МИИТ

Курсовой проект:

Расчёт металлического моста

(ферма)

Оглавление:

[1. Расчёт проезжей части. - 3 -](#_Toc53375864)

[1.1 Расчёт продольной балки. - 3 -](#_Toc53375865)

[1.1.1 Расчёт силовых факторов. - 3 -](#_Toc53375866)

[1.1.2 Подбор сечений продольной балки. - 5 -](#_Toc53375867)

[1.1.3 Расчёт продольной балки на прочность по нормальным и касательным напряжениям. - 6 -](#_Toc53375868)

[1.1.4 Расчёт прочности прикрепления поясов к стенке. - 7 -](#_Toc53375869)

[1.1.5 Расчёт продольной балки на выносливость. - 8 -](#_Toc53375870)

[1.1.6 Проверка балки на общую устойчивость. - 9 -](#_Toc53375871)

[1.1.7 Расчёт стенки балки на местную устойчивость. - 10 -](#_Toc53375872)

[1.2 Расчёт поперечной балки. - 15 -](#_Toc53375873)

[1.2.1 Определение внутренних усилий. - 15 -](#_Toc53375874)

[1.2.2 Подбор сечений поперечной балки. - 16 -](#_Toc53375875)

[1.2.3 Расчёт поперечной балки на прочность по нормальным и касательным напряжениям. - 16 -](#_Toc53375876)

[1.2.4 Расчёт прочности прикрепления поясов к стенке. - 17 -](#_Toc53375877)

[1.2.5 Расчёт поперечной балки на выносливость. - 18 -](#_Toc53375878)

[1.2.6 Проверка балки на общую устойчивость. - 19 -](#_Toc53375879)

[1.2.7 Проверка по приведённым напряжениям. - 19 -](#_Toc53375880)

[1.3 Расчёт болтовых креплений. - 19 -](#_Toc53375881)

[1.3.1 Расчёт прикрепления продольных балок к поперечным. - 19 -](#_Toc53375882)

[1.3.2 Расчет поперечного сечения накладок «рыбок» и числа болтов прикрепляющих «рыбку» к полкам продольной балки. - 20 -](#_Toc53375883)

[1.3.3 Расчет «рыбки» на выносливость. - 21 -](#_Toc53375884)

[1.3.4 Расчет крепления поперечных балок к узлам главных ферм. - 21 -](#_Toc53375885)

[2. Расчёт главной фермы. - 22 -](#_Toc53375886)

[2.1 Определение нагрузок, действующих на ферму. - 22 -](#_Toc53375887)

[2.1.1 Нагрузка от собственного веса конструкций. - 22 -](#_Toc53375888)

[2.1.2 Эквивалентная временная нагрузка. - 22 -](#_Toc53375889)

[2.1.3 Ветровая и тормозная нагрузка. - 22 -](#_Toc53375890)

[2.1.4 Нагрузка от поперечных ударов подвижного состава. - 23 -](#_Toc53375891)

[2.2 Определение усилий. - 23 -](#_Toc53375892)

[2.2.1 Определение усилий. - 23 -](#_Toc53375893)

[2.2.2 Определение усилий в нижнем поясе. - 1 -](#_Toc53375894)

[2.2.3 Определение усилий в верхнем поясе. - 1 -](#_Toc53375895)

[2.3 Подбор сечения элементов. - 1 -](#_Toc53375896)

[2.3.1 Подбор сечения элементов главной фермы. - 1 -](#_Toc53375897)

[2.3.2 Подбор сечения элементов связей верхнего пояса. - 1 -](#_Toc53375898)

[2.3.3 Подбор сечения элементов связей нижнего пояса. - 1 -](#_Toc53375899)

[2.4. Расчёт портальной рамы. - 2 -](#_Toc53375900)

[2.4.1 Определение усилий. - 2 -](#_Toc53375901)

[2.4.2 Проверка на прочность. - 3 -](#_Toc53375902)

[2.4.3 Проверка на устойчивость. - 4 -](#_Toc53375903)

[2.5. Расчет и конструирование узлов. - 4 -](#_Toc53375904)

[2.5.1 Узел Н2 - 4 -](#_Toc53375905)

[2.5.2 Узел Н3 - 5 -](#_Toc53375906)

[2.5.3 Узел Н0 - 6 -](#_Toc53375907)

[2.5.4 Узел В1 - 7 -](#_Toc53375908)

# Расчёт проезжей части.

## 1.1 Расчёт продольной балки.

### 1.1.1 Расчёт силовых факторов.

Для определения силовых факторов выбираем расчётную модель как балку на 2-х опорах

 (Рис. 1)

**- момент для расчёта на прочность:**

 , где

M0.5 – изгибающий момент в середине пролёта для расчёта на прочность;

 – коэффициент надёжности по нагрузки от собственного веса (=1.1);

gCB – равномерно распределённая нагрузка от собственного веса продольной балки;

 – коэффициент надёжности по нагрузки от 2-ой части собственного веса (=1.1);

gII – равномерно распределённая нагрузка от собственного веса мостового полотна;

 – коэффициент надёжности по временной нагрузке; 



эквивалентная нагрузка от подвижного состава;

площадь лини влияния;

динамический коэффициент; 

тс∙м



 тс∙м

**- поперечная сила для расчёта на прочность:**



 тс

 тс

 тс

**- момент для расчёта на выносливость:**





тс∙м

тс∙м

**- поперечная сила для расчёта на выносливость:**

 тс

 тс

 тс

### 1.1.2 Подбор сечений продольной балки.

 Условие прочности:

, где см.

 

 3550 кг/см2 (СНиП 2.05.03-84\*, таб. 50\*)

Подбор сечение и вычисление

геометрических характеристик выполним

в табличной форме:

 (Рис. 2)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Состав сечения | Площадь | у | Ix | Sx |
| 26x2 | 52 см2 | 69 см | 247589.3 см4 | 6362 см3 |
| 1.2x136 | 163.2 см2 | 0 см | 251545.6 см4 |
| 26x2 | 52 см2 | 69 см | 247589.3 см4 |
| Суммарная: | 267.2 см2 | Суммарный | 746724 см4 |

### 1.1.3 Расчёт продольной балки на прочность по нормальным и касательным напряжениям.

**Условие прочности по нормальным напряжениям:**

**,** гдекоэффициент, учитывающий ограниченное развитие пластических деформаций в сечении, берётся в зависимости от  и 

*m –* коэффищиент условия работы

 

 (по СНиП 2.05.03-84\*, таб. 61) 

Коэффициент  при и при

0 кг/см2

(по СНиП 2.05.03-84\*, таб. 48\*, 49\*, 50\*) 2062 кг/см2, 0.25∙516 кг/см2

0 < 516 => 

** =>Условие выполнено**

**Условие прочности по касательным напряжениям:**

1.17

Условие прочности: 

339799 кгс

 **=>Условие выполнено**

### 1.1.4 Расчёт прочности прикрепления поясов к стенке.

В сварных балках делается проверка прочности угловых швов прикрепления к стенке:



1) по границе сплавления;

 2) по металлу шва;

**- по металлу шва:** (Рис. 3)

****

**- по металлу границы сплавления:**

**,** где

****число швов

,расчётная высота сечения шва по металлу шва и по границе сплавления

, 

, коэффициенты, которые для автоматической сварки при положении шва «в лодочку» соответственно равны 1.1 и 1.15;

Расчётная высота сечения шва должна быть не менее 4 мм.

 - давление от подвижной вертикальной нагрузки;

, расчётное сопротивление шва;

расчётная поперечная сила;

статический момент пояса относительно нейтральной оси сечения;

момент инерции брутто всего сечения;

*S=* (26∙2) ∙69=3588 см3, *m=* 0.9

кН/м = 2308.3 кг/см

(по СНиП 2.05.03-84\*, таб. 50\*, таб. 53 и СНиП II-23-81\*, таб. 4\*)

3080(1804) кг/см2, 2430 кг/см2

**- по металлу шва:**

**** => ****= 0.73 см

**- по металлу границы сплавления:**

**** =>= 0.55 см

Принимаем шов с расчётной высотой сечения в 7.3 мм.

### Расчёт продольной балки на выносливость.

Проверка выносливости балки по нормальным напряжениям определяется по формуле:

, где

при определении , ипри определении и ;

*m=*0.9; *Ry*=3550 кг/см2

 Коэффициент асимметрии цикла при этом ;

Кроме того, в сварных балках нужно проверять выносливость поясных швов (по металлу шва):



Коэффициент асимметрии цикла при этом ;

2293 кг/см2

 тс∙м

99.25 кг/см2

Коэффициент асимметрии цикла 

Значение определяется по формуле:



 (для ж.д. мостов)



 прим

1.3255

Для стали 10ХСНД: ; 

0.77

 => **условие выполнено**

1640 кг/см2

 тс



=0.0365

0.76

 => **условие выполнено**

### Проверка балки на общую устойчивость.

В изгибаемой балке при некотором критическом уровне нагрузки может произойти потеря изгибно-крутильной (общей) Фомы устойчивости. Для повышения общей устойчивости продольных балок в уровне из верхней (сжатой) зоны ставиться система продольных связей.

По [СНиП 2.05.03-84\*] общая устойчивость может быть проверена после нахождения соответствующего критического изгибающего момента, который должен определяться по теории тонкостенных стержней при учёте реального закрепления балки.

Условная проверка выполняется по формуле:

, где

*М –* расчётный момент инерции на прочность;

*I –* момент инерции всего сечения брутто;

расстояние от нейтральной оси до центра тяжести верхнего пояса;

Коэффициент  принимается по таблицам 1\* - 3 приложения 15\* [СНиП 2.05.03-84\*] в зависимости от гибкости , где

свободная длина верхнего пояса (расстояние между узлами связей);

(Рис. 4)

радиус инерции верхнего пояса балки, вычисленного относительно вертикальной оси.

 (26∙2)+(1.2∙12∙1.2)=69.28 см2

2931.4 см4

6.5 см

 => 

13.35 см

 см (Рис. 5)



=>**Условие не выполнено, требуется изменить сечение.**

Увеличиваем толщину полок:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Состав сечения | Площадь | у | Ix | Sx |
| 26x2.5 | 65 см2 | 68.75 см | 307260.4 см4 | 7203 см3 |
| 1.2x135 | 162см2 | 0 см | 246037.5 см4 |
| 26x2 | 65 см2 | 68.75 см | 307260.4 см4 |
| Суммарная: | 267.2 см2 | Суммарный | 860558 см4 |

(26∙2.5)+(1.2∙12∙1.2)=82.28 см2

3663.7см4

6.8 см

  => 

13.88 см (Рис. 6)

 см



=>**Условие выполнено.**

### Расчёт стенки балки на местную устойчивость.

Для обеспечения местной устойчивости стенки ставятся поперечные рёбра жёсткости. Расчётом проверяется устойчивость прямоугольных отсеков стенки, заключённых между рёбрами жёсткости и полками.

Расчётными параметрами пластинки является:

*a* – длина пластинки;

**ширина пластинки;

 *t –* толщина пластинки;

 *t1* и *b1 –* толщина и ширина поясов;

определяется по таб. 5 прил.16\* [СНиН 2.05.03-84\*]

отношение сторон; 

величина (для отсека типа «А» )

параметр , где (мостовые брусья) или(железоб. плита проезда)

Расчёт выполняется с учётом компонентов напряжённого состояния 

Продольное напряжение вдоль кромки пластинки определяется как , где

среднее значение момента в пределах отсека при ; при  вычисляется для напряжённого участка с длиной .

Среднее касательное напряжение:

, где среднее значение поперечной силы в пределах отсека, при   вычисляется так же, как.

Поперечное нормальное напряжение:

 МПа;

 кг/см2, где

*К*=14 – класс нагрузки;

*t –* толщина стенки;

Условие устойчивости стенки балки с поперечными рёбрами имеет вид:

, где

, критические нормальные продольные и поперечные напряжения;

критические касательные напряжения

,коэффициенты.

Рассмотрим два отсека, 1-ый и 2-ой:

**Определение внутренних усилий.**





g1=0.3 тс/м, g2=0.4 тс/м, 1.1, 1.1, (1.3-0.003), 

**Условие расчёта.**

максимальные сжимающие напряжения, действующие в стенке.

, , 

, 

(Рис. 7)

(Рис. 8)

**Первое загружение:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Отсеки | *li* | орд. | α | λ | *v* | *w +* | *w -* | *w1*  | γ*fv* | 1+μ |
| 1 | *М1* | 0.6875 | 0.65 | 0.0625 | 11 | 24.06 | - | - | 3.55 | 1.267 | 1.439 |
| *Q1* | 0.937 | 4.829 | 0.022 | 4.807 |
| 2 | *М1* | 2.0625 | 1.67 | 0.1875 | 23.29 | - | - | 9.185 |
| *Q1* | 0.813 | 3.636 | 0.192 | 3.444 |

81.16 тм

111.16 т

138.2 тм

79.89 т

**Второе загружение:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Отсеки | *li* | орд. | α | λ | *v* | *w +* | *w -* | *w1*  | γ*fv* | 1+μ |
| 1 | *М1* | 0.6875 | 0.65 | 0 | 10.31 | 24.78 | - | - | 3.32 | 1.269 | 1.024 |
| *Q1* | 0.937 | - | - | 4.83 |
| 2 | *М1* | 2.0625 | 1.67 | 8.93 | 25.55 | - | - | 7.49 | 1.273 | 1.025 |
| *Q1* | 0.813 | - | - | 3.64 |

56.12 тм

80.9 т

131.53 тм

63.83 т

1-ый отсек: 457 кг/см2

376.2 кг/см2

151 кг/см2

2-ой отсек: 1070 кг/см2

296.8 кг/см2

152 кг/см2

**Нахождение критических напряжений .**



  => (по таб. 4 прил.16\*)

(по таб. 5 прил.16\*)

=4929 кг/см2



1149 кг/см2

**Нахождение критических напряжений .**



  => (по таб. 7 прил.16\*)

 (при распределённой нагрузке)

*z=* 6.26 (по таб. 8 прил.16\*)

1196 кг/см2



969 кг/см2

**Нахождение критических напряжений .**



, *d*=137.5

  => (по таб. 9 прил.16\*)

1643 кг/см2

0.9∙1643∙0.9=1331 кг/см2

**Первый отсек:**



0.55<1 => Условие выполнено

**Второй отсек:**



0.954<1 => Условие выполнено

## Расчёт поперечной балки.

### 1.2.1 Определение внутренних усилий.

По СНиП 2.05.03-84\* поперечные балки следует рассчитывать как элементы рам, образованных поперечной балкой и примыкающими к узловым фасонкам элементами главных ферм.

На балку действует давление (опорные реакции) примыкающих к ней продольных балок, а так же её собственный вес. Величину опорных реакций D для расчёта по прочности получают путём загружения её линий влияния.

(Рис. 9)

**Для расчёта на прочность:**

, где

*d* – длина панели фермы, а величины *v*, , и  следует вычислять, при 

, ,  тс/м,  тс/м;

1.234

1.35

*v=*22.8392 тс/м

219.85 т

**Для расчёта на выносливость:**

140 т

(Рис. 10)

### 1.2.2 Подбор сечений поперечной балки.

 Высоту поперечной балки следует принимать равной высоте продольной балки.

 3550 кг/см2 (СНиП 2.05.03-84\*, таб. 50\*)

Подбор сечение и вычисление

геометрических характеристик выполним

в табличной форме:

 (Рис. 11)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Состав сечения | Площадь | у | Ix | Sx |
| 38x2.5 | 95 см2 | 68.55 см | 449073 см4 | 9721 см3 |
| 1.4х135 | 189 см2 | 0 см | 287043 см4 |
| 38x2.5 | 95 см2 | 68.55 см | 449073 см4 |
| Суммарная: | 379 см2 | Суммарный | 1185190 см4 |

### Расчёт поперечной балки на прочность по нормальным и касательным напряжениям.

**Условие прочности по нормальным напряжениям:**

**,** гдекоэф., учитывающий ограниченное развитие пластических деформаций в сечении, берётся в зависимости от  и 

*m –* коэффищиент условия работы

 

 (по СНиП 2.05.03-84\*, таб. 61) 

Коэффициент  при и при

1163 кг/см2

(по СНиП 2.05.03-84\*, таб. 48\*, 49\*, 50\*) 2062 кг/см2, 0.25∙516 кг/см2

1163 > 516 => 

392154 кгс

1.238

0.83

** =>Условие выполнено**

**Условие прочности по касательным напряжениям:**

Условие прочности: 

 **=>Условие выполнено**

### 1.2.4 Расчёт прочности прикрепления поясов к стенке.

В сварных балках делается проверка прочности угловых швов прикрепления к стенке:



1) по границе сплавления;

 2) по металлу шва;

**- по металлу шва:** (Рис. 3)

****

**- по металлу границы сплавления:**

**,** где

****число швов

,расчётная высота сечения шва по металлу шва и по границе сплавления

, 

, коэффициенты, которые для автоматической сварки при положении шва «в лодочку» соответственно равны 1.1 и 1.15;

Расчётная высота сечения шва должна быть не менее 4 мм.

, расчётное сопротивление шва;

расчётная поперечная сила;

статический момент пояса относительно нейтральной оси сечения;

момент инерции брутто всего сечения;

*S=* (38∙2.5) ∙68.75=6531.25 см3, *m=* 0.9

кН/м = 0 кг/см

(по СНиП 2.05.03-84\*, таб. 50\*, таб. 53 и СНиП II-23-81\*, таб. 4\*)

3080(1804) кг/см2, 2430 кг/см2

**- по металлу шва:**

**** => ****= 0.37 см

**- по металлу границы сплавления:**

**** =>= 0.27 см

Принимаем шов с расчётной высотой сечения в 4 мм.

### Расчёт поперечной балки на выносливость.

Проверка выносливости балки по нормальным напряжениям определяется по формуле:

, где

при определении , ипри определении и ;

*m=*0.9; *Ry*=3550 кг/см2

 Коэффициент асимметрии цикла при этом ;

Кроме того, в сварных балках нужно проверять выносливость поясных швов (по металлу шва):



Коэффициент асимметрии цикла при этом ;

1536 кг/см2

 тс∙м

109 кг/см2

Коэффициент асимметрии цикла 

Значение определяется по формуле:



 (для ж.д. мостов)



 прим

Для стали 10ХСНД: ; 

0.84

 => **условие выполнено**

1514 кг/см2

 тс

 тс

=0.071

0.839

 => **условие выполнено**

### Проверка балки на общую устойчивость.

За свободную длину *l0* принимаем расстояние между продольными балками.

, где

 

 (38∙2.5)+(1.4∙12∙1.4)=119 см2

11436 см4

9.8 см

 => 

16.13 см

 см



=>**Условие выполнено.**

### Проверка по приведённым напряжениям.



****2532 кг/см2

859 кг/см2



2937<3674 =>**Условие выполнено.**

## Расчёт болтовых креплений.

### 1.3.1 Расчёт прикрепления продольных балок к поперечным.

Прикрепление продольных балок к поперечным осуществляется с помощью уголков и высокопрочных болтов (фракционная часть соединения), а также с помощью накладок «рыбок».

Количество фрикционных болтов, прикрепляющих уголки к стене продольной балки (заводские болты).





*Qbh*- несущая способность одного болта – контакт

 

*P* – усилие натяжения высокопрочного болта



  см2

*Аbn*– площадь сечения болта нетто

*μ*– коэффициент трения (СНиП 2.05.03.-84\* табл.57)

- для пескоструйной обработки

 кг

 кг



Окончательно принимаем:



Фрикционные болты, прикрепляющие уголки к стенке поперечной балки (монтажные), при загружении одной продольной балки работают по одному контакту, а при загружении двух смежных балок - по двум контактам.

Более невыгодным является первый вариант.





Окончательно принимаем:



### 1.3.2 Расчет поперечного сечения накладок «рыбок» и числа болтов прикрепляющих «рыбку» к полкам продольной балки.

Опорный изгибаемый момент, воспринимаемый «рыбками», можно принимать равным 0.6∙М0.5. Усилие в «рыбке»



*h* – расчетное расстояние между «рыбками».

**толщина рыбки (принимается предварительно 2-3 см.)

см

кг



*Аp,n*– площадь сечения «рыбки» нетто;

*n3*– число болтов прикрепляющих «рыбку» к одной полке одной балки.



кг/см2

Пусть 42 см



Получается 2 ряда по 8 болтов

кг/см2

кг/см2



Примем толщину «рыбки» 2 см:

### 1.3.3 Расчет «рыбки» на выносливость.



*Ар* – площадь сечения рыбки брутто

см2

кг

 кг/см2

  кг/см2

 кг/см2



### 1.3.4 Расчет крепления поперечных балок к узлам главных ферм.

Крепления производятся с помощью уголков и фрикционных болтов. Расчет производится по наибольшей поперечной силе в опорном сечении поперечной балки.

кг

Число заводских болтов имеющих, по 2 плоскости контакта



 (СНИП 2.05.03-84\* табл.84)



Число монтажных болтов, имеющих по одной плоскости контакта:



 (СНИП 2.05.03-84\* табл.84)



Берем 2 ряда по 14 болтов. Итого получаем 28 болтов.

# Расчёт главной фермы.

## 2.1 Определение нагрузок, действующих на ферму.

### 2.1.1 Нагрузка от собственного веса конструкций.

Нагрузка на одну ферму от собственного веса конструкции складывается из веса мостового полотна, главных ферм, проезжей части и связей:



тс/м

 тс/м

 тс/м

### 2.1.2 Эквивалентная временная нагрузка.

Эквивалентная временная нагрузка определяется в зависимости от длины загружения и положения вершины л.в. усилия в элементе по СНИП 2.05.03-84\* прил. 6

### 2.1.3 Ветровая и тормозная нагрузка.

Нормативная погонная ветровая нагрузка на главные фермы определяется по формуле



 *qo* – скоростной напор ветра;

 *kh* – коэффициент учитывающий изменение скоростного напора по высоте;

*Cw,ф*– аэродинамический коэффициент;

*Hф* – высота главной фермы;

тс/м

Нормативная погонная нагрузка от ветра на ж/д состав определяется по формуле



 тс/м

Нормативная погонная нагрузка от ветра на проезжую часть принимается как на сплошную полосу высотой, равной высоте продольных балок с учетом мостового полотна за вычетом высоты пояса фермы:



 тс/м

Определяемые нагрузки распределяются между ветровыми фермами следующим образом:



 тс/м



 тс/м

Нормативная горизонтальная продольная нагрузка от торможения принимается равной:

 тс/м

где м; 


### 2.1.4 Нагрузка от поперечных ударов подвижного состава.

Нормативная горизонтальная поперечная нагрузка от ударов подвижного состава согласно СНиП 2.05.03-84\* п.2.19 принимается равной:



 тс/м

 тс/м

 тс/м

## Определение усилий.

### 2.2.1 Определение усилий.

Рассматриваются при следующих сочетаниях нагрузок:

-постоянная совместно с эквивалентной временной нагрузкой;

-тоже, что и в 1 совместно с поперечной нагрузкой от ударов подвижного состава;

-тоже, что и в 1 совместно с ветровой и тормозной нагрузками;

При совместном действии нагрузок к ним вводятся соответствующие коэффициенты сочетания по [СНиП 2.05.03-84\*] прил.2;

При расчете на прочность:







При расчете на устойчивость:







При расчете на выносливость:

 или

 

где  - коэффициент, учитывающий наличие в поездах только перспективных локомотивов и вагонов, а также отсутствие тяжелых транспортеров; принимается по СНиП 2.05.03-84\* п.2.11;

Нормативные усилия в элементах фермы от ветровой нагрузки определяется по формуле:



где  - длина ветровой фермы (нижнего или верхнего поясов);

а – расстояние от начала ветровой фермы до середины расчетной панели;

Нормативные усилия от тормозной нагрузки определяются по формуле:



где *d* – панель фермы; *n* – число панелей фермы; *i* – порядковый номер расчетной панели;

При определении усилий от постоянной нагрузки собственный вес пролётного строения:



 Расчет производим в табличной форме:

|  |
| --- |
| **Определение усилий в элементах сквозной фермы** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| № | Элементы фермы | Элементы линий влияния | Нормативные нагрузки | Усилия от нормативных нагрузок | Коэффициенты к нагрузкам | Расчет на прочность | Расчет на выносливость |
| Длина участка, м | Положение вершины линии влияния | Площади участков, м2 | Суммарная площадь, м2 | g1 + g2 , т / м | β | v, т / м | β \* v, т / м | постоянных Ng , т | временных Nv ,т | ветровой Nw ,т | тормозной Nt ,т | γfg | γfv | ( 1 + μ ) | ( 1 + 0,7\*μ ) | ε | γfg \* Ng ,т | γfv \* (1+μ) \* Nv, т | N1 = γfg \* Ng + γfv \* (1+μ)\* Nv, т | N2 =γfg\*Ng + η\*γfv\*(1+μ)\*Nv + η\*γfw\*Nw +η\*γft\*Nt, т | (1+0,7\*μ) \* ε \* Nv, т | N'max, т | ρ |
| N'min , т |
|   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25.000 |
| 1 | H0-В1 | 88.00 | -1.10 | -48.31 | -48.31 | 2.41 | 0.50 | 14.35 | 7.17 | -116.42 | -346.56 |   |   | 1.10 | 1.13 | 1.32 | 1.22 | 1.00 | -128.06 | -517.38 | -645.45 |   | -424.19 | -540.61 | 0.215 |
| 2 | H0-H1 | 88.00 | 0.66 | 29.18 | 29.18 | 2.41 | 0.50 | 14.35 | 7.17 | 70.32 | 209.31 | 33.30 | 59.19 | 1.10 | 1.13 | 1.32 | 1.22 | 1.00 | 77.35 | 312.49 | 389.83 | 397.51 | 256.20 | 326.51 | 0.215 |
| 3 | B1-Н1 | 22.00 | 1.00 | 11.00 | 11.00 | 2.41 | 0.50 | 17.98 | 8.99 | 26.51 | 98.91 |   |   | 1.10 | 1.23 | 1.54 | 1.38 | 0.85 | 29.16 | 187.97 | 217.13 |   | 115.86 | 142.37 | 0.186 |
| 4 | B1-B2 | 88.00 | -1.14 | -50.07 | -50.07 | 2.41 | 0.50 | 14.23 | 7.12 | -120.66 | -356.28 | -17.50 |   | 1.10 | 1.13 | 1.32 | 1.22 | 1.00 | -132.73 | -531.90 | -664.63 | -570.50 | -436.09 | -556.75 | 0.217 |
| 5 | Н3-Н4 | 88.00 | 1.42 | 62.59 | 62.59 | 2.41 | 0.50 | 14.12 | 7.06 | 150.83 | 441.73 | 140.00 | 34.94 | 1.10 | 1.13 | 1.32 | 1.22 | 1.00 | 165.91 | 659.47 | 825.38 | 819.15 | 540.68 | 691.51 | 0.218 |
| 6 | Н1-Н2 | 88.00 | 0.66 | 29.20 | 29.20 | 2.41 | 0.50 | 14.35 | 7.17 | 70.38 | 209.50 | 86.70 | 51.29 | 1.10 | 1.13 | 1.32 | 1.22 | 1.00 | 77.42 | 312.77 | 390.18 | 428.93 | 256.43 | 326.81 | 0.215 |
| 7 | B3-Н3 | 22.00 | 1.00 | 11.00 | 11.00 | 2.41 | 0.50 | 17.98 | 8.99 | 26.51 | 98.91 |   |   | 1.10 | 1.23 | 1.54 | 1.38 | 0.85 | 29.16 | 187.97 | 217.13 |   | 115.86 | 142.37 | 0.186 |
| 8 | H2-Н3 | 88.00 | 1.42 | 62.59 | 62.59 | 2.41 | 0.50 | 14.12 | 7.06 | 150.83 | 441.73 | 122.20 | 42.70 | 1.10 | 1.13 | 1.32 | 1.22 | 1.00 | 165.91 | 659.47 | 825.38 | 812.83 | 540.68 | 691.51 | 0.218 |
| 9 | B3-H2 | 25.14 | -0.32 | -3.98 | 20.64 | 2.41 | 0.50 | 19.12 | 9.56 | 49.75 | -38.06 |   |   | 0.90 | 1.22 | 1.53 | 1.37 | 0.85 | 44.77 | -71.32 | -26.54 |   | -44.36 | 5.39 | 0.019 |
| 62.80 | 0.78 | 24.62 | 0.50 | 14.94 | 7.47 | 183.94 |   |   | 1.10 | 1.14 | 1.38 | 1.27 | 1.00 | 290.29 | 335.06 |   | 232.87 | 282.62 |
| 10 | В1-Н2 | 12.57 | -0.16 | -0.99 | 34.50 | 2.41 | 0.50 | 22.97 | 11.49 | 83.16 | -11.32 |   |   | 0.90 | 1.26 | 1.60 | 1.42 | 0.85 | 74.84 | -22.86 | 51.98 |   | -13.66 | 69.49 | 0.172 |
| 75.43 | 0.94 | 35.49 | 0.50 | 14.59 | 7.30 | 258.90 |   |   | 1.10 | 1.14 | 1.34 | 1.24 | 1.00 | 394.56 | 469.40 |   | 320.52 | 403.67 |
| 11 | В2-Н2 | 88.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.41 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |   |   | 1.10 | 1.13 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |   | 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| 13 | Опорная реакция | 88.00 | 1.00 | 44.00 | 44.00 | 2.41 | 0.50 | 14.46 | 7.23 | 106.04 | 318.21 |   |   | 1.10 | 1.13 | 1.32 | 1.00 | 1.00 | 116.64 | 475.06 | 591.70 |   |   |   |   |

### Определение усилий в нижнем поясе.

Mo1=1.4∙227∙0.8522=271 тм.

Mo2=1.4∙590∙0.8522=704 тм.

Mo3=1.4∙953∙0.8522=1137 тм.

Nwн0-н1=т

Nwн1-н2=т

Nwн3-н4=т

### Определение усилий в верхнем поясе.

Mo1=1.4∙166∙0.61=142 тм.

Mo2=1.4∙409∙0.61=349 тм.

Mo3=1.4∙529∙0.16=452 тм.

Nwв0-в1=т

Nwв1-в2=т

Nwв3-в4=т

## Подбор сечения элементов.

### 2.3.1 Подбор сечения элементов главной фермы.

Подбор элементов главной фермы производим в табличной форме:

### 2.3.2 Подбор сечения элементов связей верхнего пояса.

в плоскости фермы связей;

из плоскости фермы связей.

Максимальное усилие, возникающие в нижнем поясе N=38.945 т.

Геометрические характеристики сечении (2х№24):

А=61.2 см2; Ix=5800 см2; Iy=3066 см2; ix=9.735 см; ix=7.078 см;

 => φ=0.43

 => φ=0.23

 кг\см2 < 0.23∙0.9∙3550=734.85 кг

### 2.3.3 Подбор сечения элементов связей нижнего пояса.

Максимальное усилие, возникающие в нижнем поясе N=98.017 т.

Геометрические характеристики сечении (2х└160х100х12):

А=60.08 см2; Ix=1568 см2; Iy=1490 см2; ix=5.1 см; ix=4.98 см;

 => φ=0.53

 => φ=0.52

 кг\см2 < 0.52∙0.9∙3550=1662 кг\см2

## 2.4. Расчёт портальной рамы.

### 2.4.1 Определение усилий.

Расстояние от нулевой точки эпюры моментов до заделки определяется по формуле:



м

Усилия от ветровой нагрузки, передающиеся в верхние узлы портальной рамы:



тс

Характерные ординаты эпюры изгибающих моментов в ногах рамы:



 (6.4.)

тс∙м

 тс∙м

Нормативные значения нормальных сил в опорных раскосах:

 (6.5.)

т

Расчетные усилия в элементах портального заполнения:

   

  

 

Дополнительные усилия, передаваемые с ног портальной рамы на пояса главных ферм:

 где

 - угол наклона опорного раскоса к горизонтали;

тс

Расчетный изгибающий момент для проверок раскоса:



тс∙м



=1.1∙(-116.42)+0.8∙1.13∙1.32∙(-346.56)+0.5∙1.4∙38.4=-517.7 тс

### 2.4.2 Проверка на прочность.







; см2; 

; см2





см3

кг/см2

516 кг/см2

77.4 кг/см2<516 кг/см2=>



2723 кг/см2<3195 кг/см2 => условие выполнено

### 2.4.3 Проверка на устойчивость.







относительный эксцентриситет

см

см



см

=0.51



1542.6 кг/см2<1629 кг/см2 => условие выполнено

## 2.5. Расчет и конструирование узлов.

### 2.5.1 Узел Н2

кг – см. расчет прикрепления продольных балок к поперечной и поперечных к главным фермам.

Раскос Н2-В1: =>28 болтов на одну плоскость прикрепления

Раскос Н2-В3: =>20 болтов на одну плоскость прикрепления

см 

см 

см 

Прикрепление раскосов определяет первоначальный контур узловой фасонки.

Проверим прочность фасонки.

, где

t – толщина фасонки;

N – продольное усилие в элементе;

*m* – коэффициент условия работы;

*αi -* угол в радианах между направлением i-го участка контура и осью элемента;

*li*- длина i-го участка контура;

Толщина фасонки 14 мм.

кгс



см

кгс

**234700<398148 кгс – условие выполняется**

Требуемая площадь сечения всех площадок перекрывающих стык:

см2



 см2

 см2

см2



**148.4 см2 > 143.52 см2 – условие выполняется**

Усилия, воспринимаемые каждой накладкой:

кгс

 кгс

Число болтов необходимое для прикрепления каждой полунакладки:

=>25 болтов

=>25 болтов

Проверка на выравнивание стыкуемого элемента:

кгс

**429.21 тс > 412.69 тс – условие выполняется**

Стойка: Н2В2: болты назначаються конструктивно

### 2.5.2 Узел Н3

Подвеска: Н3В3: =>14 болтов на одну плоскость прикрепления

см 

см 

см 

Проверим прочность фасонки.

, где

Толщина фасонки 14 мм.

кгс



см

кгс

**108565 кгс < 307413 кгс – условие выполняется**

Требуемая площадь сечения всех площадок перекрывающих стык:

см2



 см2

 см2

см2



**148.4 см2 > 143.52 см2 – условие выполняется**

Усилия, воспринимаемые каждой накладкой:

кгс

 кгс

Число болтов необходимое для прикрепления каждой полунакладки:

=>25 болтов

=>25 болтов

Проверка на выравнивание стыкуемого элемента:

кгс

**429.21 тс > 412.69 тс – условие выполняется**

### 2.5.3 Узел Н0



Раскос Н0-В1: =>болтов40 болтов на одну плоскость прикрепления

l1=74.2см 

l2=48см 

l3=57.2см 

Прикрепление раскосов определяет первоначальный контур узловой фасонки.

Проверим прочность фасонки.





см

кгс

см

Принимаем толщину фасонки t = 1.2 см



см2

 см2

 см2

 см2

**127.2 cм2 > 118.79 cм2 – условие выполняется**

Усилия, воспринимаемые каждой накладкой:

кгс

кгс

Число болтов необходимое для прикрепления каждой полунакладки:

 => 20 болтов

 => 20 болтов

Проверка на выравнивание стыкуемого элемента:

тс

**343369 кгс > 341570 кгс – условие выполняется**

### 2.5.4 Узел В1

Раскос В1- Н0: =>40 болтов на одну плоскость прикрепления

Раскос Н2-В1: =>28 болтов на одну плоскость прикрепления

l1=33.1см 

l2=48см 

l3=39.8см 

Прикрепление раскосов определяет первоначальный контур узловой фасонки.

Проверим прочность фасонки.





см

кгс

см

Принимаем толщину фасонки t = 1.2 см

см2

 см2

 см2

**60.72 см2 > 58.3 см2 – условие выполняется**

Усилия, воспринимаемые накладкой:

тс

Число болтов необходимое для прикрепления каждой полунакладки:

=>24 болтов

Стойка: В1-Н1: =>14 болтов на одну плоскость прикрепления