



# ОСНОВЫ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

ТЕМА № 1. «ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И  
РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ».

СЕНТЯБРЬ  
2019

Составитель: доцент кафедры СМиК ААИ ЮФУ  
Золотарева Л. А.

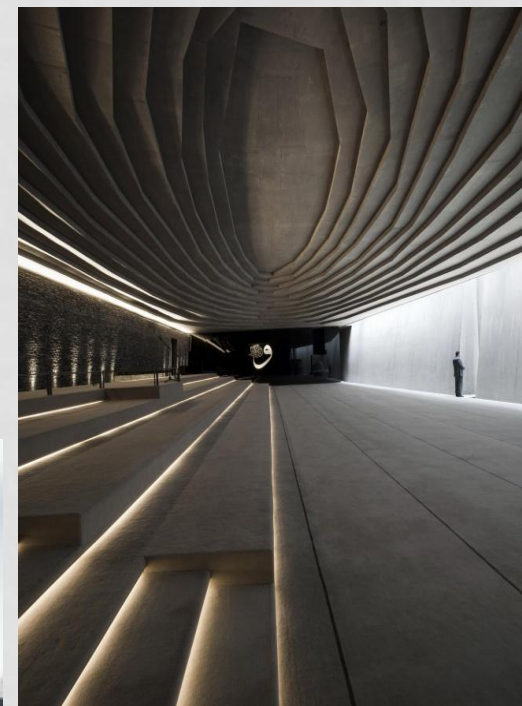
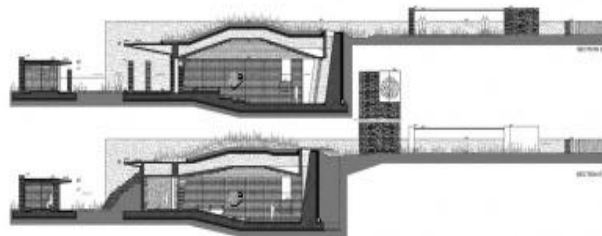
# ОБЪЕКТЫ СТРОИТЕЛЬСТВА

- подземные
- (подводные)
- наземные
- (наводные)
- надземные
- (надводные)

**Конструкции зданий** - это часть архитектурного произведения, материально оформленный смысл сооружения. Грамотно запроектированные конструкции дают возможность осознать, что поиск рациональной, логичной конструкции – основной принцип работы архитектора, смысл его деятельности, которая связывает рациональность с эстетикой, логику инженера – с художественной утонченностью архитектора.

[ Н.В. Канчели]

# ПОДЗЕМНЫЕ (ПОДВОДНЫЕ)



Мечеть  
Санжаклар

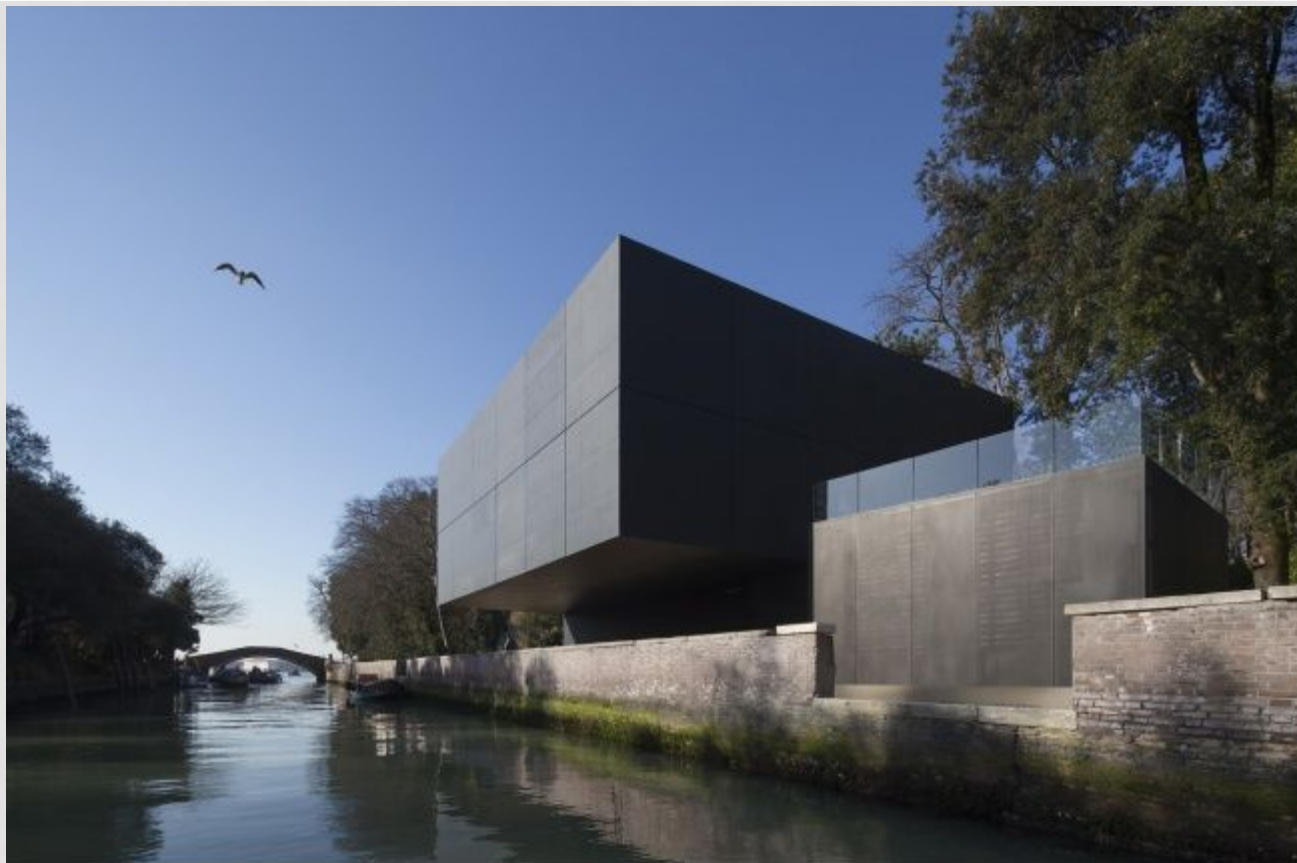


# ПОДЗЕМНЫЕ (ПОДВОДНЫЕ)



Мечеть Санжаклар

# НАЗЕМНО- НАДВОДНЫЕ



Австрийский павильон на 56-й художественном биеннале .  
Венеция 2015 г.

# НАЗЕМНО-НАДВОДНЫЕ



Австрийский павильон на 56-й художественном биеннале.  
Венеция 2015 г.



# НАДЗЕМНЫЕ



Археолого-космический музей. Германия 2007 г.

Посетительский центр. Корпус здания покрыт желтым анодированным алюминием и выглядит плывущим над заключенным в стекло нижним уровнем, в котором расположены администрация и кафе. 60-метровый корабль вмещает в себя два выставочных зала и планетарий

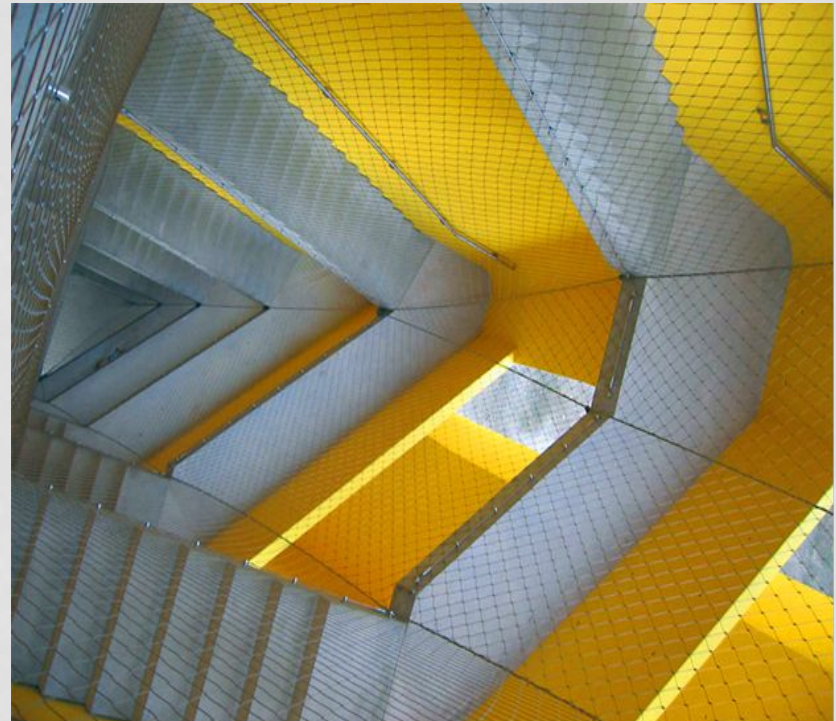
# НАЗЕМНЫЕ

Археолого-космический музей  
Германия 2007 г.



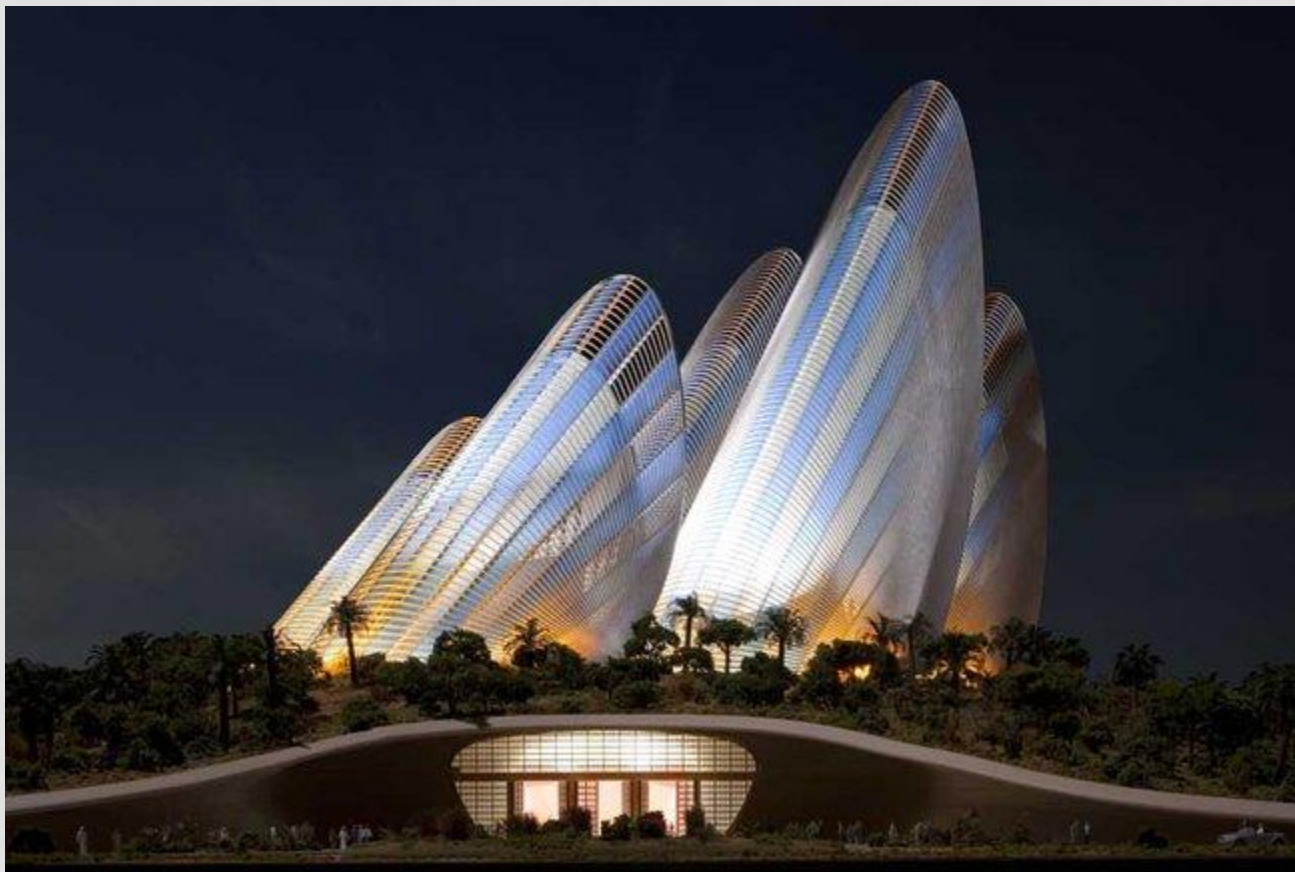
Обзорная башня.

Посетительский центр. Вид изнутри.





# ПОДЗЕМНО-НАЗЕМНЫЕ

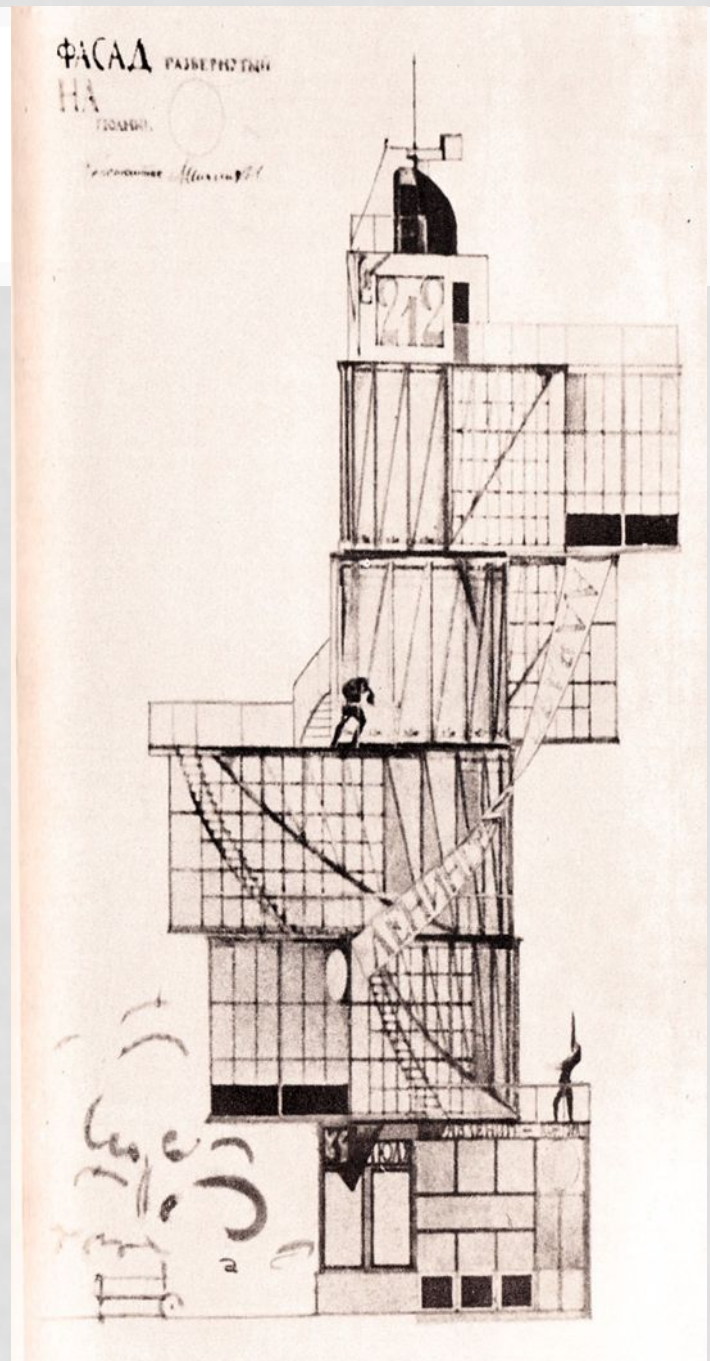


Национальный музей шейха Зайда

# НАЗЕМНЫЕ



По прежнему современен взгляд на применение конструкций уже не современными архитекторами, приемы которых вызывают удивление у многих современников





# НАДЗЕМНЫЕ

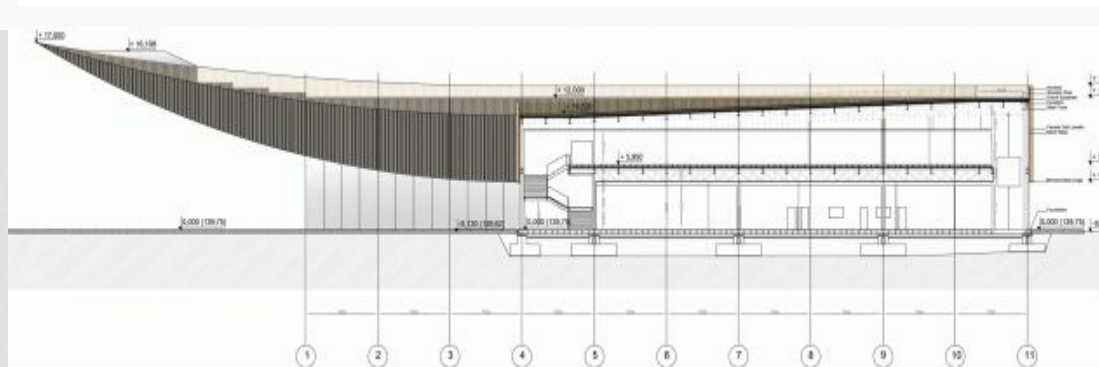


Павильон Россия на всемирной выставке ЭКСПО г. Милан 2015 г.

**Вынос консоли – тридцать метров,** максимально возможный для данной конструкции. Подъем в верхней точке – семнадцать, что на пять метров больше высоты основного здания, подчиненного двенадцати метрам высотных ограничений, заданных мастер-планом выставки.



# НАДЗЕМНЫЕ



Павильон Россия на всемирной выставке ЭКСПО г. Милан 2015 г. Основание летящего, плавно изогнутого козырька поддержано четырьмя круглыми зеркальными колоннами внутри прозрачного стеклянного тамбура: тонкие стыки стеклянных пластин делают входную часть павильона прекрасно просматриваемой насквозь. Консоль кажется лежащей на стекле





# НАВОДНЫЕ

На острове, построенном в XIX веке, ранее размещался форт с 80 солдатами для защиты побережья Великобритании от нападения французов. В настоящий момент на нем расположен гостиничный комплекс, два ресторана, пять баров и две вертолетные площадки. В поперечнике постройка превышает 60 метров. Фундамент представляет собой гранитные глыбы, которые доставлялись на место специальными баржами.

# НАДЗЕМНЫЕ И НАДВОДНЫЕ

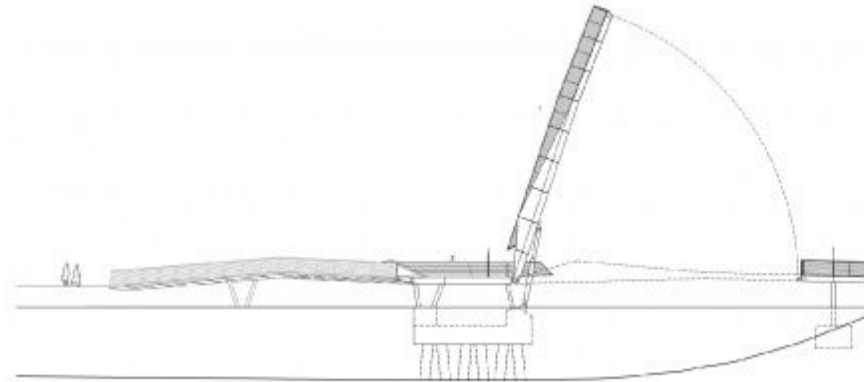


Разводной мост для пешеходов и велосипедистов . Копенгаген.

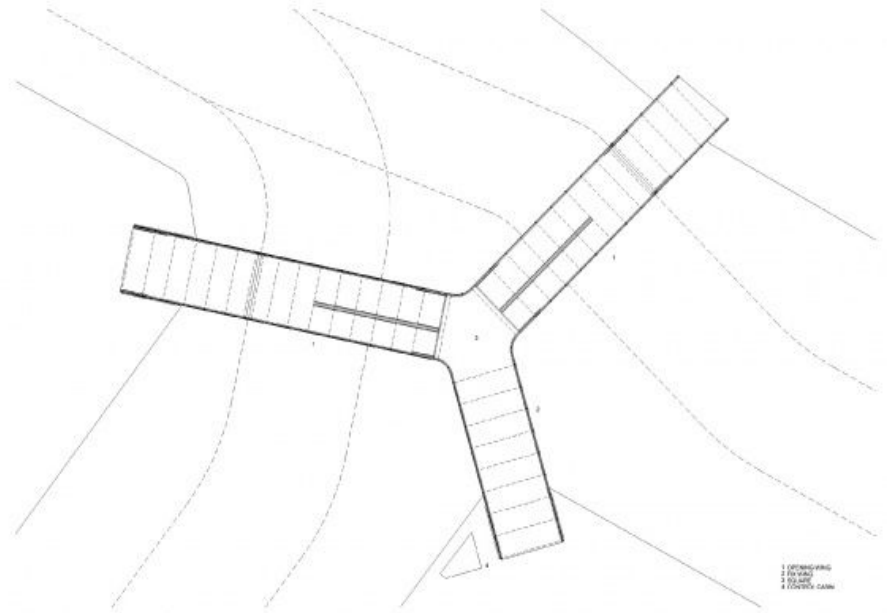
Изящная конструкция имеет Y-образную форму и соединяет берега каналов Кристиансхаун и Транграун в самом центре датской столицы. Более короткая «ножка» (около 20 м) неподвижна, а два «крыла» могут подниматься – как вместе, так и по отдельности – обеспечивая свободное движение судов по каналам



# НАДЗЕМНЫЕ И НАДВОДНЫЕ



Неподвижные части моста за счет специальных эластичных вкладышей и масляных амортизаторов мягко «принимают» створки.



# НАЗЕМНЫЙ



HELIOS, штаб-квартира Национального института солнечной энергии в Савойе. 2007 г.



# УРОВНИ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

В зависимости от градостроительных требований и социального значения места строительства здания и сооружения делятся на **уровни ответственности** в соответствии с требованиями ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения».

Для учета ответственности зданий и сооружений, характеризваемой экономическими, социальными и экологическими последствиями их отказов, устанавливаются три уровня:

- I — повышенный,
- II — нормальный,
- III — пониженный.



# УРОВНИ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

**Повышенный уровень** ответственности следует принимать для зданий и сооружений, отказы которых могут привести к тяжелым экономическим, социальным и экологическим последствиям (резервуары для нефти и нефтепродуктов вместимостью 10000 м<sup>3</sup> и более, магистральные трубопроводы, производственные здания с пролетами 100 м и более, сооружения связи высотой 100 м и более, а также уникальные здания и сооружения).

**Нормальный уровень** ответственности следует принимать для зданий и сооружений массового строительства (жилые, общественные, производственные, сельскохозяйственные здания и сооружения).

**Пониженный уровень** ответственности следует принимать для сооружения сезонного или вспомогательного назначения (парники, теплицы, летние павильоны, небольшие склады и подобные сооружения).

# ПРЕДЕЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

Расчет строительных конструкций должен обеспечить надежность их работы в процессе эксплуатации. Статический (или динамический) расчет заключается в составлении расчетных схем, наиболее близко отвечающих действительной работе конструкций, и определении внутренних усилий (изгибающих моментов  $M$ , поперечных сил  $Q$ , продольных сил  $N$ ) в опасных сечениях проектируемых конструкций с учетом их жесткости и устойчивости. Этот расчет производится по общим правилам строительной механики, если предполагается упругая работа материала в конструкции, либо по методу предельного равновесия с учетом перераспределения усилий вследствие пластических деформаций.

# ПРЕДЕЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

- *Пределные состояния первой группы характеризуются исчерпанием несущей способности или пригодностью конструкций к эксплуатации из-за потери устойчивости формы или положения, любого характера разрушения, качественного изменения конфигурации, резонансных колебаний или перехода в состояние, при котором возникает необходимость прекращения эксплуатации в результате текучести материала, сдвигов в соединениях, ползучести или чрезмерного раскрытия трещин.*



# ПРЕДЕЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

**Пределные состояния второй группы** – непригодностью к нормальной эксплуатации вследствие появления чрезмерных деформаций (прогибов, осадок, углов поворота и углов перекоса), колебаний, трещин и т.п.

Основным условием надежности строительных объектов являются выполнения требований (критериев) для всех учитываемых предельных состояний при действии наиболее неблагоприятных сочетаний расчетных нагрузок в течение расчетного срока службы.

# ПРЕДЕЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

**Цель расчета по предельным состояниям** – не допустить возможности наступления того или иного предельного состояния для конструкции в целом и отдельных ее частей в период изготовления, транспортировки и монтажа и эксплуатации. Расчет по несущей способности необходим для всех несущих конструкций, а по деформациям и образованию или раскрытию трещин – только для конструкций, в которых чрезмерные деформации, образование или значительное раскрытие трещин возможны и могут привести к потере эксплуатационных качеств, когда прочность еще не исчерпана.

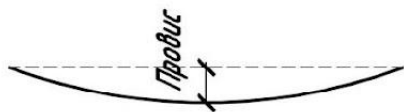
# КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ

Конструктивный расчет заключается в выборе материала, установлении рациональной формы элемента и размеров его сечения, выборе марки камня, класса и марки бетона и арматуры, количества и схемы размещения арматуры и т.д. Конструктивный расчет в подавляющем большинстве случаев производится по методу предельных состояний: по несущей способности (предельные состояния первой группы) и по пригодности к нормальной эксплуатации (предельные состояния второй группы).

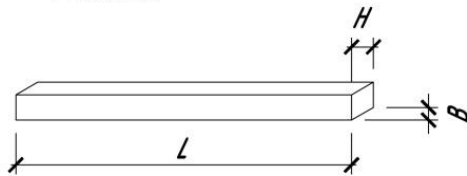


# ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

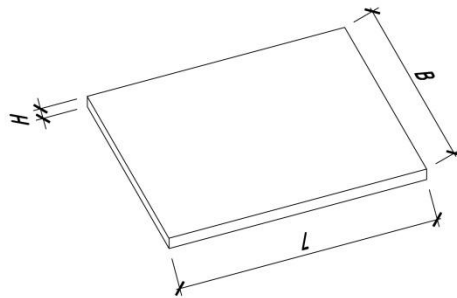
**НИТЬ** – податливый элемент, диаметр (толщина), которого мал по сравнению с длиной, провис ничтожно мал по сравнению с длиной)



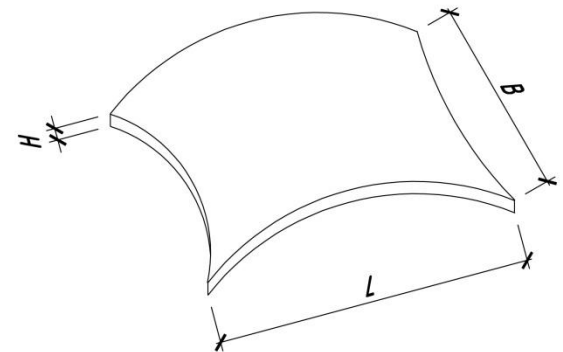
**СТЕРЖЕНЬ (БРУС, БАЛКА)** – элемент, размеры поперечного сечения которого малы по сравнению с длиной



**ПЛАСТИНА (ДИСК, ПЛИТА)** – плоский элемент, толщина которого мала по сравнению с шириной и длиной



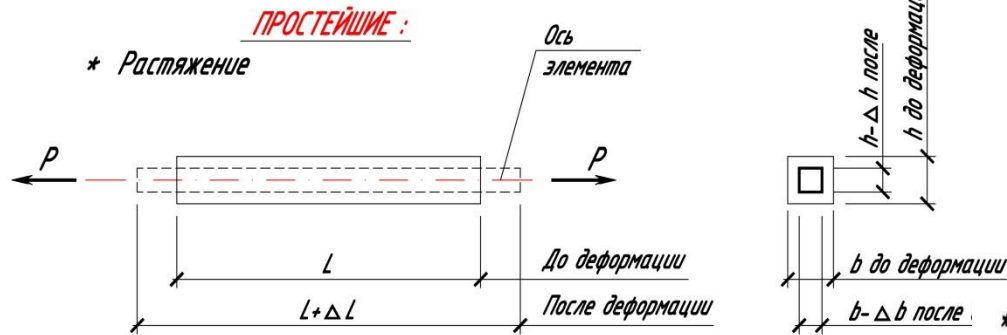
**ОБОЛОЧКА** – пространственно изогнутая пластина



**МАССИВ** – все три размера элемента величины одного порядка

# НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОЕ СОСТОЯНИЕ. РАСТЯЖЕНИЕ.

## 2.3. Виды деформаций.



\* На растяжение в основном работают :

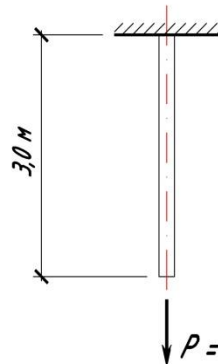
$\Delta L$  - перемещение (удлинение)  
 $\sigma$  - напряжение, КПа; МПа  
 $A$  - площадь  
 $E$  - модуль деформации

$$\sigma = \frac{N}{A} < [\sigma]$$

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

- подвески;
- элементы ферм;
- нити (канаты), ванты;

Например :

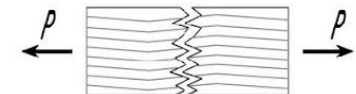


Подвеска сечением ■ 20x20 ,  
 $A = 2 \times 2 = 4 \text{ см.кв.}$   
 $E = 2,06 \times 10^5 \text{ МПа}$

$$P = 3 \times 6 \times 10 = 180 \text{ кН} \quad (\text{Часть перекрытия площадью } 3 \times 6 \text{ м})$$

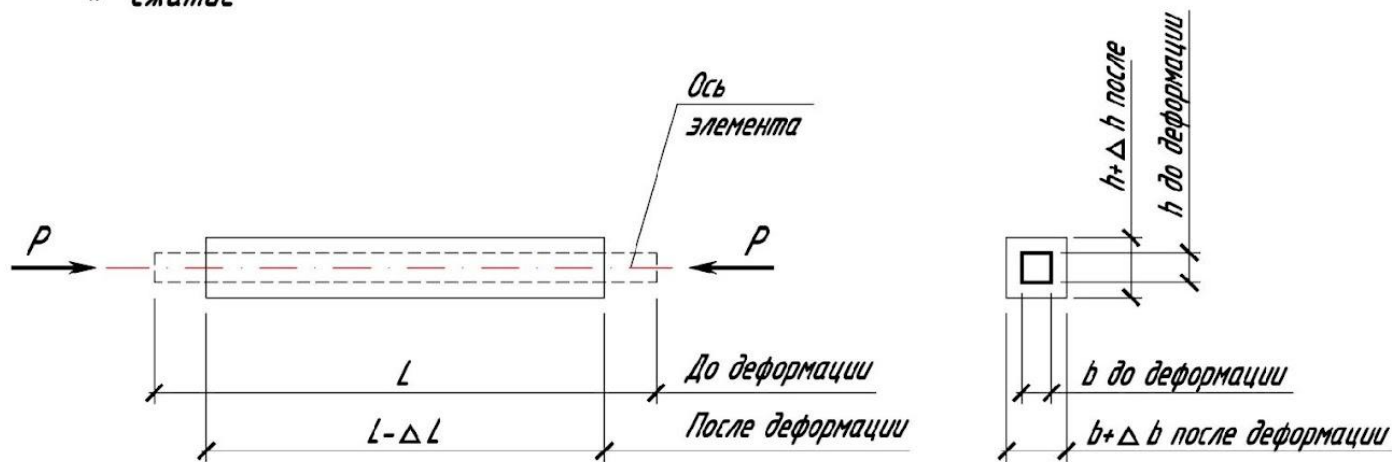
$$\Delta L = \frac{180 \times 3 \times (100)}{2,06 \times 10^4 \times 4} = 0,66 \text{ см}$$

Виды разрушения : обрыв, разрыв части нитей.



# НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОЕ СОСТОЯНИЕ. СЖАТИЕ.

\* Сжатие



$\varphi$  - коэффициент продольного изгиба ( $0 \leq \varphi \leq 1$ )

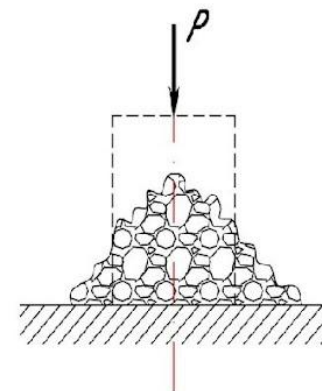
$A$  - площадь

$E$  - модуль деформации

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A} < [\sigma]$$

\* На сжатие в основном работают :

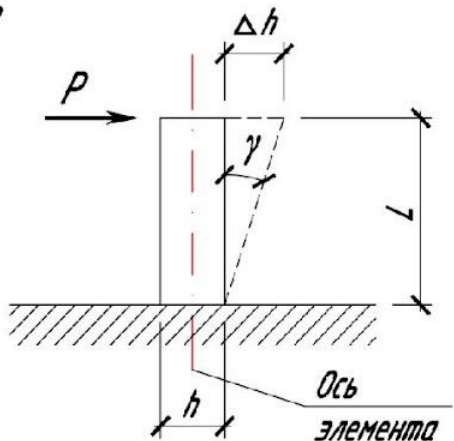
- стойки (колонны);
- элементы ферм;
- своды, оболочки;
- арки;





# НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОЕ СОСТОЯНИЕ. СДВИГ.

\* Сдвиг



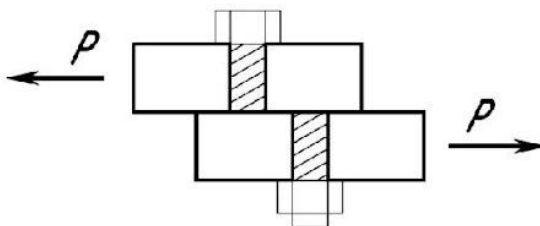
$$T = \frac{Q}{A} < [T]$$

$$h = \operatorname{tg} \gamma * L$$

\* На сжатие в основном работают элементы соединения :

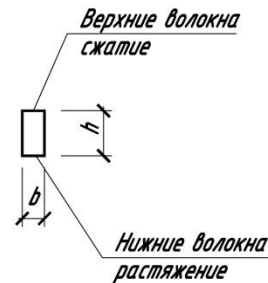
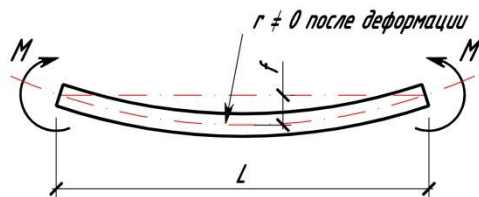
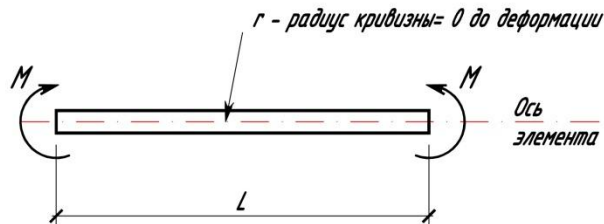
- врубки;
- болты, заклепки;
- сварное соединение;
- короткие колонны;

Виды разрушения : срез, скалывание



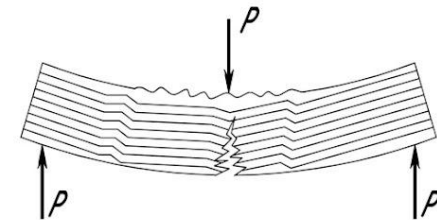
# НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОЕ СОСТОЯНИЕ. ИЗГИБ.

## \* Изгиб



$f$  - прогиб (перемещение)

## Виды разрушения : излом



\* На изгиб в основном работают :

- балки;
- арки, рамы;

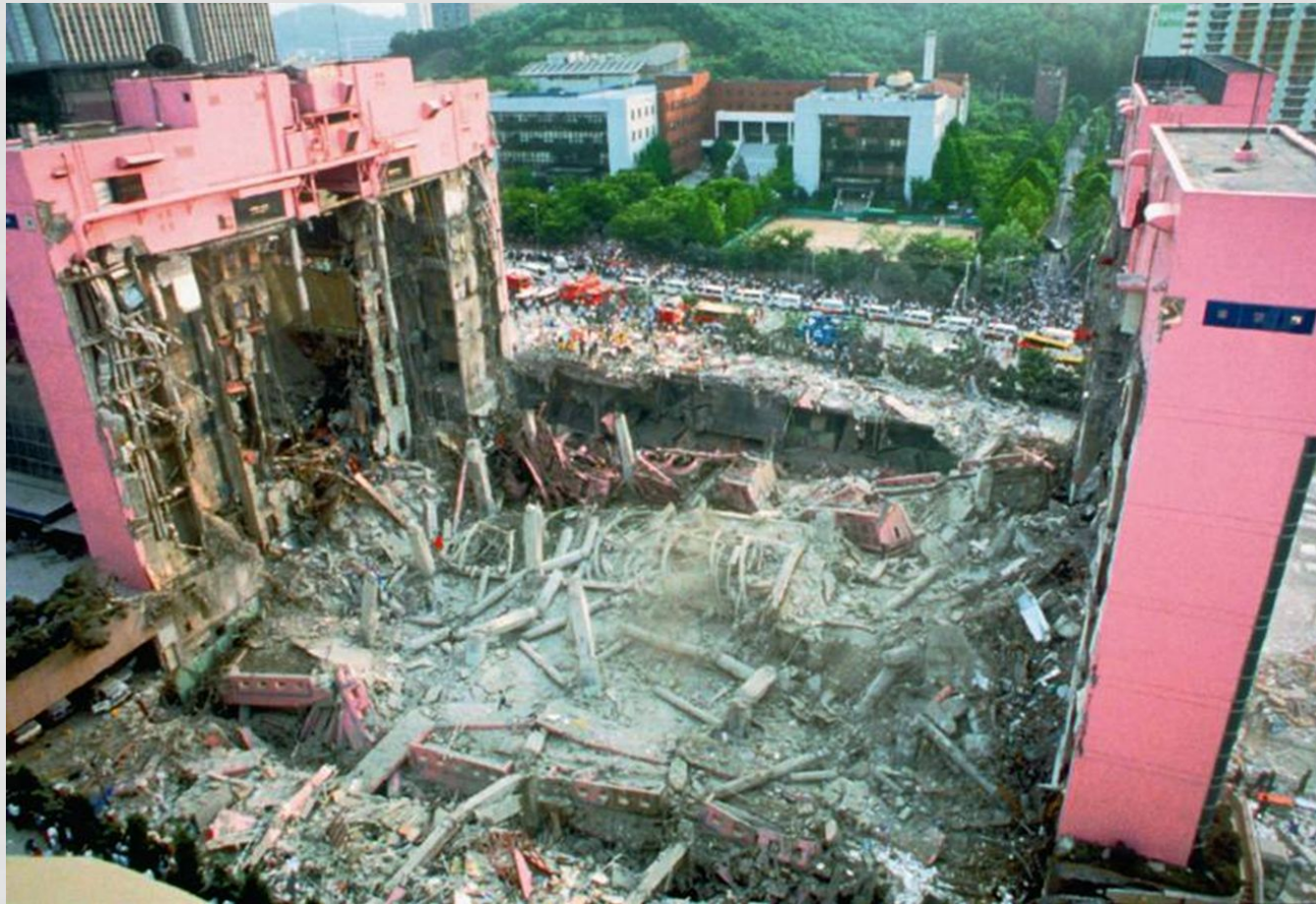
$$\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma] \quad f = \pm \frac{M''}{E \cdot J}$$

$M$  - изгибающий момент;

$W$  - геометрическая характеристика сечения - момент сопротивления сечения относительно оси;

$J$  - геометрическая характеристика сечения - момент инерции сечения относительно оси;

# РАЗРУШЕНИЯ





# РАЗРУШЕНИЯ



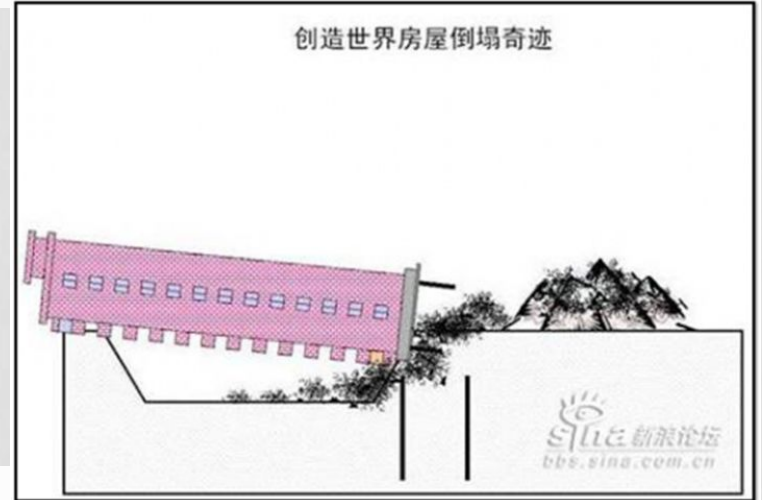


# РАЗРУШЕНИЯ





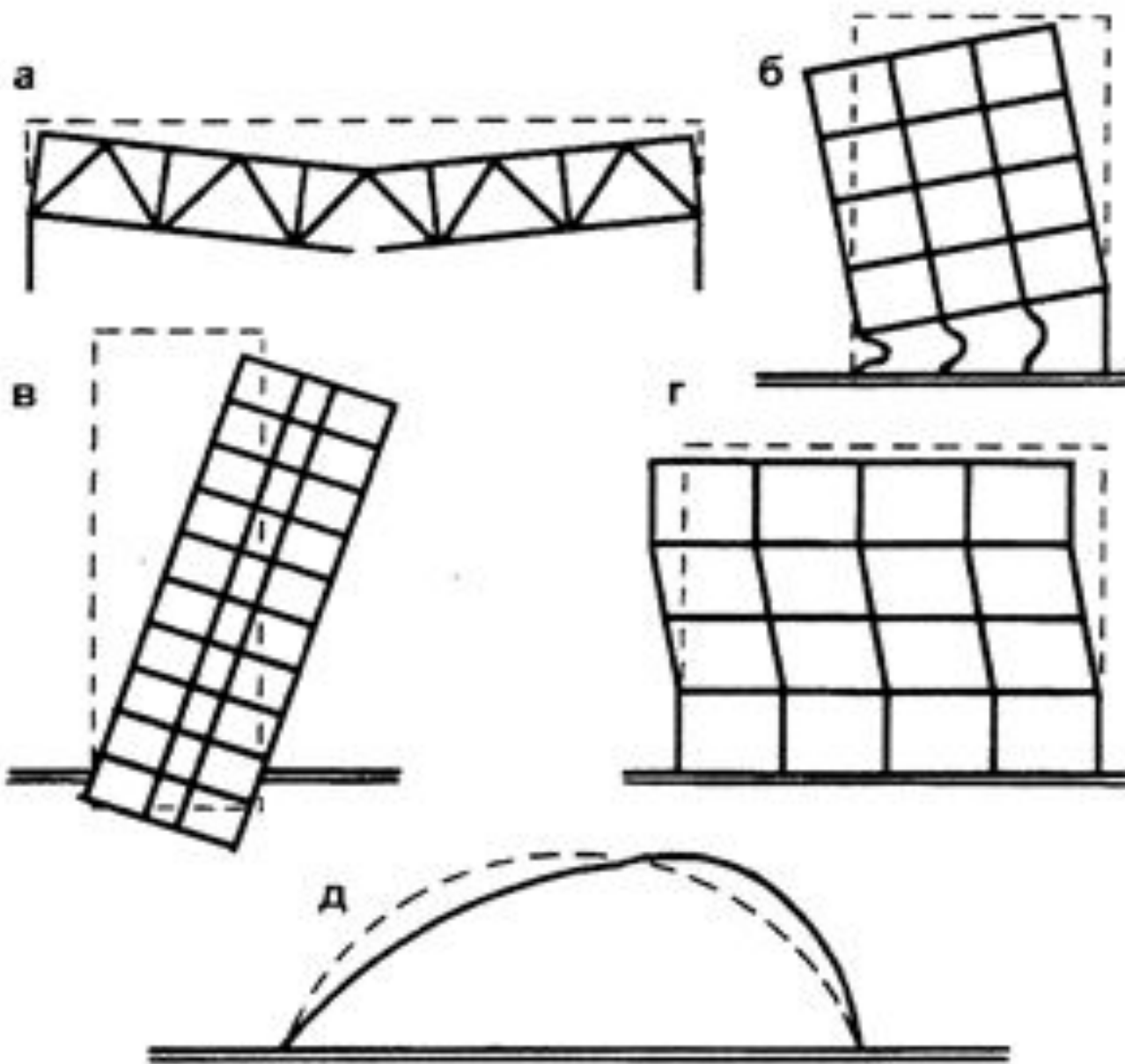
# РАЗРУШЕНИЯ



# РАЗРУШЕНИЯ







**Условие расчета по первой группе предельных состояний в общем виде можно выразить так:**

$$N(\rho_{n'}, \gamma_{n'}, \gamma_f) < F_u(R_{n'}, A, \gamma_m, \gamma_d),$$

где:  $N$  - усилие в сечении от наиболее невыгодного сочетания нагрузок (нормальная сила, изгибающий момент и др.), зависящее от метода расчета, коэффициентов надежности по нагрузке и надежности по ответственности;

$F_u$  - наименьшая несущая способность сечения, зависящая от нормативного сопротивления материала, геометрических размеров сечения, коэффициентов надежности по материалу и коэффициентов условий работы.

**При расчетах по второй группе  
пределных состояний общая расчетная  
формула имеет вид:**

$$f \leq f_u$$

где:  $f$  - расчетное значение деформации или перемещения с учетом пластических свойств материалов и длительности действия нагрузки;  
 $f_u$  - соответствующее предельное значение, установленное нормами и гарантирующее нормальную эксплуатацию.

# РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ

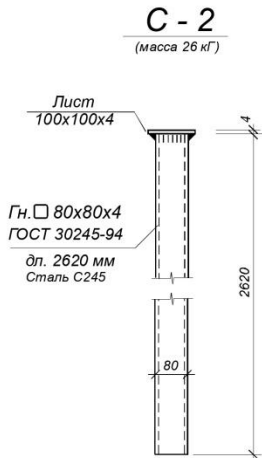
**Расчетная схема конструкции** – это упрощенное изображение ее несущей и опорной систем. Стержни на расчетной схеме показывают в виде их центральных линий, пластины – в виде их срединных поверхностей, реальные опоры – в виде условных изображений. Расчетная схема учитывает только основные параметры конструкции: формы и размеры отдельных ее элементов, характер взаимодействия между ними, значение, расположение и характер нагрузок. Второстепенные свойства конструкции при этом не учитываются.



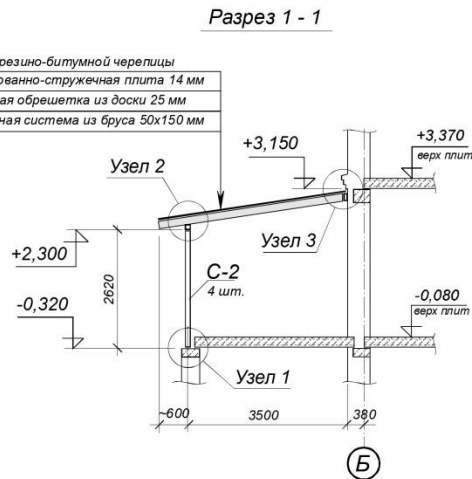
# АЛГОРИТМ РАСЧЕТА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.

1. **Выбор расчетной схемы** – исследование заданной системы, принятие решений о назначении расчетной схемы наиболее отвечающей заданным условиям, уточнение опорных и соединительных узлов.
2. **Сбор нагрузки** – определение видов и типов нагрузки действующей на конструкцию, назначение коэффициентов условия работ по виду нагрузки и назначению конструкций и материалов, расчет поверхностной, погонной и точечной нагрузки. Сочетания нагрузки.
3. **Статический расчет** – определение внутренних усилий ( $M$  – изгибающий момент,  $Q$  – поперечная сила,  $N$  – продольная сила) в опасных сечениях расчетной схемы по правилам теоретической механики вручную или при помощи программного обеспечения на ПЭВМ.
4. **Подбор сечения** элемента конструкции – выбор материала конструкции, выбор формы поперечного сечения, определение требуемых геометрических характеристик сечения.
5. **Проверки** – по прочности, жесткости и устойчивости элемента конструкции.

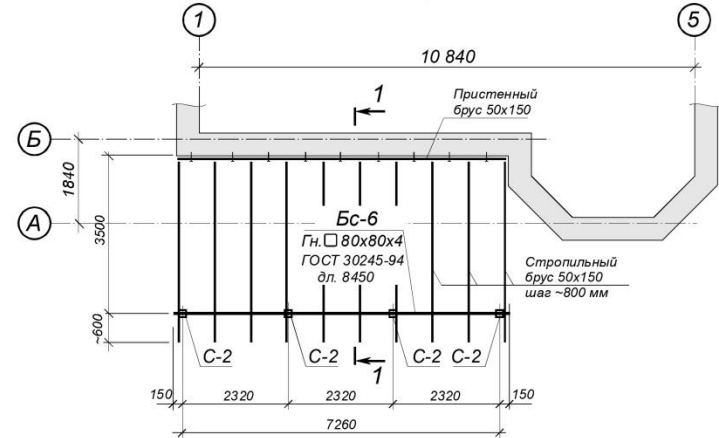




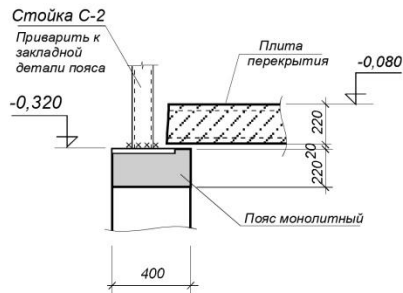
Кровля из резино-битумной черепицы  
Ориентированно-стружечная плита 14 мм  
Разреженная обрешетка из доски 25 мм  
Стропильная система из бруса 50x150 мм



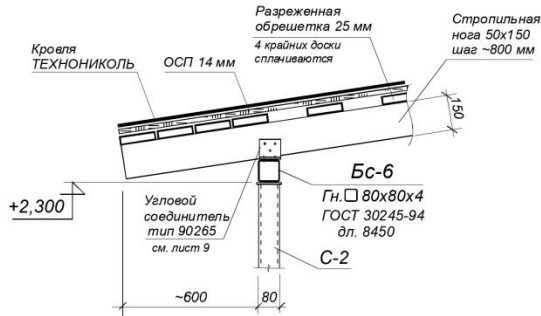
**Схема расположения элементов навеса по оси "Б"**  
шаг стропил ~800 мм



1



2



3



**Примечания.**

- Все деревянные элементы навеса (кроме оговоренных) запроектированы из бруса 50x150 мм. Шаг стропил принят ~800 мм.
- Древесина для элементов навеса должна отвечать требованиям ГОСТ 8486-86 и должна быть не ниже 2-го сорта и влажностью не более 22%.
- Расход материалов (в деле):  
Брус 50x150 - 0,5 м3  
Доска толщ. 25 мм - 0,6 м3  
Ориентированно-стружечная плита (ОСП) 12 мм - 33 м2.  
Площадь кровли - 33 м2.
- При заготовке материалов к указанному расходу рекомендуется добавлять 5% на отбраковку и отходы.
- Стальные элементы навеса огрунтовать грунтовкой ПФ-0142 по ТУ 6-10-1698-78.

Изм	Кол.уч	Лист	№ док	Подпись	Дата	Стадия	Лист	Листов
Приняла	Золотарева Л.А.						2	
Выполнила	Бергман А.							
Схема расположения элементов навеса по оси "Б"								

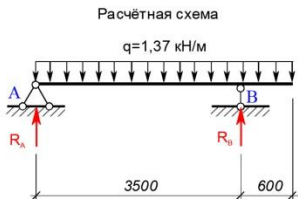
## Сбор нагрузок на 1м<sup>2</sup> горизонтальной проекции кровли навеса

Вид нагрузки и расчёт	Нормативная нагрузка, кПа $q_n$	Коэффициент надёжности $\gamma_f$	Расчётная нагрузка, кПа $q$
<b>1. Постоянная:</b>			
Гибкая черепица Технониколь трёхслойная - 25 кг/м <sup>2</sup>	0,25	1,2	0,3
Ориентированно-стружечная плита 12 мм - 650 кг/м <sup>3</sup>	0,078	1,1	0,086
Обрешетка из доски 25 мм (разрезана на 50 %)	0,063	1,1	0,069
Брус стропильный 50x150 мм с шагом 0,8 м	0,047	1,1	0,052
<b>Итого постоянная:</b>	<b>0,438</b>		<b>0,507</b>
<b>2. Временная:</b>			
Табл. 10.1 [1] (II снеговой район)	0,86	1,4	1,2
<b>Общая нагрузка:</b>	<b>1,298</b>		<b>1,707</b>

### Подбор сечения стропильной ноги

Стропильную ногу рассчитываем как горизонтальную балку пролётом 3,5 м.

При шаге стропильных ног 800 мм погонная нагрузка составит  $0,8 \cdot 1,707 = 1,37$  кН/м



#### Опорные реакции.

$$\Sigma M_A = 0; R_B = (1,37 \cdot 4,1^2 / 2) / 3,5 = 3,3 \text{ кН}$$

$$\Sigma M_B = 0; R_A = (1,37 \cdot 3,5^2 / 2 - 1,37 \cdot 0,6^2 / 2) / 3,5 = 2,3 \text{ кН}$$

Приравняв поперечную силу  $Q=0$ , определим расстояние  $x$ , где изгибающий момент имеет максимальное значение.

$$\Sigma P_{x_{\max}} = 0; R_A - 1,37 \cdot x = 0; x = 2,3 / 1,37 = 1,68 \text{ м.}$$

Изгибающий момент на расстоянии 1,68 м от опоры А:

$$M_{\max} = 2,3 \cdot 1,68 - 1,37 \cdot 1,68^2 / 2 = 1,93 \text{ кНм}$$

Стропильные ноги из древесины 2-го сорта с допустимым напряжением  $[\sigma] = 13$  МПа (по табл. 3 [2])

Сечение прямоугольное. Требуемый момент сопротивления  $W_x = M_{\max} / [\sigma] = 1,68 \cdot 10^3 / 13 \cdot 10^4 = 130 \text{ см}^3$

Для прямоугольного сечения  $W_x = b \cdot h^2 / 6 = 130 \text{ см}^3$ ; задаёмся шириной сечения  $b = 5$  см и получим высоту сечения  $h = \sqrt{130 \cdot 6 / 5} = 12,5$  см.

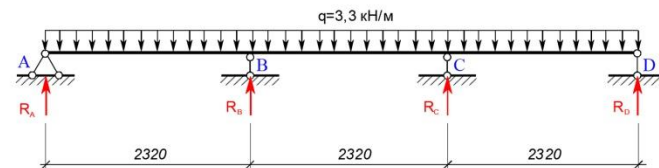
По сортаменту пиломатериалов (ГОСТ 24454-80\*) назначаем сечение стропильных ног 50 x 150 мм

### Подбор сечения балки Бс-6

Нагрузкой для балки Бс-6 является опорная реакция стропильных ног  $R_B = R_C = 3,3$  кН.

Шаг стропильных ног составляет 0,8 м поэтому нагрузку представим как равномерно-распределённую  $q = 3,3$  кН/м

#### Расчётная схема



Максимальные опорные реакции  $R_B = R_C = 3,3 \cdot 2,32 = 7,7$  кН

Максимальный изгибающий момент будет на опорах В и С и вычисляется по таблице 5, схема 9 [4].

$$M_B = M_C = 0,1 \cdot 3,3 \cdot 2,32^2 = 1,8 \text{ кНм}$$

Балка из стали с допустимым напряжением  $[\sigma] = 240$  МПа (по табл. 51 [3])

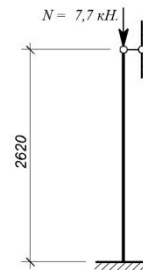
Требуемый момент сопротивления  $W_x = M_{\max} / [\sigma] = 1,8 \cdot 10^3 / 240 \cdot 10^4 = 7,5 \text{ см}^3$

По эстетическим соображениям балка запроектирована из квадратной трубы 80x80x4 ГОСТ 30245-94  $W_x = 28,8 \text{ см}^3$

### Подбор сечения стойки С-2

Нагрузкой  $N$  для стойки С-2 является опорная реакция балки  $R_B = R_C = 7,7$  кН.

#### Расчётная схема



Требуемая площадь поперечного сечения стойки

$$A = N / [\sigma] = 7,7 / 240 \cdot 10^4 = 0,32 \text{ см}^2$$

По эстетическим соображениям стойка запроектирована из квадратной трубы 80x80x4 ГОСТ 30245-94  $A = 12,2 \text{ см}^2$ ;  $i = 3,07$  см.

Расчётная длина по таб. 71"а" [3]  $l_0 = 0,7 \cdot 2,62 = 1,83$  м.

Гибкость стойки.  $\lambda = l_0 / i = 1,83 \cdot 10^3 / 3,07 = 59,6$ ;

Коэффициент продольного изгиба по таблице 72 [3]  $\varphi = 0,805$

Допустимая гибкость по таб. 19\* [3]

$\lambda = 180 - 60 \alpha = 180 - 60 \cdot 0,5 = 150 > 59,6$  - устойчивость обеспечена.

### Литература

1. СНиП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия"
2. СНиП II-25-80 "Деревянные конструкции"
3. СНиП II-23-81\* "Стальные конструкции"
4. Серия Е-601 "Справочные данные для расчёта балок"



## Сбор нагрузок на 1 м<sup>2</sup> покрытия и перекрытия.

№№ п/п	Наименование нагрузки и формула подсчета	Норм. нагрузк кг/м <sup>2</sup>	Коэф-т надежн .	Расчетная нагрузка кг/м <sup>2</sup>
	<u>А. Постоянная</u>			
1.	Полимерная мембрана LOGICROOF V-RP, СТО 72746455-3.4.1-2013 $\delta = 5\text{мм}$ $\gamma = 2200\text{ кг/м}^3$ $0,005 \times 2200 =$	11	1,2	13,2
2.	Лист ОСП – 3 $\delta = 12\text{мм}$ $\gamma = 700\text{ кг/м}^3$ $0,012 \times 700 =$	8,4	1,2	10,08
3.	Обрешетка брус 50 x 50 шаг 500 $0,1 \times 900 / 10 =$	9	1,1	9,9
4.	СИП панель $t=174\text{мм}$ : 2 листа ОСП – 3 $\delta = 12\text{мм}$ $\gamma = 700\text{ кг/м}^3$ $2 \times 0,012 \times 700 =$ Теплоизоляция – Rockwool light $\delta = 150\text{мм}$ $\gamma = 50\text{ кг/м}^3$ $0,15 \times 50 =$	16,8 7,5	1,2 1,2	20,16 9,0
5	Паробарьер С – ECOPLAST M-RP $\delta = 3\text{мм}$ $\gamma = 1700\text{ кг/м}^3$ $0,003 \times 1700 =$	5,1	1,2	6,12
6.	Собственный вес несущей балки 50x150 шаг 600 мм $0,15 \times 900 / 20 =$	6,75	1,1	7,43
	<b>Итого: <math>g_1 =</math></b>	64,55	-	76,99
	<u>Б. Временная</u>			
7.	Снеговая I район (г. Сочи) $p =$	85,7	1,4	120
8.	Подшивной потолок ГКЛ 2 слоя $\delta = 13\text{мм}$ $\gamma = 1300\text{ кг/м}^3$ $2 \times 0,012 \times 1300 =$	31,2	1,2	37,44
9.	Собственный вес инженерного оборудования $v =$	35	1,2	42
	<b>Итого: <math>v =</math></b>	151,9	-	199,44
	<b>ВСЕГО: <math>g_1 + v =</math></b>	216,45	-	276,43

