие расчёта
- Учёт условий работы конструкций и ответственности сооружений
- Расчёты на прочность при растяжении, изгибе, срезе, смятии
- Проверка общей и местной устойчивости
- Расчёт на действие местных напряжений
- Расчёт на выносливость

Предельные состояния металлических конструкций

С 1955 г. расчёт всех строительных конструкций в нашей стране проводится по **методу предельных состояний**.

Предельное состояние конструкции – это её состояние, при котором она перестаёт отвечать предъявляемым к ней требованиям безопасности или эксплуатационной пригодности.

Нормы проектирования предусматривают две группы предельных состояний.

Несущая способность конструкции

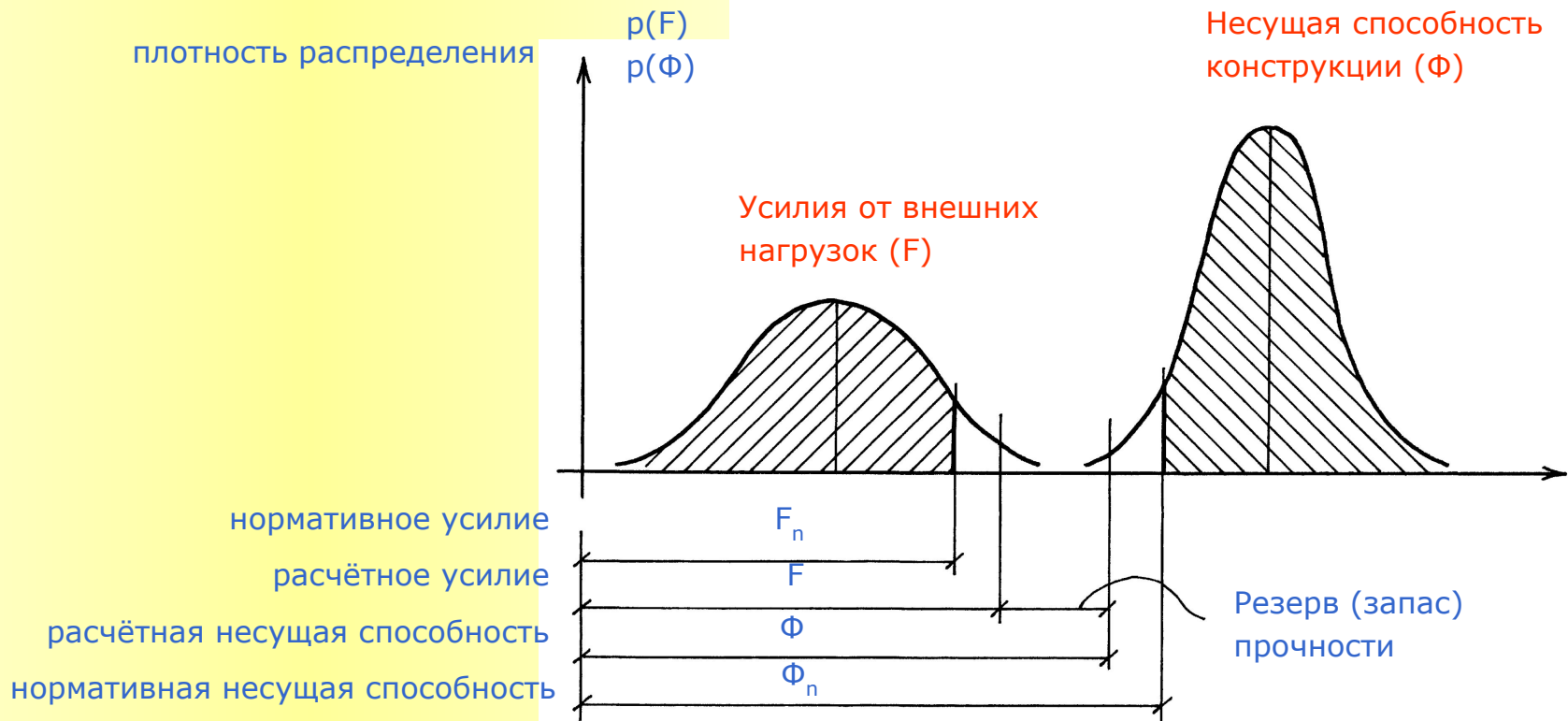
- **в качественном отношении** – это способность конструкции воспринимать действующую нагрузку.
- **в количественном отношении** – это максимальная величина нагрузки, которую может выдержать конструкция.

Нормальная эксплуатация – это эксплуатация, осуществляемая в соответствии с предусмотренными технологическими или бытовыми условиями.

Группы предельных состояний	Основные расчёты для металлических конструкций	Учитываемые нагрузки
Первая группа – по несущей способности	<ul style="list-style-type: none">• на прочность;• на устойчивость (общую и местную)• на выносливость*	расчётные
Вторая группа – по пригодности к нормальной эксплуатации	<ul style="list-style-type: none">• на жёсткость (деформативность)	нормативные

* Расчёт на **выносливость** проводят для конструкций, **непосредственно** испытывающих воздействие многократно-повторных нагрузок (мосты, подкрановые балки).

Обобщённое условие расчёта по первому предельному состоянию



Наибольшие усилия в конструкции N от внешних нагрузок не должны превышать её наименьшей несущей способности Φ :

$$F \leq \Phi$$

- Расчётная нагрузка больше, чем нормативная.
- Расчётное сопротивление меньше, чем нормативное.

Обобщённое условие расчёта по первому предельному состоянию

расчётная нагрузка

расчётное сопротивление

$$F \left\{ (q_n \cdot \gamma_f) \cdot \Psi \cdot \gamma_n \right\} \leq \Phi \left\{ A; (R_n / \gamma_m) \cdot \gamma_c \right\}$$

нормативная нагрузка

коэффициент надёжности по нагрузке

коэффициент сочетаний

коэффициент надёжности по назначению

геометрия сечения

нормативное сопротивление

коэффициент надёжности по материалу

коэффициент условий работы

До 1955 г. использовались методы расчёта

- по допускаемым напряжениям: $\sigma \leq \frac{R_n}{k}$

- по разрушающим усилиям: $F \leq \frac{\Phi_n}{k}$

k – коэффициент запаса ($k \approx 1,5$).

В методе предельных состояний единый коэффициент запаса был разделён на несколько коэффициентов:

$$k = \gamma_n \cdot \gamma_m \cdot \gamma_f \cdot \Psi / \gamma_c$$

Учёт ответственности сооружений и условий работы конструкций

Для учёта ответственности зданий и сооружений, характеризующейся экономическими, социальными и экологическими последствиями их отказов, расчётные значения нагрузок умножают на коэффициент надёжности по назначению здания γ_n .

По прил. 7* СНиП 2.01.07-85*

Уровень ответственности		Коэффициент надёжности по назначению γ_n	Характеристика объектов
I	повышенный	0,95...1,2	Уникальные здания и сооружения
II	нормальный	0,95	Здания и сооружения массового строительства
III	пониженный	0,8...0,95	Здания сезонного или вспомогательного назначения

Для учёта условий работы конструкций, не отражённых непосредственно в расчётах, расчётные сопротивления материалов умножают на коэффициент(ы) условий работы γ_c .

По табл. 6* СНиП II-23-81*

Элементы стальных конструкций	Коэффициент условий работы γ_c
Колонны общественных зданий	0,95
Элементы стержневых конструкций покрытий и перекрытий	0,95
Сжатые раскосы (кроме опорных) и стойки ферм при гибкости более 60	0,8
Сжатые элементы из уголков, прикрепляемых одной полкой	0,75
Опорные плиты из стали с пределом текучести до 285 МПа, несущие статическую нагрузку, толщиной до 40 мм	1,2

Обобщённое условие расчёта по второму предельному состоянию

Прогибы (или перемещения) конструкции f от нормативных нагрузок не должны превышать предельно допустимых значений f_u :

$$f \{ EJ; q_n \cdot \Psi \cdot \gamma_n \} \leq f_u$$

прогиб от нормативных нагрузок

жёсткость

предельно допустимый прогиб

Предельные прогибы конструкций назначаются по табл. 19 СНиП 2.01.07-85* исходя из конкретных эксплуатационных требований:

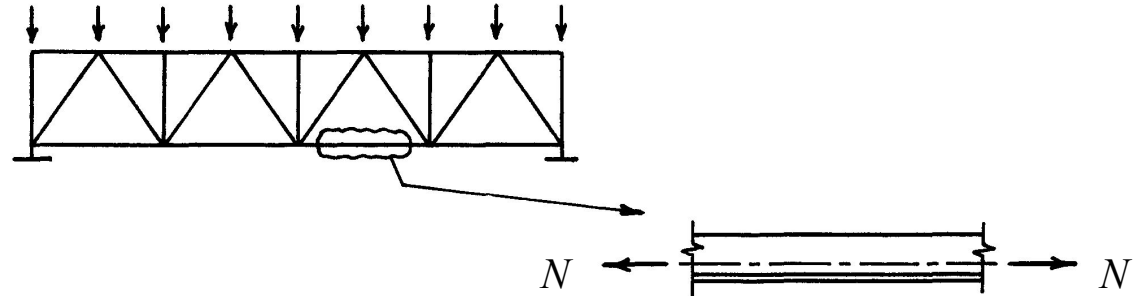
- **Технологических** (обеспечение условий нормальной эксплуатации технологического оборудования);
- **Конструктивных** (обеспечение целостности примыкающих друг к другу элементов);
- **Физиологических** (предотвращение ощущений дискомфорта при колебаниях);
- **Эстетико-психологических** (обеспечение благоприятного впечатления о безопасности конструкции).

Предельные прогибы балок

(по эстетико-психологическим требованиям)

Пролёт балки	Предельный прогиб f_u
$L \leq 1$ м	$L/120$
$L = 3$ м	$L/150$
$L = 6$ м	$L/200$
$L = 24$ м	$L/250$
$L = 36$ м	$L/300$

Расчёт на прочность при осевом растяжении



4 Условие прочности:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq R_y \gamma_c ;$$

σ – нормальные напряжения; кН/см²;

N – расчётное продольное усилие, кН;

A_n – площадь сечения нетто (с учётом ослаблений), см²;

R_y – расчётное сопротивление стали по пределу текучести, кН/см²;

γ_c – коэффициент условий работы.

Расчёт на прочность при плоском изгибе

Нормальные и касательные напряжения в произвольном сечении z :

$$\sigma = \frac{M}{J_{x,n}} \cdot y; \quad \tau = \frac{QS_x}{t_w J_x}$$

Условие прочности по приведённым напряжениям (*reduced = приведённый*):

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq R_y \gamma_c$$

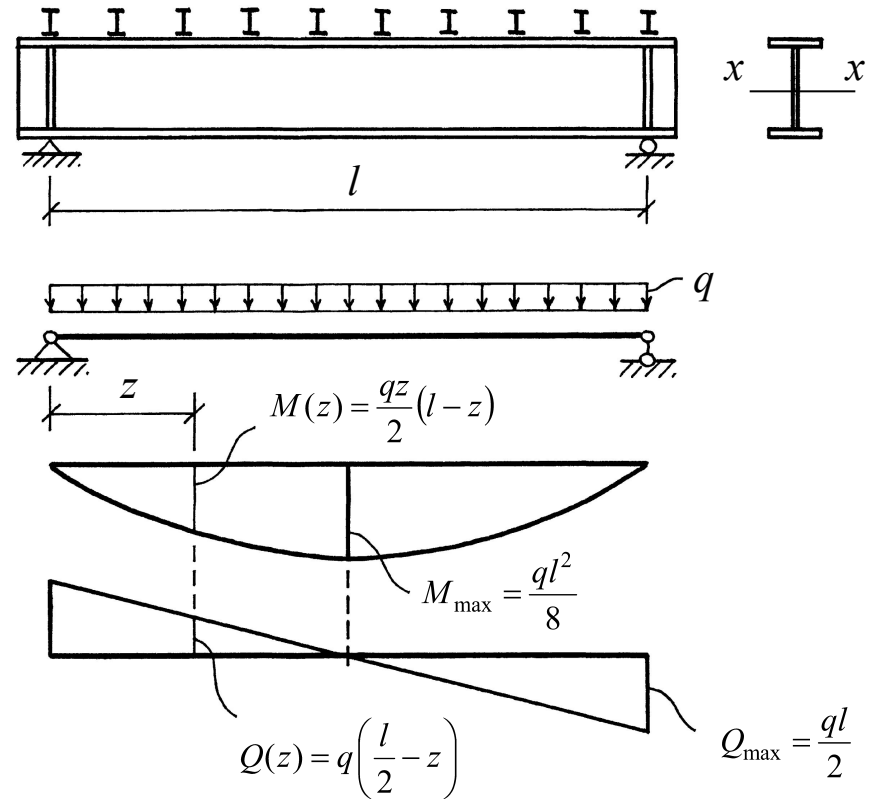
При $\tau = 0$ (сечение с M_{max}):

$$\sigma = \frac{M}{W_{x,n}} \leq R_y \gamma_c$$

При $\sigma = 0$ (сечение с Q_{max}):

$$\tau \leq \frac{1}{\sqrt{3}} R_y \gamma_c = 0,58 R_y \gamma_c = R_s \gamma_c;$$

$$\tau = \frac{QS_x}{t_w J_x} \leq R_s \gamma_c$$



W_{xn} – момент сопротивления сечения нетто, см^3 ;

S_x – статический момент полусечения, см^3 ;

J_{xn} – момент инерции сечения нетто, см^4 ;

t_w – толщина стенки, см ;

R_s – расчётное сопротивление стали срезу, $\text{кН}/\text{см}^2$; $R_s = 0,58 R_y$

Учёт развития пластических деформаций при расчёте на прочность при изгибе

При расчёте на прочность разрезных балок из стали с пределом текучести до 530 МПа, несущих статическую нагрузку, допускается учитывать ограниченное развитие пластических деформаций (п. 5.18* СНиП II-23-81*):

$$\sigma = \frac{M}{cW_{x,n}} \leq R_y \gamma_c;$$

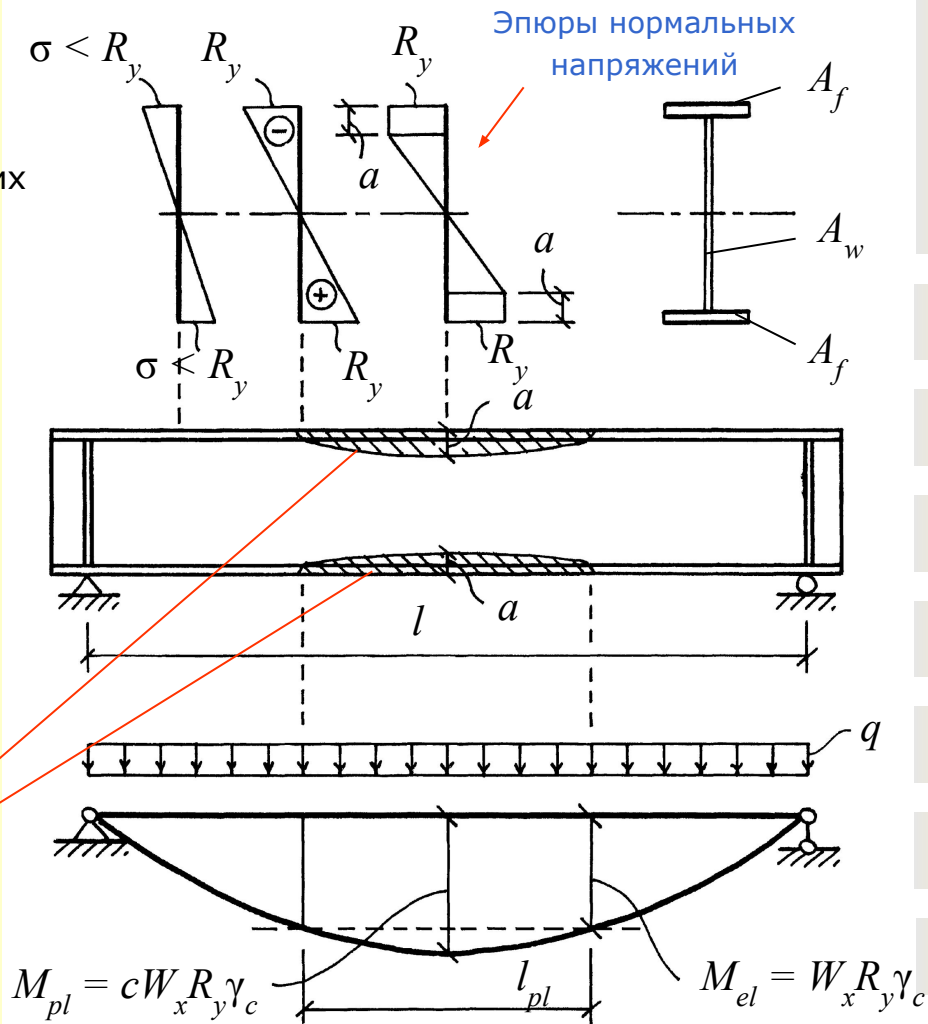
c – коэффициент, учитывающий развитие пластических деформаций (по табл. 66 СНиП); при отношении $A_f/A_w = 0,5$ значение $c = 1,12$.

$$c = \frac{M_{pl}}{M_{el}} = \frac{W_{pl,x}}{W_x} = \frac{2S_x}{W_x}$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 1,15 R_y \gamma_c;$$

коэффициент, учитывающий развитие пластических деформаций

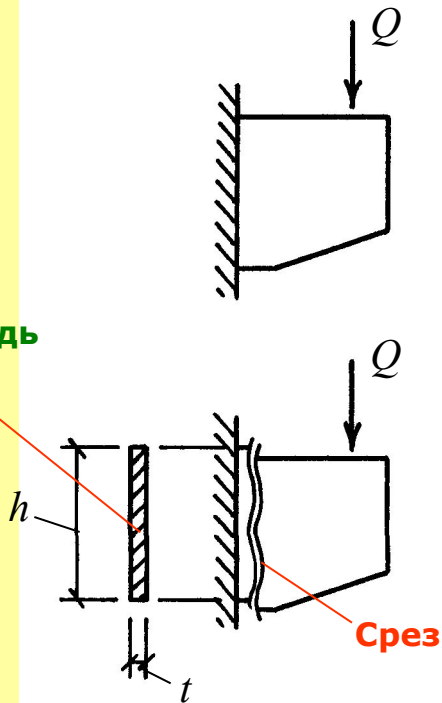
Зона ограниченного развития пластических деформаций



Расчёт на прочность при срезе и смятии

Срез

Площадь среза

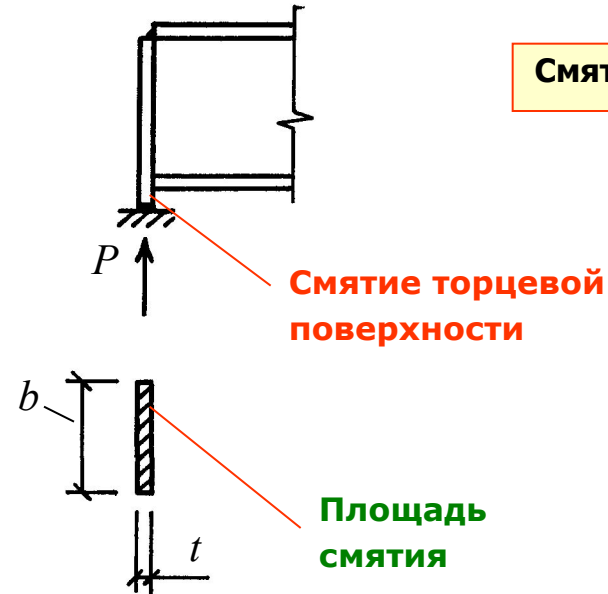


4 Условие прочности:

$$\tau = \frac{Q}{ht} \leq R_s \gamma_c;$$

Q – расчётное поперечное усилие, кН;
 ht – площадь среза, см².

Смятие



4 Условие прочности:

$$\sigma = \frac{P}{bt} \leq R_p \gamma_c;$$

P – расчётное усилие, кН;

bt – площадь смятия, см²;

R_p – расчётное сопротивление смятию; $R_p = R_u$.

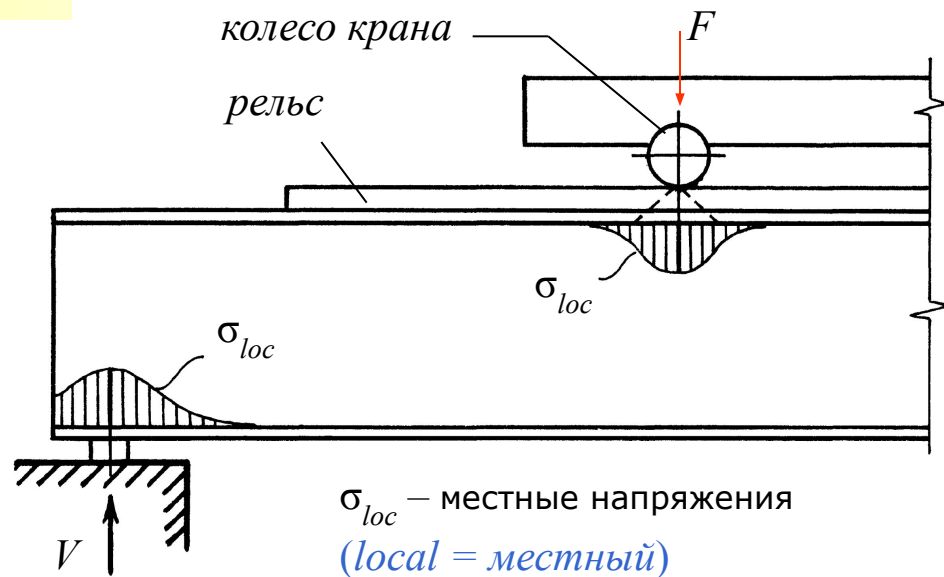
Местные напряжения в стенках элементов

Местные напряжения в стенках балок и колонн возникают в местах приложения значительных сосредоточенных усилий – как активных (внешних нагрузок), так и реактивных (опорных реакций).

Прочность стенок при действии местных напряжений должна быть проверена расчётом.

Расчёт производить не требуется, если стенка в местах приложения сосредоточенной нагрузки укреплена **поперечными рёбрами жёсткости**.

Если балка рассчитывается с учётом развития пластических деформаций, установка поперечных рёбер жёсткости в местах действия сосредоточенных нагрузок является **обязательной** (п. 5.21 СНиП).



Расчёт на прочность при действии местных напряжений

4 Условие расчёта:

$$\sigma_{loc} = \frac{F}{l_{ef} t_w} \leq R_y \gamma_c;$$

F – расчётное усилие, кН;

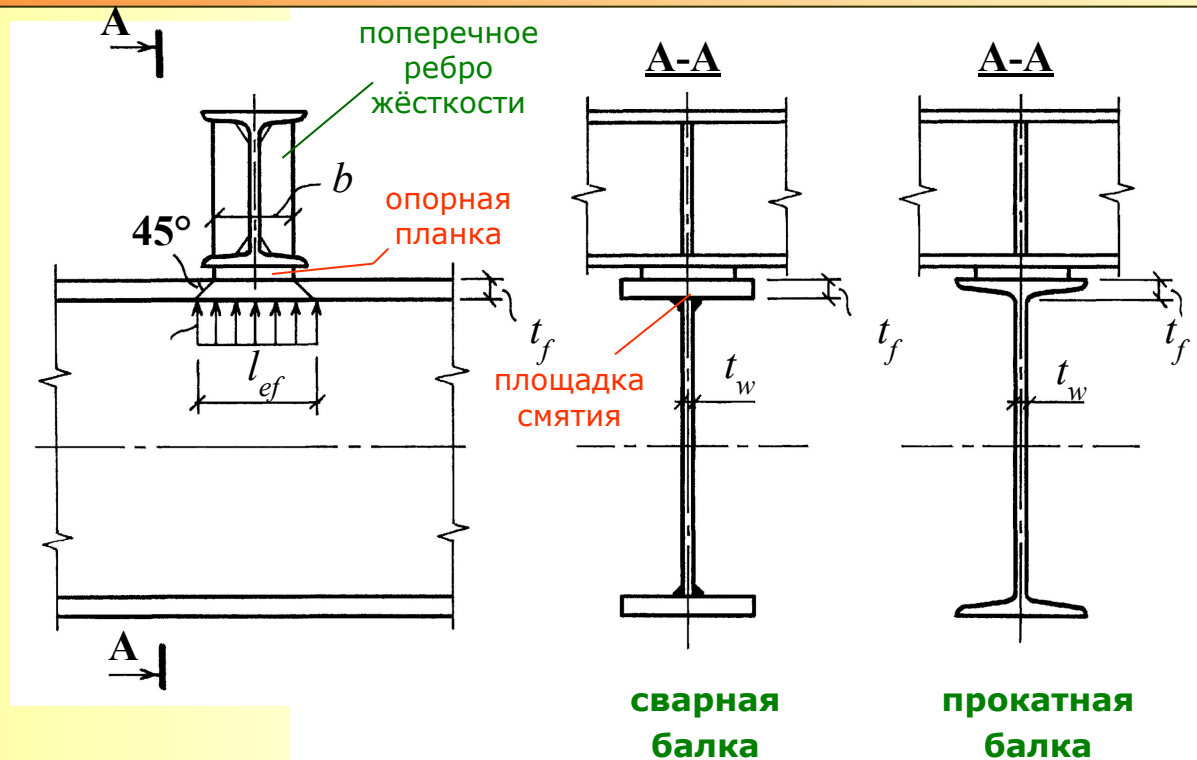
t – толщина стенки, см;

l_{ef} – условная длина распределения местных напряжений, см:

$$l_{ef} = b + 2t_f;$$

b – ширина опорной пластинки;

t_f – толщина верхнего пояса (в сварной балке) или расстояние от наружной грани полки до начала внутреннего закругления стенки (в прокатной балке).

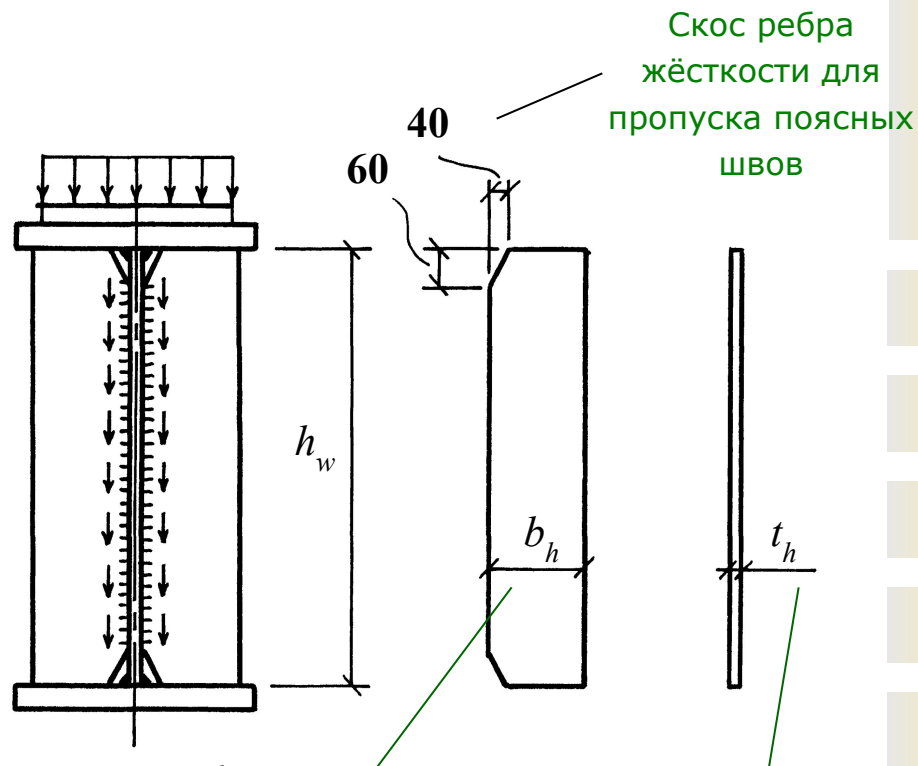


Способы снижения местных напряжений:

- 4 Установка поперечных рёбер жёсткости;
- 4 Увеличение ширины опорной планки;
- 4 Увеличение толщины стенки [-].

Конструктивные требования к поперечным рёбрам жёсткости (п. 7.10 СНиП II-23-81*)

Поперечные рёбра жёсткости воспринимают сосредоточенные усилия и равномерно распределяют их на всю толщину стенки.



ширина парного ребра $b_h \geq \frac{h_w}{30} + 40 \text{ мм}$

ширина одностороннего ребра $b_h \geq \frac{h_w}{24} + 50 \text{ мм}$

толщина ребра

$$t_h \geq 2b_h \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}$$

Расчёт на общую устойчивость

- 4 Условие устойчивости при осевом сжатии:

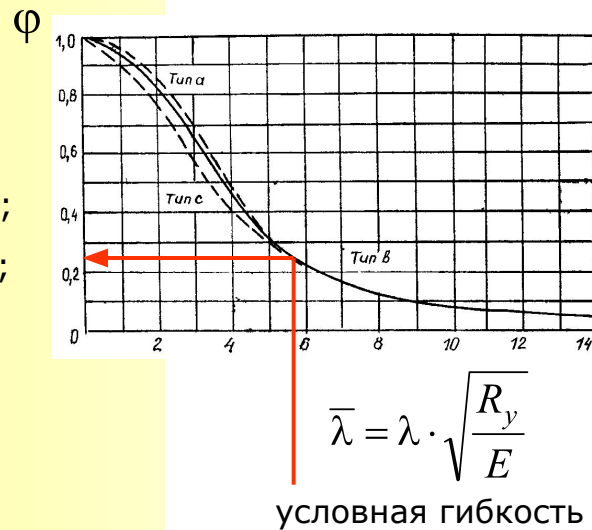
$$\sigma = \frac{N}{A\phi} \leq R_y \gamma_c;$$

N – расчётное продольное усилие, кН;
 ϕ – коэффициент продольного изгиба; определяется по табл. 72* СНиП II-23-81* (или по графику □) в зависимости от максимальной гибкости стержня λ :

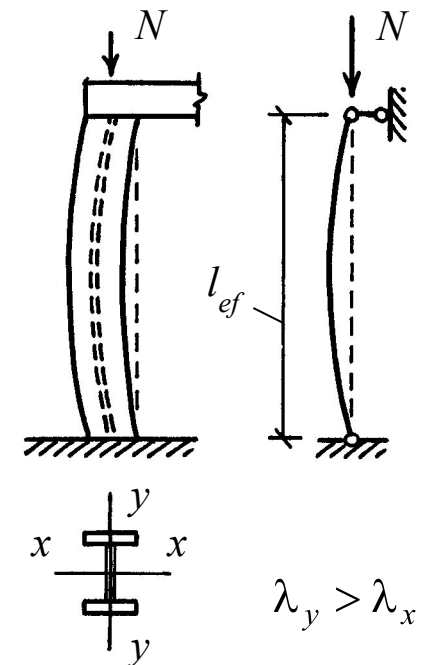
$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i};$$

l_{ef} – расчётная длина стержня, см;
 i – радиус инерции сечения, см.

Потеря общей устойчивости характеризуется изменением первоначальной формы деформирования всей конструкции под действием сжимающей нагрузки.



констр. сх. расч. сх.



Потеря устойчивости происходит относительно оси с наибольшей гибкостью, при этом стержень искривляется в направлении, перпендикулярном этой оси.

Расчётная длина сжатого стержня

Расчётная длина стержня – это эквивалентная из условия устойчивости длина шарнирно опертого стержня той же жёсткости.

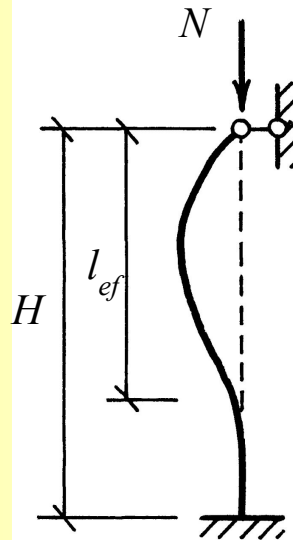
Геометрически расчётная длина определяется как **расстояние между точками перегиба** изогнутой оси стержня.

Методика расчёта стержней на устойчивость с использованием коэффициента расчётной длины была предложена Ф.С. Ясинским в 1894 году.

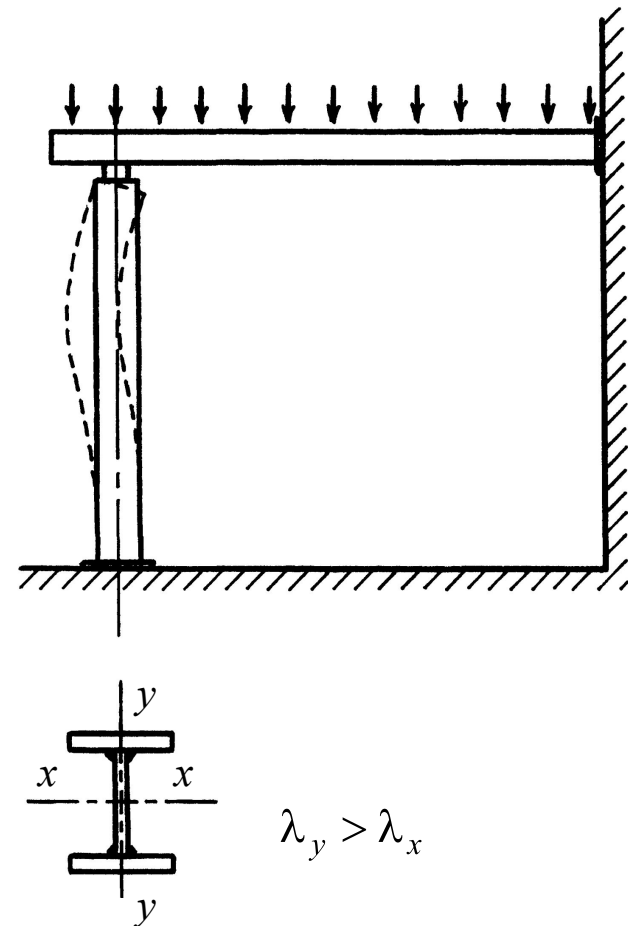
$$l_{ef} = \mu \cdot H$$

μ - коэффициент расчётной длины.

расч. сх.

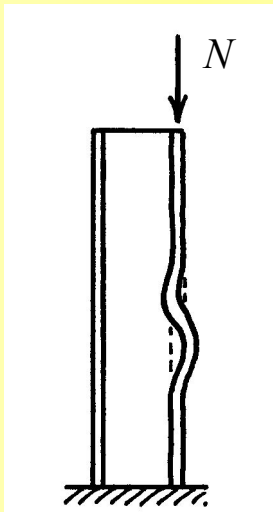


констр. сх.

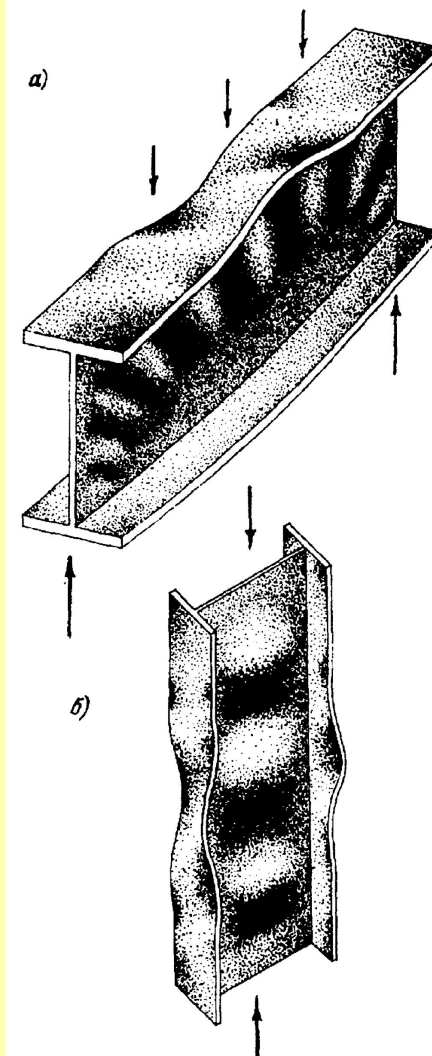


Обеспечение местной устойчивости

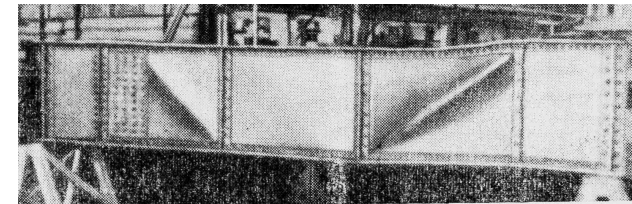
Изменение первоначальной формы отдельного элемента конструкции при сохранении формы всей конструкции называется **потерей местной устойчивости**.



стенка пояс (полка)



Балка



Колонна

Местная устойчивость стенки и полок фасонного проката (двутавр, швеллер и пр.) не требует проверки, так как она учтена при разработке сортамента.

Расчёт на местную устойчивость

Способы обеспечения местной устойчивости полки:

- 1) Уменьшение b_{ef}
- 2) Увеличение t_f

Способы обеспечения местной устойчивости стенки:

- 1) Установка поперечных и продольных рёбер жёсткости
- 2) [-] увеличение t_w

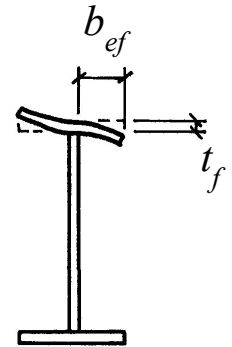
4 Общий вид условия обеспечения местной устойчивости полки:

$$\frac{b_{ef}}{t_f} \leq \bar{\lambda}_{uf} \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}} ;$$

b_{ef} – ширина свеса полки, см;

t_f – толщина полки, см;

$\bar{\lambda}_{uf}$ – предельная условная гибкость полки по СНиП II-23-81*.



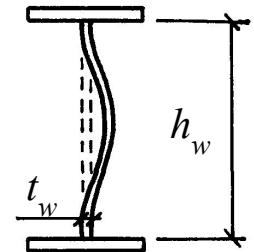
4 Общий вид условия обеспечения местной устойчивости стенки:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq \bar{\lambda}_{uw} \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}} ;$$

h_w – высота стенки, см;

t_w – толщина стенки, см;

$\bar{\lambda}_{uw}$ – предельная условная гибкость стенки по СНиП II-23-81*.



Блок 5

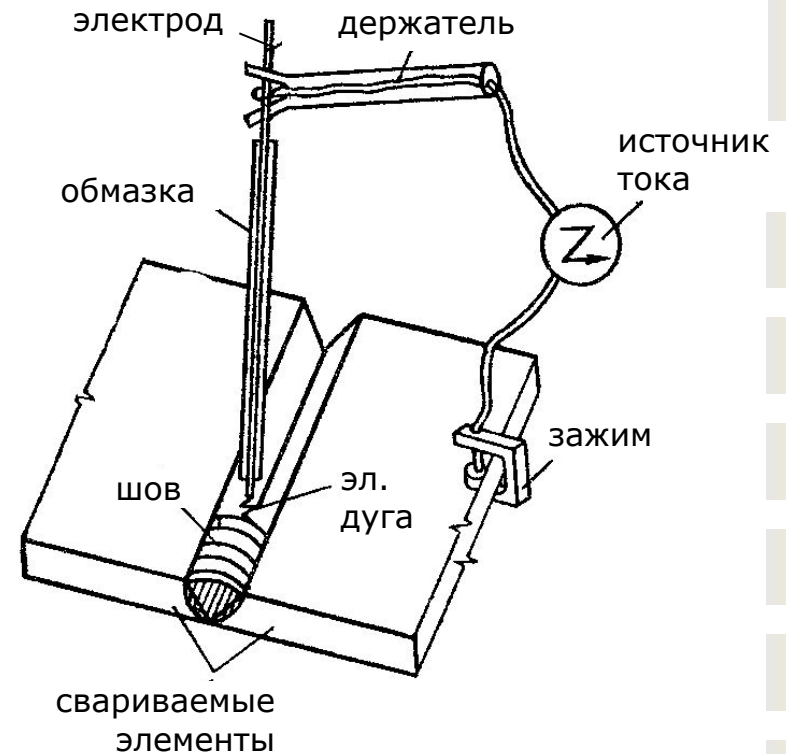
СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

- Общие сведения о технологии сварки
- Виды сварных швов и соединений
- Стыковые сварные швы. Конструктивные требования и расчёт
- Угловые сварные швы. Конструктивные требования и расчёт
- Дефекты сварных соединений

Электродуговая сварка

Электродуговая сварка основана на возникновении электрической дуги между электродом и свариваемыми деталями.

Дуга создаёт температуру более **1500°C**, что приводит к расплавлению основного металла и металла электрода. В результате в зоне контакта образуется сварной шов.



Назначение обмазки электрода

При плавлении электрода обмазка создаёт шлаки и газы, защищающие шов от окисления и быстрого охлаждения, улучшающие механические свойства шва и стабилизирующие горение дуги.

Виды электродуговой сварки

Ручная

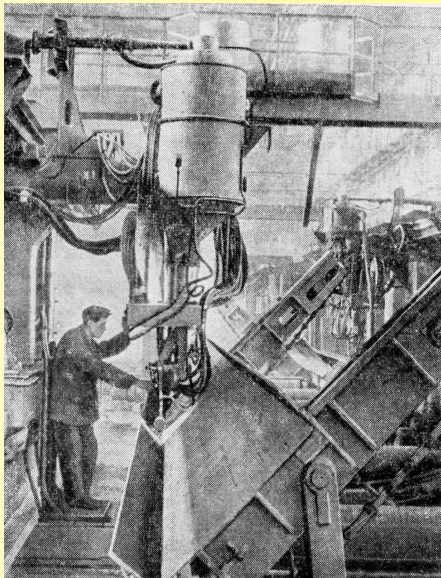
- Наименее качественная;
- Осуществляется электродами с обмазкой;
- Используется для *монтажных* швов.

Автоматическая

- Наиболее качественная;
- Осуществляется сварочной проволокой без обмазки, защита шва осуществляется слоем сыпучего материала – **флюса** (гранулированного шлака);
- Применяется для *заводских* швов большой длины.

Полуавтоматическая

- Подача сварочной проволоки осуществляется автоматически, а перемещение аппарата вдоль шва – вручную;
- Применяется при малой длине шва, а также в местах, недоступных для автоматического сварочного аппарата.




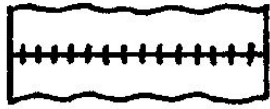
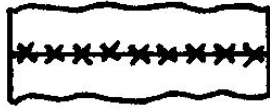

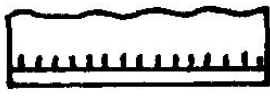
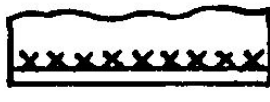
Виды сварных швов

Выполняются на заводе-изготовителе

Выполняются на строительной площадке

Торцы деталей приставляют один к другому встык и сваривают

Шов наплавляется в угол, образуемый свариваемыми элементами

	Заводские швы	Монтажные швы
Стыковые швы 		
Угловые швы 		

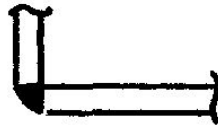
Условные обозначения

Виды сварных соединений

Стыковое



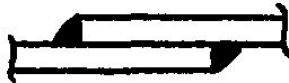
Угловое



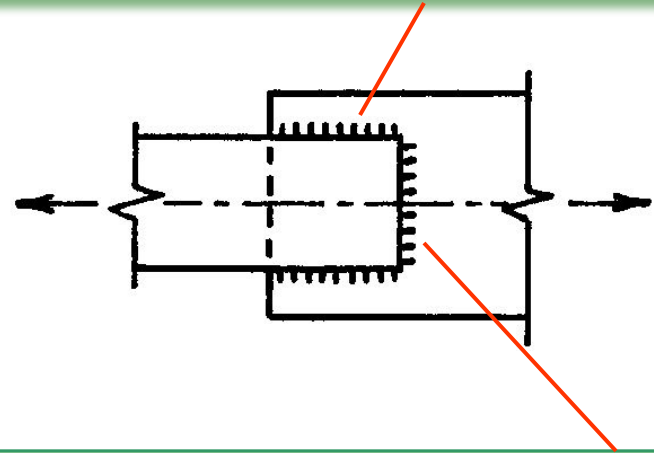
Тавровое



Нахлесточное



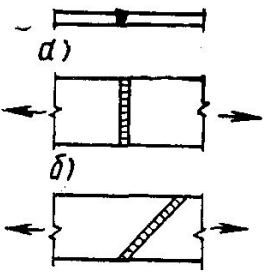
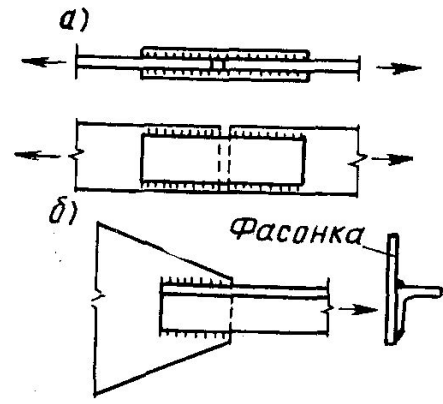
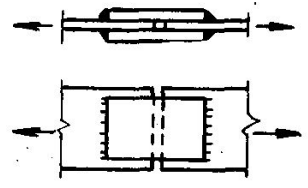
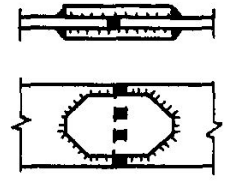

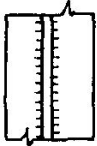


Фланговые швы расположены параллельно действующему усилию



Лобовые швы расположены перпендикулярно действующему усилию

Виды сварных соединений

Вид сварных соединений

Стыковые швы	Соединение внахлестку		Комбинированные швы (фланговый, лобовой, стыковой)	Угловые швы впритык	
	фланговые швы	лобовые швы		в тавр	в угол
 <p>a) b) delta)</p>	 <p>a) b) delta) Фасанка</p>	 <p>a) b)</p>	 <p>a) b)</p>	 	 

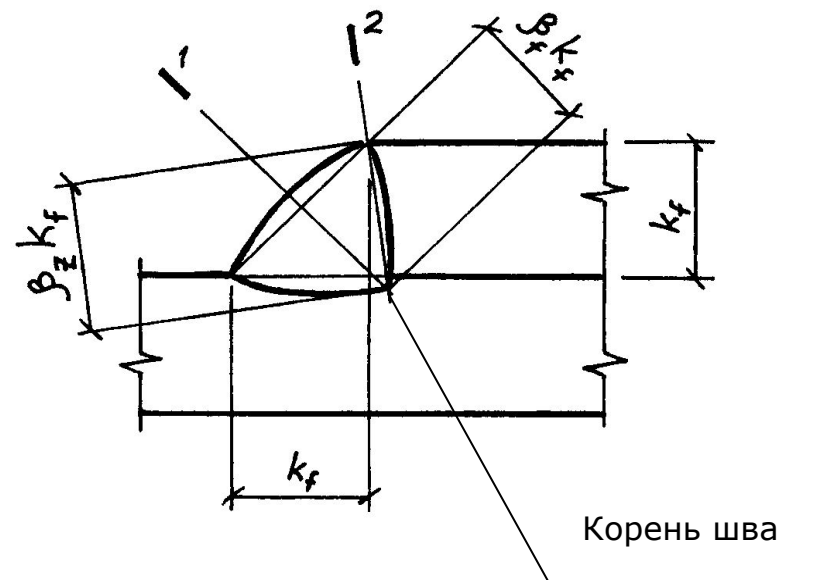
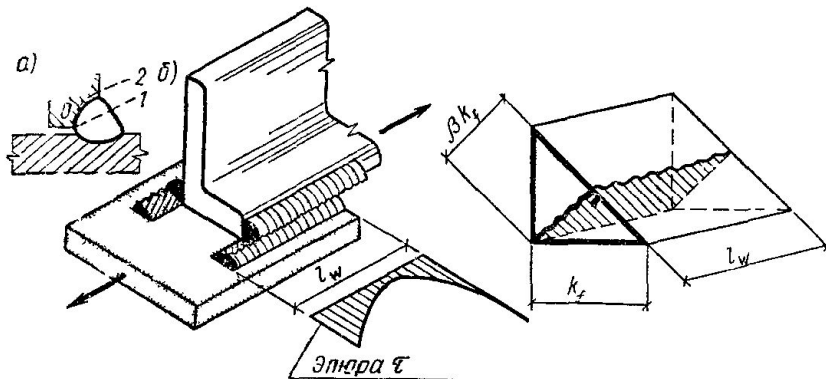
Расчёт угловых швов

Угловые швы рассчитываются **на срез**.

Предполагается, что разрушение шва может произойти по одному из двух сечений:

1 – по металлу шва;

2 – по металлу границы сплавления сварного шва с основным металлом.



k_f - катет шва;

β_f, β_z - коэффициенты глубины проплавления шва;

при ручной сварке $\beta_f = 0,7$; $\beta_z = 1,0$
(табл. 34* СНиП II-23-81*).

Расчёт угловых швов

Условия расчёта:

1 – по металлу шва:

$$\tau_f = \frac{N}{A_f} = \frac{N}{n\beta_f k_f l_w} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c;$$

2 – по металлу границы сплавления:

$$\tau_z = \frac{N}{A_z} = \frac{N}{n\beta_z k_f l_w} \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c;$$

n – число швов;

R_{wf}, **R_{wz}** – расчётные сопротивления; **R_{wf}** – по табл. 56 СНиП; **R_{wz} = 0,45 R_{un}**;

Y_{wf}, **Y_{wz}** – коэффициенты условий работы сварного соединения при низких температурах (обычно равны 1,00);

l_w – расчётная длина шва, принимается меньше фактической на 1 см из-за снижения качества сварки на концах шва.

Выбор типа электродов

Прочность шва должна
несколько превышать
прочность основного металла

Фрагмент табл. 55* и 56 СНиП II-23-81*

Марка стали	Тип электрода	Расчётное сопротивление металла шва R_{wf} МПа
C245 C255 C275	Э42	180
C345 <u>C375</u>	Э <u>50</u>	215

Нормативное сопротивление **375 МПа (38 кг/мм²)**

Нормативное сопротивление **490 МПа (50 кг/мм²)**

Конструктивные требования к угловым швам

Минимальная расчётная длина шва:

$$l_w \leq 4k_f; \quad l_w \geq 40 \text{ мм}$$

Максимальная расчётная длина фланговых швов:

$$l_w \leq 85\beta_f k_f$$

(так как усилия по длине фланговых швов распределены неравномерно)

Минимальный катет шва $k_{f,\min}$

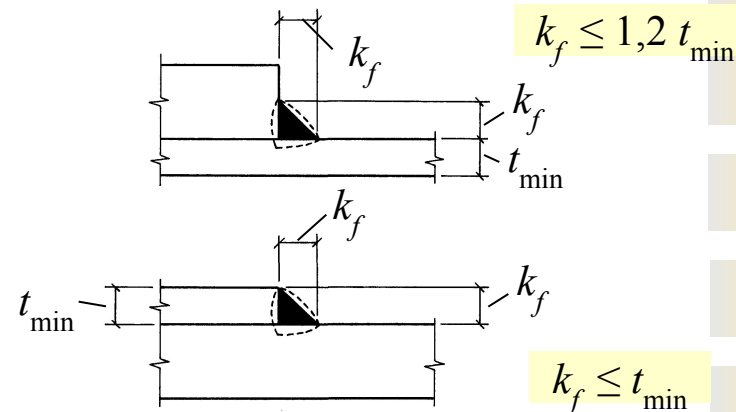
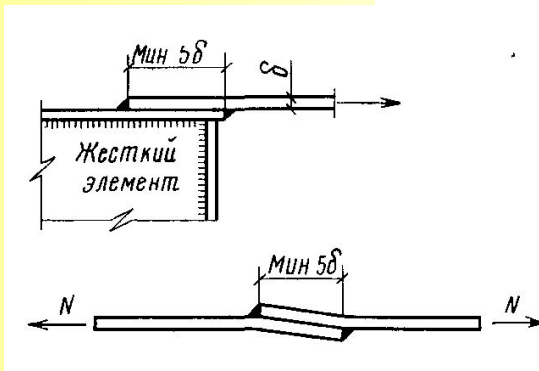
определяется по табл. 38* СНиП в зависимости от наибольшей толщины соединяемых элементов t_{\max}

Максимальный катет шва:

$$k_{f,\max} = 1,2 t_{\min}$$

t_{\min} – наименьшая из толщин соединяемых элементов

Из двух швов с одинаковой несущей способностью более экономичным является шов с меньшим катетом и большей длиной.



Расчёт стыковых швов

Если для сварки выбраны электроды в соответствии с требованиями СНиП, то стыковые швы принимаются:

- **при сжатии** – равнопрочными основному металлу (расчётное сопротивление шва $R_{wy} = R_y$) и не рассчитываются;
- **при растяжении** – имеющими прочность, на 15% меньшую прочности основного металла ($R_{wy} = 0,85 R_y$).

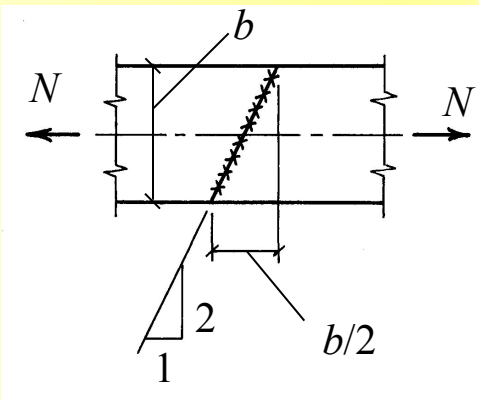
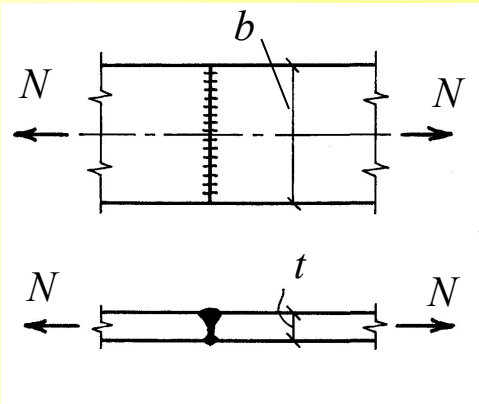
Условие расчёта:

$$\sigma = \frac{N}{A_w} = \frac{N}{l_w t} \leq R_{wy} \gamma_c;$$

l_w – расчётная длина шва; при выводе концов шва на технологические планки $l_w = b$, иначе $l_w = b - 2t$.

Швы можно не рассчитывать, если

- осуществляется контроль их качества физическими методами (например, ультразвуковым) – для **заводских** швов;
- шов выполняется с уклоном не менее 2:1, что увеличивает его расчётную длину – для **монтажных** швов.



Конструктивные требования к стыковым швам

Вывод концов шва на технологические планки

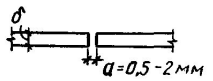
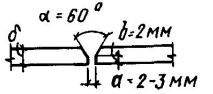
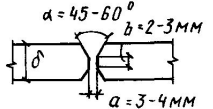
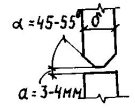
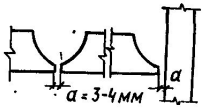
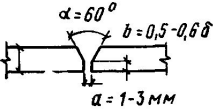
(для заводских швов)

Подварка корня шва

(для монтажных швов)

Обработка кромок шва

Классификация швов по типу обработки кромок

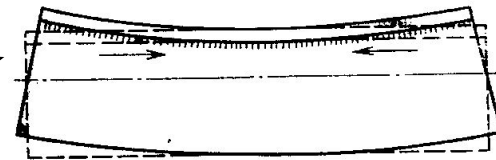
Наименование шва по типу обработки кромок	Эскиз обработки кромок	Применяется при толщине δ в мм
Без обработки		До 8—10
V-образный		10—20
X-образный		Больше 20
K-образный		То же
U-образный		»
V-образный при автоматической сварке!		Больше 16

Обозначения: a — зазор; b — притупление; α — угол раскрытия шва.

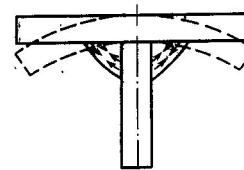
Сварочные деформации

Продольная усадка угловых швов

(или почему невозможно изготовить сварной профиль таврового сечения)

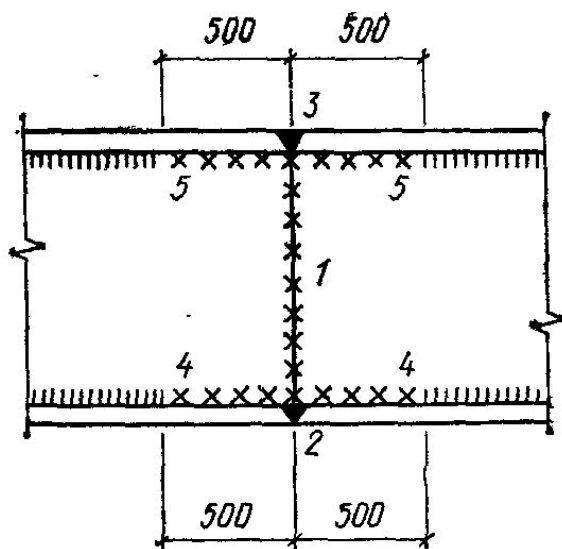


Поперечная усадка угловых швов



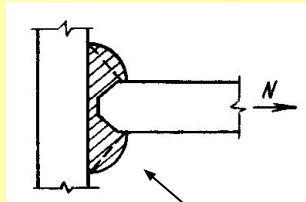
Поперечная усадка стыковых швов

Последовательность сварки монтажного стыка

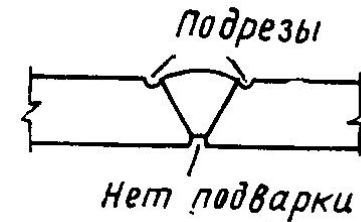
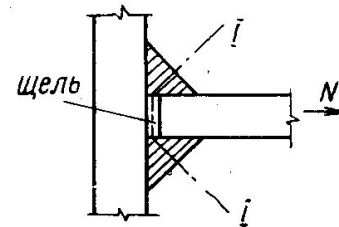
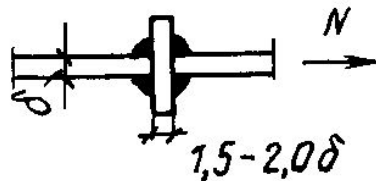


Дефекты сварных швов

Дефекты из-за необработанной кромки угловых швов



Обработка кромок



Дефекты стыковых швов

Применение растянутого стыка через поперечную прокладку не рекомендуется

(в сжатых стыках это возможно)

Блок 6

БОЛТОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

- Виды болтов и болтовых соединений
- Классы точности болтов
- Классы прочности болтов
- Расчёт болтовых соединений на срез и смятие
- Расчёт соединений на высокопрочных болтах
- Конструктивные требования к размещению болтов

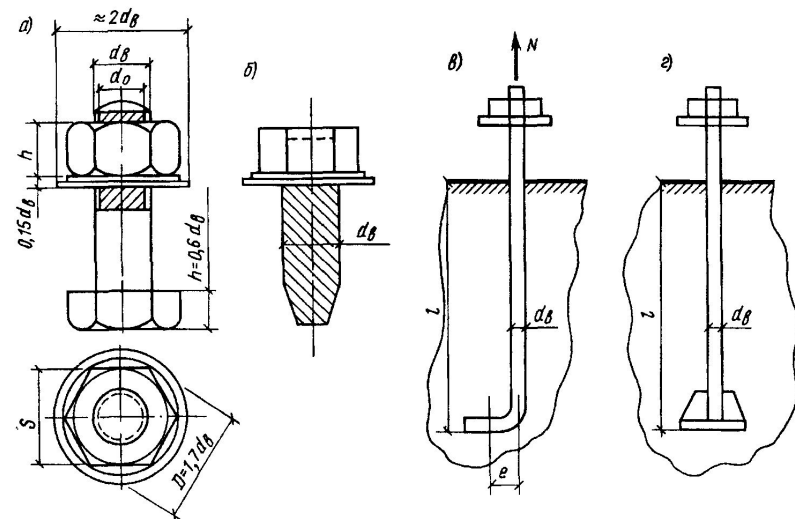
Общие соображения

Болтовые соединения, в отличие от сварных, имеют более простую технологию выполнения и поэтому широко применяются при монтаже. Монтажные болты устанавливаются примерно в 2 раза быстрее, чем производится сварка. Болтовое соединение является разъёмным.

Однако болтовые соединения по сравнению со сварными являются более металлоёмкими и весьма деформативными. Последний недостаток устраняется применением фрикционных соединений на высокопрочных болтах.

В строительстве применяются:

- 4 Обычные болты с гайкой и шайбой;
- 4 Фундаментные (анкерные) болты;
- 4 Самонарезающие болты.



Виды болтов

а — болт с шайбой (1) и гайкой (2); б — самонарезающий болт; в — фундаментные болты; тип 1 при d_B 36 мм, тип 2 при d_B 30 мм

Условные обозначения

Условные обозначения



Постоянные болты в заводских и монтажных соединениях



Временные болты в монтажных соединениях



Высокопрочные болты

Классы точности болтов

В зависимости от требований к точности диаметра болтов различают три **класса точности** (А, В, С):

Класс точности болтов	Характеристика	Допуск на отклонение диаметра болта от номинального
А	Болты повышенной точности	- 0,3 мм
В	Болты нормальной точности	± 0,52 мм
С	Болты грубой точности	± 1,0 мм

В зависимости от требований к точности диаметра отверстий различают «чистые» и «чёрные» болты:

- 4 в соединениях на болтах классов точности **В** и **С** диаметр отверстия превышает диаметр болта на **2...3 мм** (в отдельных случаях – на 3...5 мм), что позволяет просверливать отверстия в каждой детали в отдельности – это **«чёрные» болты**;
- 4 в соединениях на болтах класса точности **А** диаметр отверстия не должен превышать диаметр болта более чем на **0,3 мм** (такие отверстия получают, например, сверлением их на проектный диаметр в собранных элементах) – это **«чистые» болты**; раньше они использовались в особо ответственных соединениях, а сейчас из-за трудоёмкости установки их применяют редко, более эффективными являются высокопрочные болты.

Классы прочности болтов

В зависимости от прочностных характеристик болты делят на **классы прочности**:

Характеристика	Болты обычной прочности	Высокопрочные болты
Применяемая сталь	малоуглеродистая	низколегированная
Классы прочности болтов	4.6; 4.8; 5.6; 5.8; 6.6; 8.8	10.9; 12.9

(классы прочности записываются через точку)

5.8

↑
первое число, умноженное на 100, равно временному сопротивлению, МПа;
произведение чисел, умноженное на 10, равно пределу текучести, МПа.

Наиболее широко применяют болты классов прочности **5.8** и **5.6** диаметром **16, 20, 24 мм**.

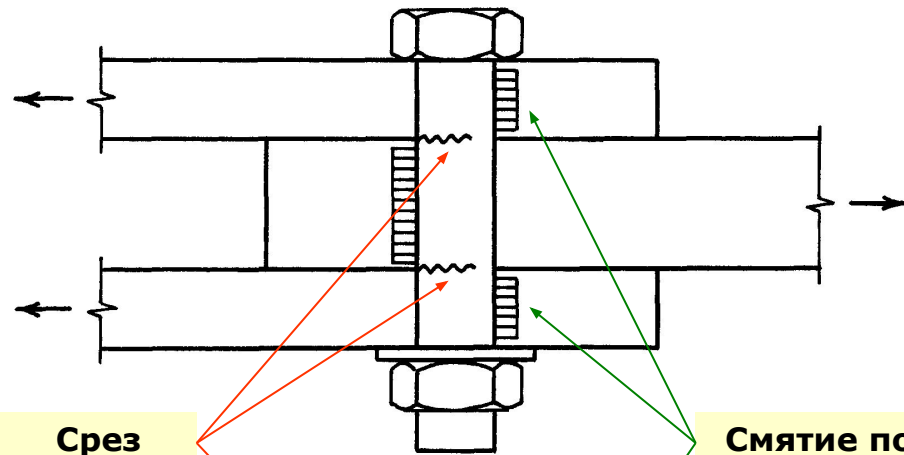
Виды болтовых соединений

Наиболее широкое распространение получили следующие **виды болтовых соединений**:

- **Срезные соединения** - воспринимают внешние усилия вследствие сопротивления болтов срезу и соединяемых элементов смятию, вследствие чего обладают повышенной деформативностью.
- **Фрикционные соединения** (сдвигоустойчивые соединения на высокопрочных болтах) - воспринимают внешние усилия вследствие сопротивления сил трения, возникающих по контактными плоскостями соединяемых элементов от предварительного натяжения болтов. Усилия натяжения контролируют, а соединяемые поверхности подвергают обработке.
- **Фрикционно-срезные соединения** (комбинированные).
- **Фланцевые соединения** - воспринимают внешние усилия вследствие сопротивления болтов растяжению; здесь несущая способность болтов используется наиболее полно.

Работа болтового соединения на срез и смятие

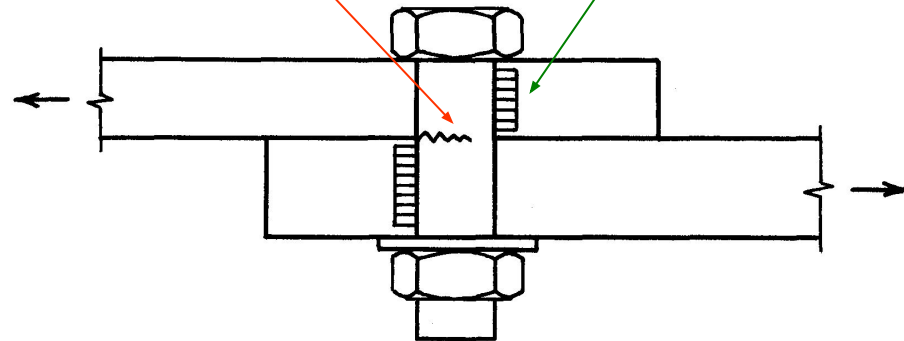
Двухсрезное соединение



Срез
болта

Смятие поверхности
отверстия

Односрезное соединение



Расчёт болтового соединения на срез и смятие

- 4 Расчётное усилие, воспринимаемое одним болтом при его работе **на срез**:

$$N_{b,s} = R_{bs} \gamma_b A_b n_s ;$$

R_{bs} – расчётное сопротивление болта срезу (по табл. 58* СНиП);

γ_b – коэффициент условий работы болтового соединения (по табл. 35* СНиП); неравномерность работы многоболтового соединения учитывается коэффициентом $\gamma_b = 0,9$;

A_b – площадь сечения болта (по табл. 62* СНиП);

n_s – расчётное число срезов болта.

- 4 Расчётное усилие, воспринимаемое одним болтом при работе поверхности отверстия **на смятие**:

$$N_{b,p} = R_{bp} \gamma_b d_b (\sum t_{\min}) ;$$

R_{bp} – расчётное сопротивление смятию соединяемых элементов (по табл. 59* СНиП);

d_b – диаметр болта;

$\sum t_{\min}$ – наименьшая суммарная толщина элементов, сминаемых в одном направлении.

- 4 Необходимое число болтов в соединении :

$$n \geq \frac{N}{N_{b,\min} \gamma_c} ;$$

где $N_{b,\min} = \min \{N_{b,s}; N_{b,p}\}$.

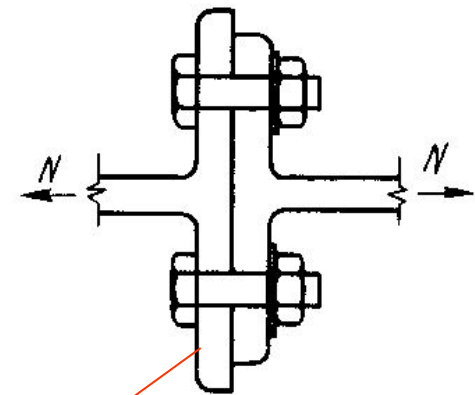
Расчёт болтового соединения на растяжение

- 4 Расчётное усилие, воспринимаемое одним болтом при его работе **на растяжение**:

R_{bt} – расчётное сопротивление болта растяжению (по табл. 58* СНиП);

A_{bn} – площадь сечения нетто болта (по табл. 62* СНиП).

$$N_{b,t} = R_{bt} A_{bn};$$



Фланец

Расчёт фрикционного соединения на высокопрочных болтах

4 Расчётное усилие, воспринимаемое одной поверхностью трения соединяемых элементов:

$$Q_{bh} = \frac{R_{bh} \gamma_b A_{bn} \mu}{\gamma_h};$$

R_{bh} – расчётное сопротивление высокопрочного болта растяжению; $R_{bh} = 0,7 R_{bun}$ (R_{bun} – наименьшее временное сопротивление разрыву, определяется по табл. 61* СНиП);

γ_b – коэффициент условий работы болтового соединения, зависящий от количества болтов (п. 11.13* СНиП);

A_{bn} – площадь сечения нетто болта (по табл. 62* СНиП);

μ – коэффициент трения, зависящий от качества обработки поверхностей (по табл. 36* СНиП);

γ_h – коэффициент надёжности, зависящий от вида нагрузки (статическая или динамическая), разности номинальных диаметров отверстий и болтов (1...6 мм), способа регулирования натяжения.

4 Необходимое число болтов в соединении :

n_f – количество поверхностей трения соединяемых элементов.

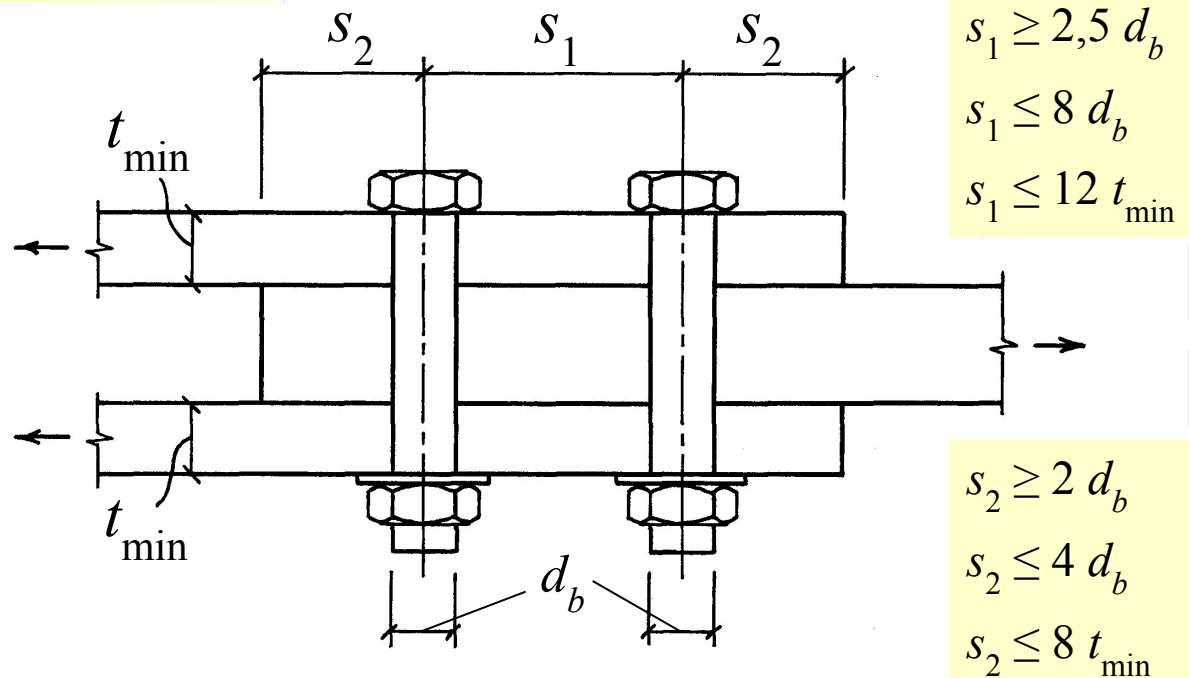
$$n \geq \frac{N}{Q_{bh} n_f \gamma_c};$$

4 Контролируемое усилие натяжения болта :

$$P = R_{bh} A_{bh}.$$

Конструктивные требования к размещению болтов

Размещение болтов осуществляется в соответствии с конструктивными требованиями (табл. 39 СНиП).



Минимальные расстояния между центрами отверстий болтов назначаются из условия прочности материала соединяемых элементов.

Максимальные расстояния между центрами отверстий болтов назначаются

- при сжатии – из условия устойчивости соединяемых элементов на участке между болтами;
- при растяжении – из условия обеспечения плотного соединения элементов во избежание попадания в зазоры влаги и пыли, способствующих коррозии.

Конструктивные требования к размещению болтов

Болты размещают в рядовом или шахматном порядке.

Линии, проходящие по центрам болтов, называют рисками. Расстояния между рисками вдоль усилия называют шагом, а поперёк – дорожкой.

**Рядовое
размещение**

**Шахматное
размещение**

