

*Проект*  
*Ангар 12 м х 18 м*

*Расчет нагрузок и подбор сортамента*

*Район ветровой нагрузки -2*  
*Снеговой Район -3*

*Санкт -Петербург*  
*2015 г.*

Покрытие стен «Профнастил С8 ГОСТ 24045-94», толщина листа 0,5 мм.

Покрытие кровли «Профнастил НС35 и НС35-1000 ГОСТ 24045-94 \*»

Нормативная масса  $1\text{м}^2 = 4,7 \text{ кг/м}^2$

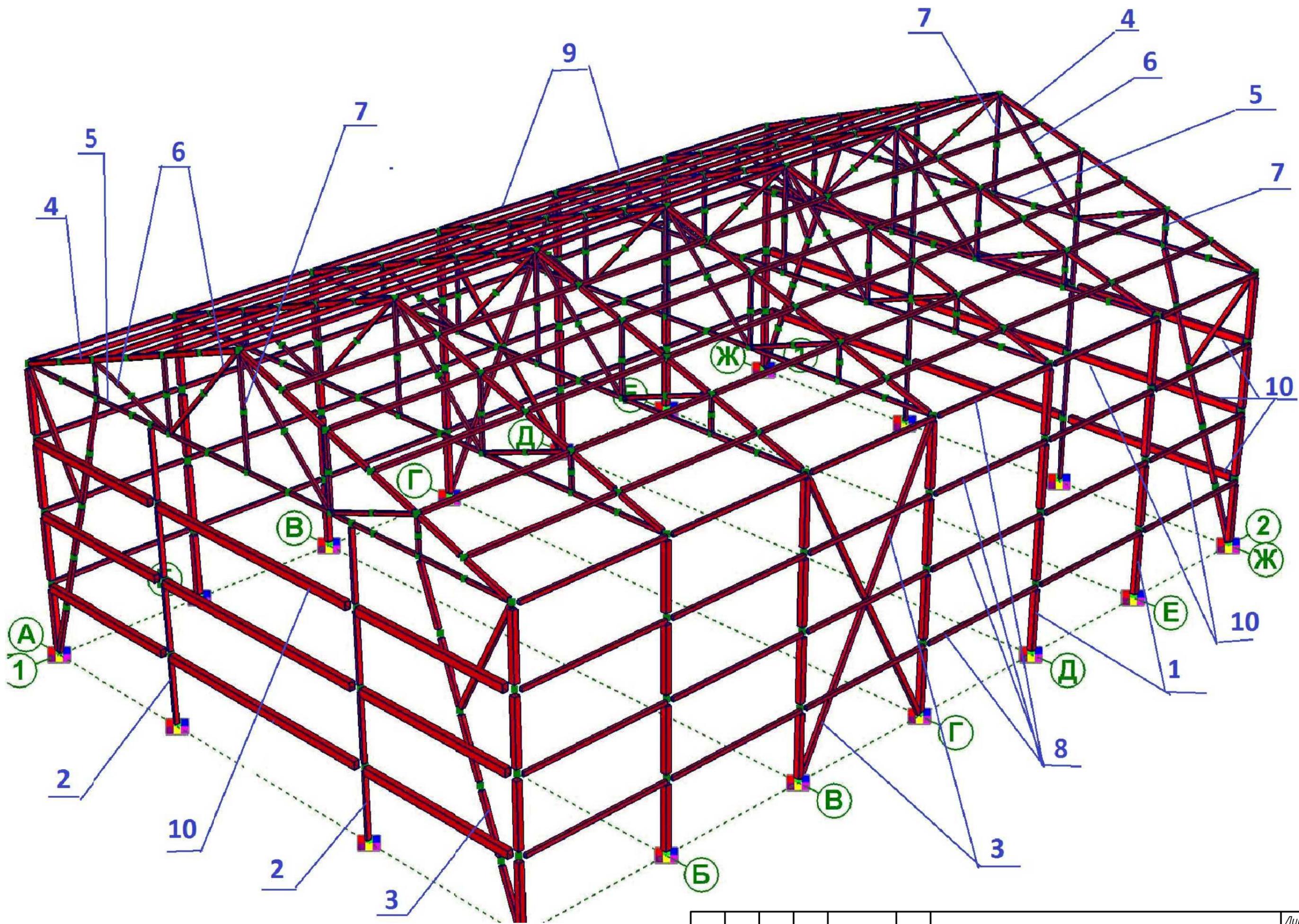
Расчётная нагрузка  $1\text{м}^2 = 4,7 \times 1,1 = 5,2 \text{ кг/м}^2$ .

Собственный вес конструкции = 5,864 т

Средний вес на опору = 0,4 т

Расчетная снеговая нагрузка = 0,180 т/м<sup>2</sup>

Расчетный средний вес на опору со снеговой нагрузкой = 2,437т



Инв. № подл. Подл. и дата. Взам. инв. №

Изм.	К. уч.	Лист	№ док	Подп.	Дата

Ангар 12 x 18

Лист

## Результаты подбора.

### Марка стали на весь сортамент - С285.

#### Группы конструктивных элементов

##### Группа Стойки несущие

Конструктивный элемент	Группа унификации	Исходное сечение	Результат подбора
1	Стойки несущие	Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили по ГОСТ 30245-2003 100x4	Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили по ГОСТ 30245-2003 100x4

##### Группа Стойки самонесущие

Конструктивный элемент	Группа унификации	Исходное сечение	Результат подбора
2	Стойки самонесущие	Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003 80x40x3	Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003 80x40x3.5

##### Группа Элементы пространственной жёсткости

Конструктивный элемент	Группа унификации	Исходное сечение	Результат подбора
3	Элементы пространственной жёсткости	Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003 80x40x3	Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003 80x60x2

##### Группа Верхний пояс фермы

Конструктивный элемент	Группа унификации	Исходное сечение	Результат подбора
4	ВП фермы	Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003 80x40x3	Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003 80x60x4.5

##### Группа Нижний пояс фермы

Конструктивный элемент	Группа унификации	Исходное сечение	Результат подбора
5	НП фермы	Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003 80x40x3	Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003 60x40x4

##### Группа Раскосы фермы

Конструктивный элемент	Группа унификации	Исходное сечение	Результат подбора
6	Раскосы фермы	Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003 80x40x3	Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003 50x30x2.5

##### Группа Стойки ферм

Конструктивный элемент	Группа унификации	Исходное сечение	Результат подбора
7	Стойки ферм	Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003 80x40x3	Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003 50x30x2.5

Группа Прогоны стены 6х3=18 м

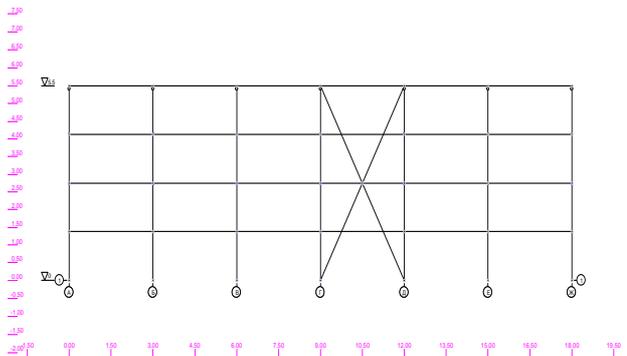
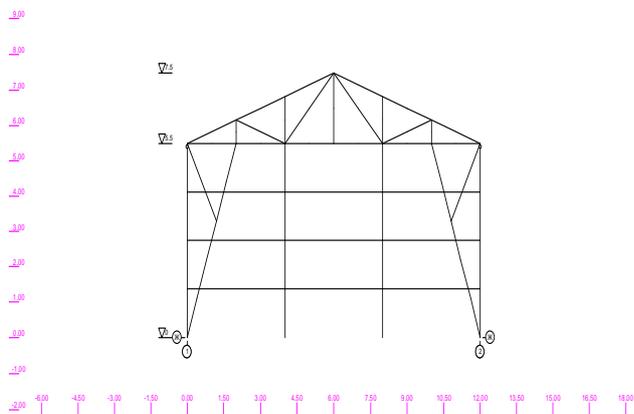
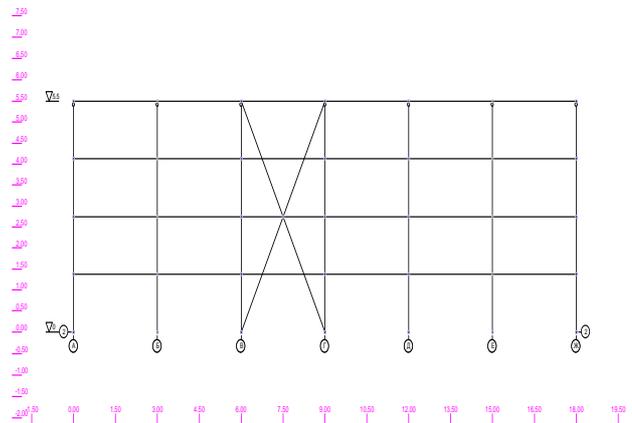
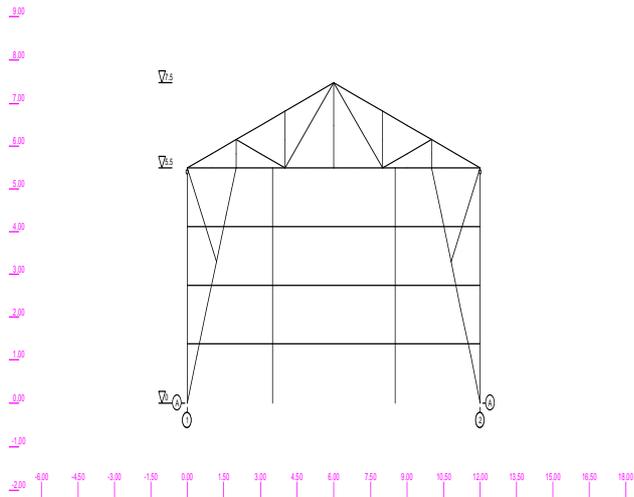
Конструктивный элемент	Группа унификации	Исходное сечение	Результат подбора
8	Прогоны стены 6х3=18 м	Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003 60х30х3	Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003 60х40х3.5

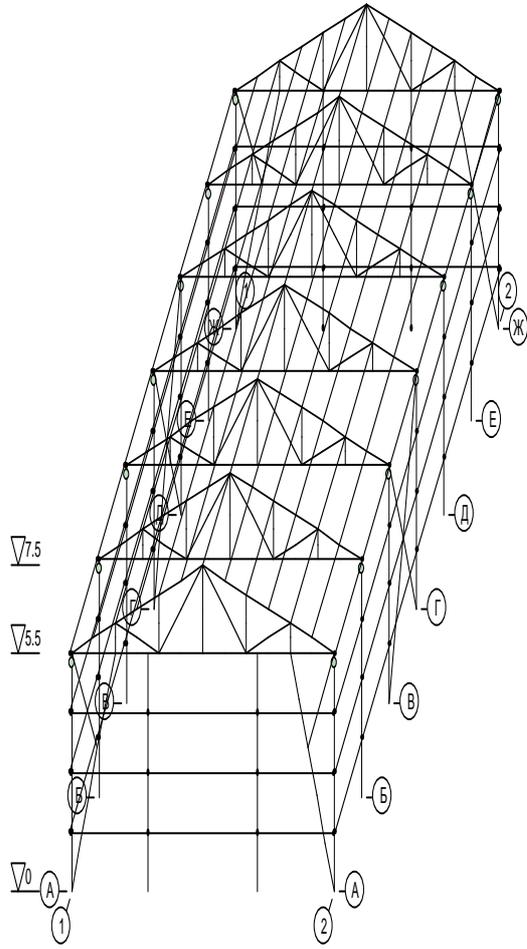
Группа Прогоны крыши

Конструктивный элемент	Группа унификации	Исходное сечение	Результат подбора
9	Прогоны крыши	Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003 60х30х3	Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003 70х50х2.5

Группа Прогоны стены 12 м

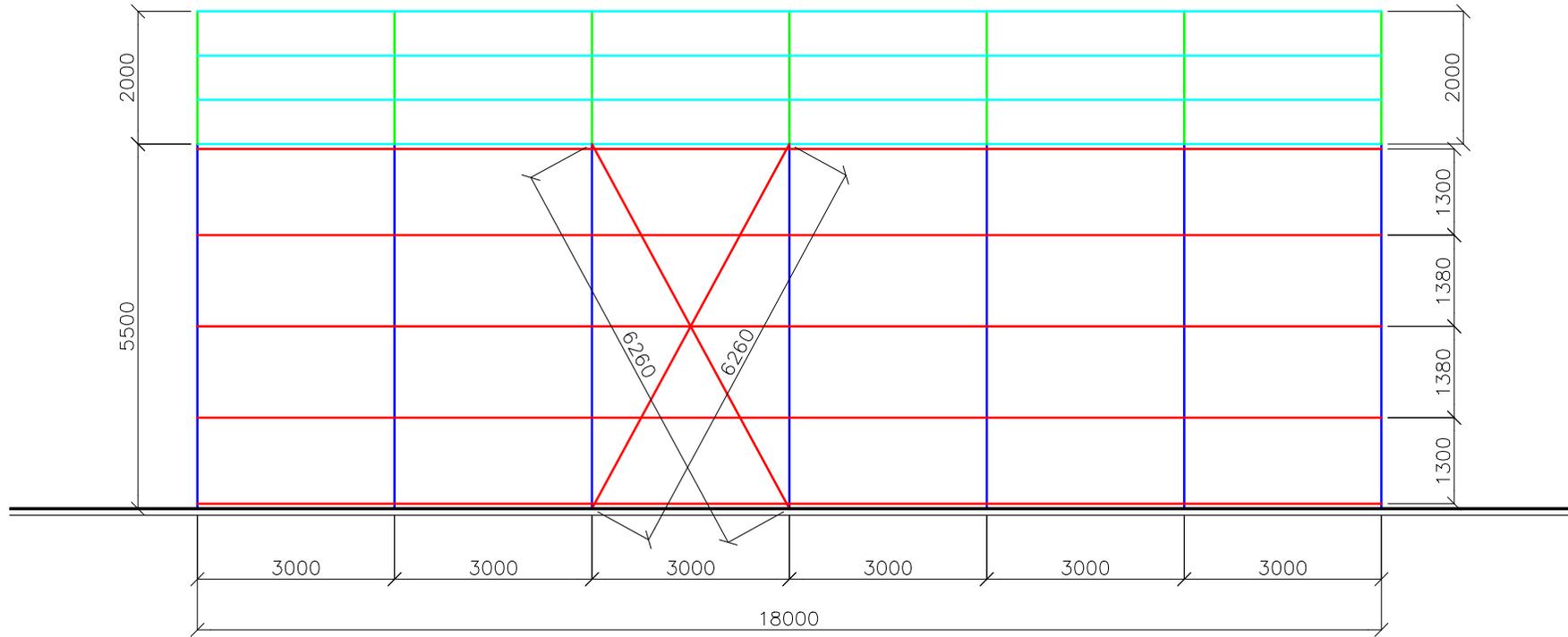
Конструктивный элемент	Группа унификации	Исходное сечение	Результат подбора
10	Прогоны стены 12 м	Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003 60х30х3	Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003 120х60х3





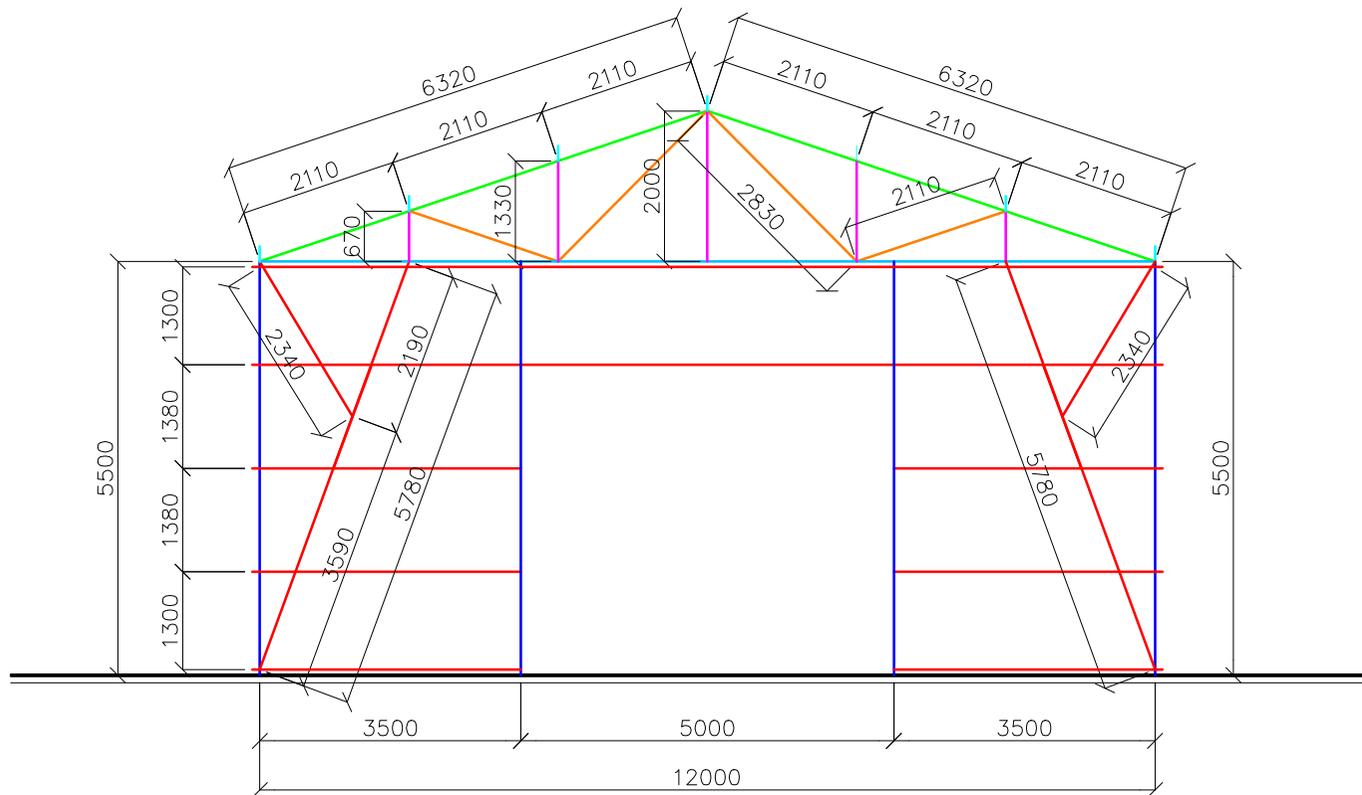


Боковой вид ангара  
 М 1: 100



Изм.	Кол.	№ документа	Подпись	Дата	Боковой вид ангара	Лист
	Разработал					

## Торец ангара (с воротами)



Изм.	Кол.	№ документа	Подпись	Дата	Торец ангара (без ворот)	Лист
	Разработал					
						3

## **Пояснительная записка**

### **Краткая характеристика методики расчета**

В основу расчета положен метод конечных элементов с использованием в качестве основных неизвестных перемещений и поворотов узлов расчетной схемы. В связи с этим идеализация конструкции выполнена в форме, приспособленной к использованию этого метода, а именно: система представлена в виде набора тел стандартного типа (стержней, пластин, оболочек и т.д.), называемых конечными элементами и присоединенных к узлам.

Тип конечного элемента определяется его геометрической формой, правилами, определяющими зависимость между перемещениями узлов конечного элемента и узлов системы, физическим законом, определяющим зависимость между внутренними усилиями и внутренними перемещениями, и набором параметров (жесткостей), входящих в описание этого закона и др.

Узел в расчетной схеме метода перемещений представляется в виде абсолютно жесткого тела исчезающе малых размеров. Положение узла в пространстве при деформациях системы определяется координатами центра и углами поворота трех осей, жестко связанных с узлом. Узел представлен как объект, обладающий шестью степенями свободы - тремя линейными смещениями и тремя углами поворота.

Все узлы и элементы расчетной схемы нумеруются. Номера, присвоенные им, следует трактовать только, как имена, которые позволяют делать необходимые ссылки.

Основная система метода перемещений выбирается путем наложения в каждом узле всех связей, запрещающих любые узловые перемещения. Условия равенства нулю усилий в этих связях представляют собой разрешающие уравнения равновесия, а смещения указанных связей - основные неизвестные метода перемещений.

В общем случае в пространственных конструкциях в узле могут присутствовать все шесть перемещений:

- 1 - линейное перемещение вдоль оси X;
- 2 - линейное перемещение вдоль оси Y;
- 3 - линейное перемещение вдоль оси Z;
- 4 - угол поворота с вектором вдоль оси X (поворот вокруг оси X);
- 5 - угол поворота с вектором вдоль оси Y (поворот вокруг оси Y);
- 6 - угол поворота с вектором вдоль оси Z (поворот вокруг оси Z).

Нумерация перемещений в узле (степеней свободы), представленная выше, используется далее всюду без специальных оговорок, а также используются соответственно обозначения X, Y, Z, UX, UY и UZ для обозначения величин соответствующих линейных перемещений и углов поворота.

В соответствии с идеологией метода конечных элементов, истинная форма поля перемещений внутри элемента (за исключением элементов стержневого типа) приближенно представлена различными упрощенными зависимостями. При этом погрешность в определении напряжений и деформаций имеет порядок  $(h/L)^k$ , где  $h$  — максимальный шаг сетки;  $L$  — характерный размер области. Скорость уменьшения ошибки приближенного результата (скорость сходимости) определяется показателем степени  $k$ , который имеет разное значение для перемещений и различных компонент внутренних усилий (напряжений).

### **Расчетная схема**

#### **Системы координат**

Для задания данных о расчетной схеме могут быть использованы различные системы координат, которые в дальнейшем преобразуются в декартовы. В дальнейшем для описания расчетной схемы используются следующие декартовы системы координат:

- Глобальная правосторонняя система координат XYZ, связанная с расчетной схемой
- Локальные правосторонние системы координат, связанные с каждым конечным элементом.

#### **Тип схемы**

Расчетная схема определена как система с признаком 5. Это означает, что рассматривается система общего вида, деформации которой и ее основные неизвестные представлены линейными перемещениями узловых точек вдоль осей X, Y, Z и поворотами вокруг этих осей.

#### **Количественные характеристики расчетной схемы**

Расчетная схема характеризуется следующими параметрами:

- Количество узлов — 323
- Количество конечных элементов — 532
- Общее количество неизвестных перемещений и поворотов — 1830
- Количество загрузок — 6
- Количество комбинаций загрузок — 3

### **Граничные условия**

Возможные перемещения узлов конечно-элементной расчетной схемы ограничены внешними связями, запрещающими некоторые из этих перемещений. Наличие таких связей помечено в таблице "Координаты и связи" описания исходных данных символом #.

### **Условия примыкания элементов к узлам**

Точки примыкания конечного элемента к узлам (концевые сечения элементов) имеют одинаковые перемещения с указанными узлами.

Исключения составляют стержневые элементы для которых предусмотрено наличие шарниров и/или ползунов, разрешающих угловые и/или линейные перемещения узлов и концевых сечений элементов относительно узлов расчетной схемы. Описание шарниров и ползунов приведено в таблице "Условия примыкания".

### **Характеристики использованных типов конечных элементов**

В расчетную схему включены конечные элементы следующих типов.

Стержневые конечные элементы, для которых предусмотрена работа по обычным правилам сопротивления материалов. Описание их напряженного состояния связано с местной системой координат, у которой ось  $X_1$  ориентирована вдоль стержня, а оси  $Y_1$  и  $Z_1$  — вдоль главных осей инерции поперечного сечения.

Некоторые стержни присоединены к узлам через абсолютно жесткие вставки, с помощью которых учитываются эксцентриситеты узловых примыканий. Тогда ось  $X_1$  ориентирована вдоль упругой части стержня, а оси  $Y_1$  и  $Z_1$  — вдоль главных осей инерции поперечного сечения упругой части стержня.

К стержневым конечным элементам рассматриваемой расчетной схемы относятся следующие типы элементов:

Элемент типа 5, который работает по пространственной схеме и воспринимает продольную силу  $N$ , изгибающие моменты  $M_y$  и  $M_z$ , поперечные силы  $Q_z$  и  $Q_y$ , а также крутящий момент  $M_k$ .

### **Результаты расчета**

В настоящем отчете результаты расчета представлены выборочно. Вся полученная в результате расчета информация хранится в электронном виде.

### **Перемещения**

Вычисленные значения линейных перемещений и поворотов узлов от загрузок представлены в таблице результатов расчета «Перемещения узлов».

Вычисленные значения линейных перемещений и поворотов узлов от комбинаций загрузок представлены в таблице результатов расчета «Перемещения узлов от комбинаций».

### **Правило знаков для перемещений**

Правило знаков для перемещений принято таким, что линейные перемещения положительны, если они направлены в сторону возрастания соответствующей координаты, а углы поворота положительны, если они соответствуют правилу правого винта (при взгляде от конца соответствующей оси к ее началу движение происходит против часовой стрелки).

### **Усилия и напряжения**

Вычисленные значения усилий и напряжений в элементах от загрузок представлены в таблице результатов расчета «Усилия/напряжения элементов».

Вычисленные значения усилий и напряжений в элементах от комбинаций загрузок представлены в таблице результатов расчета «Усилия/напряжения элементов от комбинаций загрузок».

Для стержневых элементов усилия по умолчанию выводятся в концевых сечениях упругой части (начальном и конечном) и в центре упругой части, а при наличии запроса пользователя и в промежуточных сечениях по длине упругой части стержня. Для пластинчатых, объемных, осесимметричных и оболочечных элементов напряжения выводятся в центре тяжести элемента и при наличии запроса пользователя в узлах элемента.

### **Правило знаков для усилий (напряжений)**

Правила знаков для усилий (напряжений) приняты следующими:

Для стержневых элементов возможно наличие следующих усилий:

$N$  - продольная сила;

$M$  - крутящий момент;

$M_Y$  - изгибающий момент с вектором вдоль оси  $Y_1$ ;

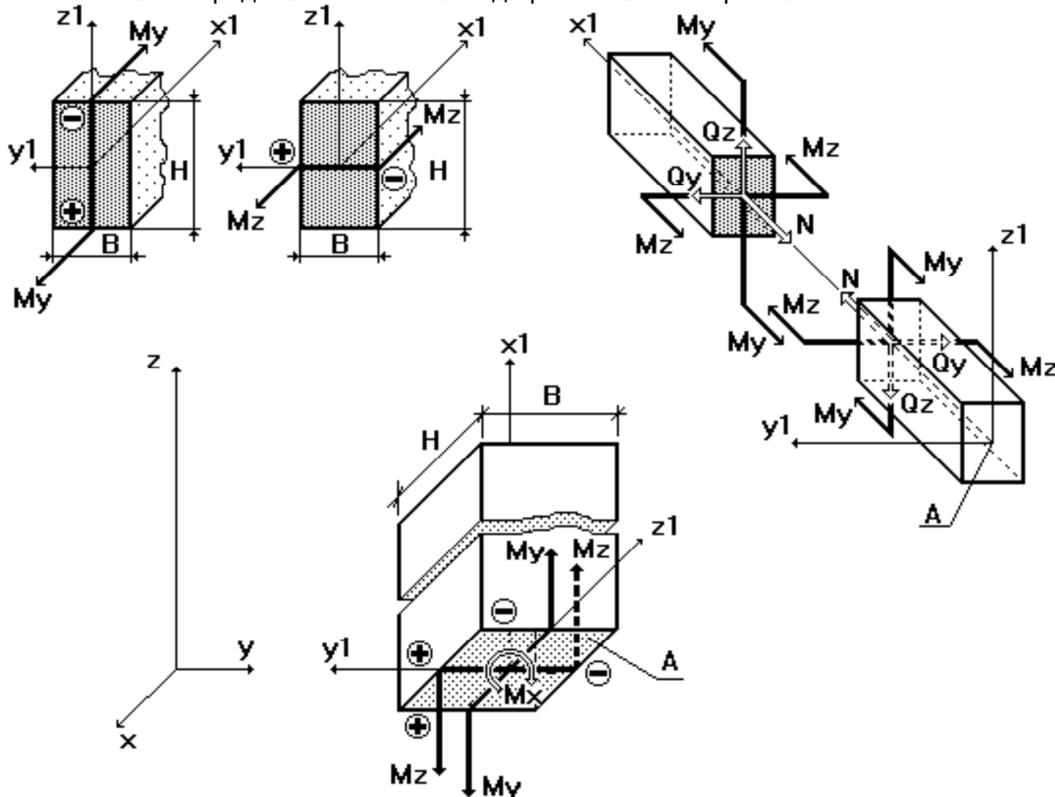
$QZ$  - перерезывающая сила в направлении оси  $Z1$  соответствующая моменту  $My$ ;  
 $MZ$  - изгибающий момент относительно оси  $Z1$ ;  
 $QY$  - перерезывающая сила в направлении оси  $Y1$  соответствующая моменту  $Mz$ ;  
 $RZ$  - отпор упругого основания.

Положительные направления усилий в стержнях приняты следующими:

для перерезывающих сил  $QZ$  и  $QY$  - по направлениям соответствующих осей  $Z1$  и  $Y1$ ;

для моментов  $Mx$ ,  $My$ ,  $Mz$  - против часовой стрелки, если смотреть с конца соответствующей оси  $X1$ ,  $Y1$ ,  $Z1$ ;

положительная продольная сила  $N$  всегда растягивает стержень.



На рисунке показаны положительные направления внутренних усилий и моментов в сечении горизонтальных и наклонных (а), а также вертикальных (б) стержней.

Знаком "+" (плюс) помечены растянутые, а знаком "-" (минус) - сжатые волокна поперечного сечения от воздействия положительных моментов  $My$  и  $Mz$ .

#### Суммарные значения приложенных нагрузок по нагружениям.

В протоколе решения задачи для каждого из нагружений указываются значения суммарной узловой нагрузки, действующей на систему.

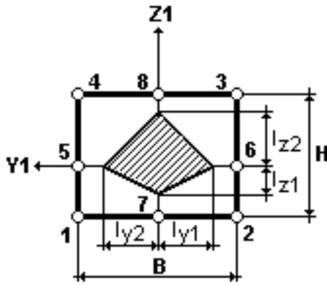
#### Расчетные сочетания усилий

Значения расчетных сочетаний усилий представлены в таблице результатов расчета «Расчетные сочетания усилий».

Вычисление расчетных сочетаний усилий производится на основании критериев, характерных для соответствующих типов конечных элементов – стержней, плит, оболочек, массивных тел. В качестве таких критериев приняты экстремальные значения напряжений в характерных точках поперечного сечения элемента. При расчете учитываются требования нормативных документов и логические связи между нагружениями.

Основой выбора невыгодных расчетных сочетаний усилий служит принцип суперпозиции. Из всех возможных сочетаний, отбираются те РСУ, которые соответствуют максимальному значению некоторой величины, избранной в качестве критерия и зависящей от всех компонентов напряженного состояния:

а) для стержней — экстремальные значения нормальных и касательных напряжений в контрольных точках сечения, которые показаны на рисунке

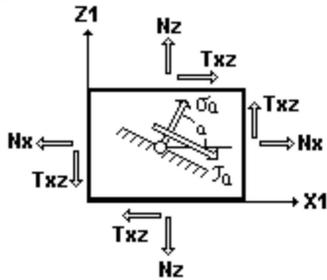


б) для элементов, находящихся в плоском напряженном состоянии — по огибающим экстремальным кривым нормальных и касательных напряжений по формулам:

$$\sigma(\alpha) = N_x \cdot \cos^2 \alpha + N_z \cdot \sin^2 \alpha + T_{xz} \cdot \sin 2\alpha ;$$

$$\tau(\alpha) = \frac{1}{2} (N_z - N_x) \cdot \sin 2\alpha + T_{xz} \cdot \cos 2\alpha .$$

Обозначения приведены на рисунке. Нормальные напряжения вычисляются в диапазоне изменения углов от  $90^\circ$  до  $-90^\circ$ , а касательные от  $90^\circ$  до  $0^\circ$ . Шаг изменения углов  $15^\circ$ .



в) для плит применяется аналогичный подход — расчетные формулы приобретают вид:

$$M(\alpha) = M_x \cdot \cos^2 \alpha + M_y \cdot \sin^2 \alpha + M_{xy} \cdot \sin 2\alpha ;$$

$$M_k(\alpha) = \frac{1}{2} (M_y - M_x) \cdot \sin 2\alpha + M_{xy} \cdot \cos 2\alpha .$$

Кроме того, определяются экстремальные значения перерезывающих сил.

г) для оболочек также применяется аналогичный подход, но вычисляются напряжения на верхней и нижней поверхностях оболочки с учетом мембранных напряжений и изгибающих усилий.

д) для объемных элементов критерием для определения опасных сочетаний напряжений приняты экстремальные значения среднего напряжения (гидростатического давления) и главных напряжений девиатора.

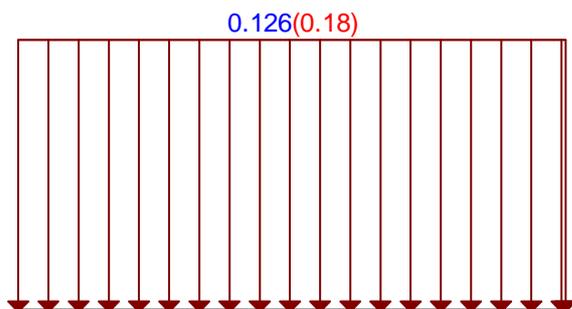
### Анализ устойчивости

Задача устойчивости решается в классической постановке для упругой системы и в предположении, что все приложенные к системе внешние нагрузки (следовательно, и внутренние силы) растут пропорционально одному и тому же параметру  $\lambda$ . То значение параметра  $\lambda$ , при котором матрица жесткости системы  $A(\lambda)$  впервые перестает быть положительно определенной, является критическим, а соответствующее значение  $\lambda$  — коэффициентом запаса устойчивости. Положительная определенность матрицы жесткости означает, что при любых значениях узловых перемещений и поворотов потенциальная энергия системы положительна, и для деформирования системы необходимо затратить энергию. В этом случае система в целом оказывает сопротивление деформированию (является отпорной). Если же система теряет устойчивость, она теряет отпорность и ее матрица жесткости становится вырожденной (с нулевым детерминантом).

# СНЕГ

Расчет выполнен по нормам проектирования "СНиП 2.01.07-85\* с изменением №2"

Параметр	Значение	Единицы измерения
<b>Местность</b>		
Снеговой район	III	
Нормативное значение снеговой нагрузки	0.126	Т/м <sup>2</sup>
Тип местности	A - Открытые побережья морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра	
Средняя скорость ветра зимой	4	м/сек
Средняя температура января	-10	°С
<b>Здание</b>		
		
Высота здания Н	7.5	м
Ширина здания В	18	м
h	1.999	м
α	18.43	град
L	12	м
Неутепленная конструкция с повышенным тепловыделением	Нет	
Коэффициент надежности по нагрузке γ <sub>f</sub>	1.429	



Единицы измерения : Т/м<sup>2</sup>

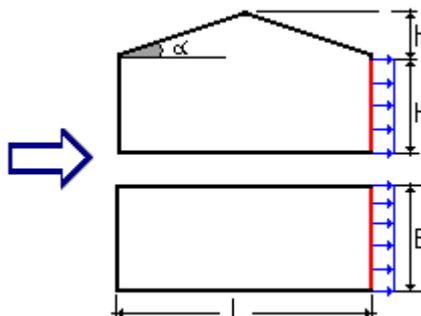
— Нормативное значение

— Расчетное значение

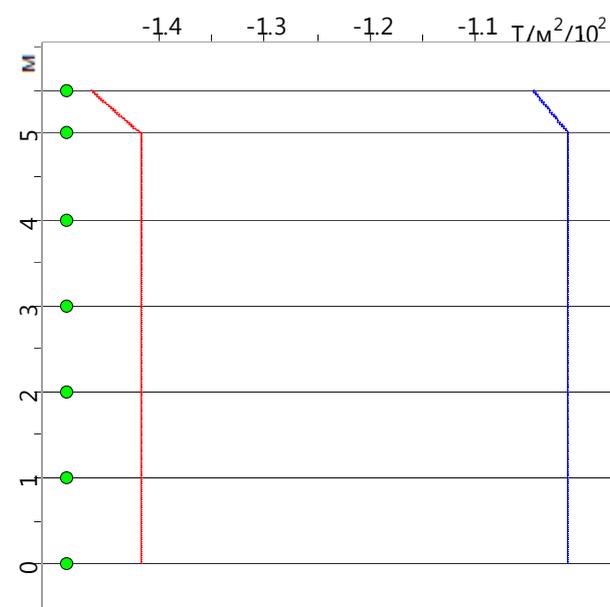
# ВЕТЕР Справа

Расчет выполнен по нормам проектирования "СНиП 2.01.07-85\* с изменением №2"

Исходные данные	
Ветровой район	II
Нормативное значение ветрового давления	0.03 Т/м <sup>2</sup>
Тип местности	A - открытые побережья морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра
Тип сооружения	Однопролетные здания без фонарей



Параметры		
Поверхность	Правая стена	
Шаг сканирования	1 м	
Коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f$	1.4	
H	5.5	м
B	18	м
h	2	м
L	12	м



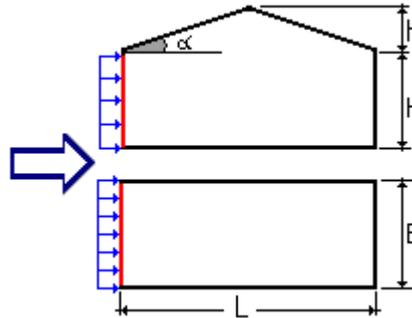
Высота (м)	Нормативное значение (Т/м <sup>2</sup> )	Расчетное значение (Т/м <sup>2</sup> )
0	-0.01	-0.014
1	-0.01	-0.014
2	-0.01	-0.014

<b>Высота (м)</b>	<b>Нормативное значение (Т/м<sup>2</sup>)</b>	<b>Расчетное значение (Т/м<sup>2</sup>)</b>
3	-0.01	-0.014
4	-0.01	-0.014
5	-0.01	-0.014
5.5	-0.01	-0.015

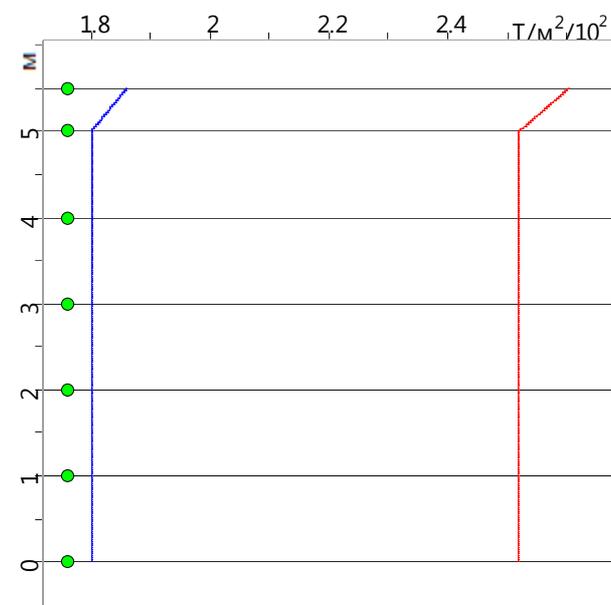
# ВЕТЕР Слева

Расчет выполнен по нормам проектирования "СНиП 2.01.07-85\* с изменением №2"

Исходные данные	
Ветровой район	II
Нормативное значение ветрового давления	0.03 Т/м <sup>2</sup>
Тип местности	A - открытые побережья морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра
Тип сооружения	Однопролетные здания без фонарей



Параметры		
Поверхность	Левая стена	
Шаг сканирования	1 м	
Коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f$	1.4	
H	5.5	м
B	18	м
h	2	м
L	12	м



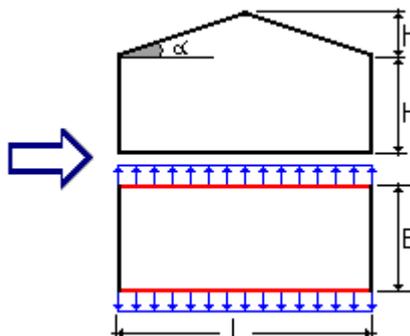
Высота (м)	Нормативное значение (Т/м <sup>2</sup> )	Расчетное значение (Т/м <sup>2</sup> )
0	0.018	0.025
1	0.018	0.025
2	0.018	0.025

<b>Высота (м)</b>	<b>Нормативное значение (Т/м<sup>2</sup>)</b>	<b>Расчетное значение (Т/м<sup>2</sup>)</b>
3	0.018	0.025
4	0.018	0.025
5	0.018	0.025
5.5	0.019	0.026

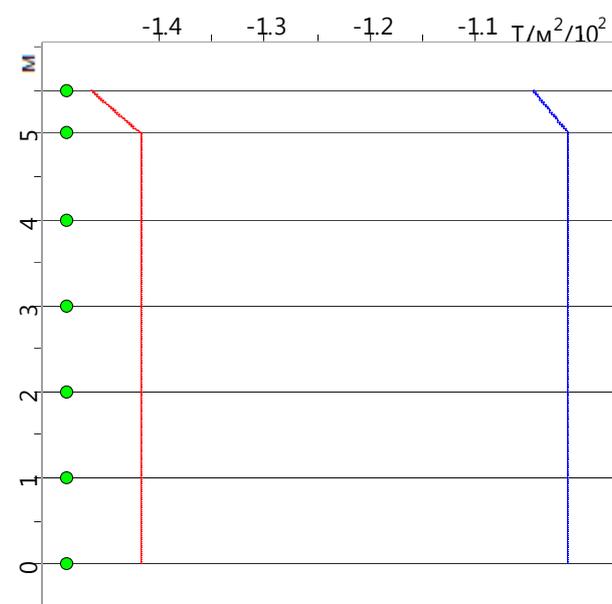
# ВЕТЕР фронтальный

Расчет выполнен по нормам проектирования "СНиП 2.01.07-85\* с изменением №2"

Исходные данные	
Ветровой район	II
Нормативное значение ветрового давления	0.03 Т/м <sup>2</sup>
Тип местности	A - открытые побережья морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра
Тип сооружения	Однопролетные здания без фонарей



Параметры		
Поверхность	Боковые стены	
Шаг сканирования	1 м	
Коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f$	1.4	
H	5.5	м
B	18	м
h	2	м
L	12	м



Высота (м)	Нормативное значение (Т/м <sup>2</sup> )	Расчетное значение (Т/м <sup>2</sup> )
0	-0.01	-0.014
1	-0.01	-0.014
2	-0.01	-0.014

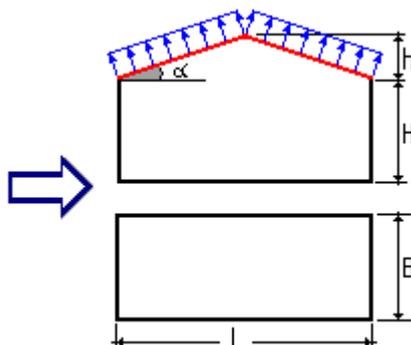
<b>Высота (м)</b>	<b>Нормативное значение (Т/м<sup>2</sup>)</b>	<b>Расчетное значение (Т/м<sup>2</sup>)</b>
3	-0.01	-0.014
4	-0.01	-0.014
5	-0.01	-0.014
5.5	-0.01	-0.015

Отчет сформирован программой **ВеСТ (32-бит)**, версия: 11.5.1.1 от 03.09.2011

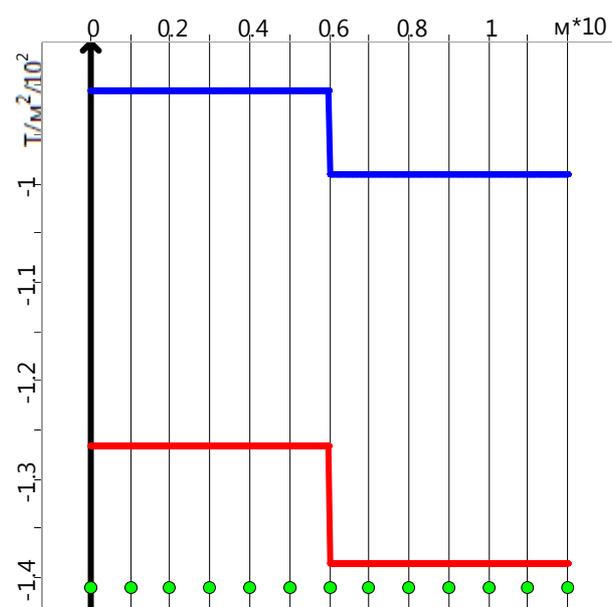
# ВЕТЕР

Расчет выполнен по нормам проектирования "СНиП 2.01.07-85\* с изменением №2"

Исходные данные	
Ветровой район	II
Нормативное значение ветрового давления	0.03 Т/м <sup>2</sup>
Тип местности	A - открытые побережья морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра
Тип сооружения	Однопролетные здания без фонарей



Параметры		
Поверхность	Кровля	
Шаг сканирования	1 м	
Коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f$	1.4	
H	5.5	м
B	18	м
h	2	м
L	12	м



Расстояние от края кровли (м)	Нормативное значение (Т/м <sup>2</sup> )	Расчетное значение (Т/м <sup>2</sup> )
0	-0.009	-0.013
1	-0.009	-0.013

Расстояние от края кровли (м)	Нормативное значение (Т/м <sup>2</sup> )	Расчетное значение (Т/м <sup>2</sup> )
2	-0.009	-0.013
3	-0.009	-0.013
4	-0.009	-0.013
5	-0.009	-0.013
6	-0.01	-0.014
7	-0.01	-0.014
8	-0.01	-0.014
9	-0.01	-0.014
10	-0.01	-0.014
11	-0.01	-0.014
12	-0.01	-0.014