

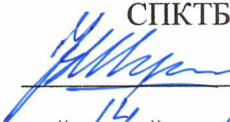


Акционерное общество  
"ТРЕСТ ГИДРОМОНТАЖ"

Специальное проектное и  
конструкторско-технологическое бюро  
**«Ленгидросталь»**  
Филиал АО «Трест Гидромонтаж»



Главный инженер  
СПКTB «Ленгидросталь»

 В.Н. Шереметьев  
« 14 » 08 2015 г.

## МАЙНСКАЯ ГЭС НА Р. ЕНИСЕЙ. ВОДОПРИЕМНИК

Решетка сороудерживающая  
12,0 – 17,0 – 3,0

Расчет несущей способности

**21MT1 1114193PP**

Нач. отдела расчетных обоснований

 М.Н. Белошейкина  
« 14 » 08 2015 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| Введение .....                                   | 3  |
| 1 Схема конструкции .....                        | 4  |
| 2 Основные расчетные требования .....            | 6  |
| 3 Расчетная схема сороудерживающей решетки ..... | 8  |
| 4 Нагрузки и граничные условия .....             | 12 |
| 5 Результаты статического расчета .....          | 16 |
| 6 Расчет на сейсмическую прочность .....         | 23 |
| 7 Суммирование результатов.....                  | 28 |
| 8 Расчет на устойчивость .....                   | 29 |
| 9 Выводы.....                                    | 30 |
| Библиография.....                                | 31 |

|             |      |             |                       |       |                                                                                                                         |                                                  |      |        |
|-------------|------|-------------|-----------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------|--------|
| Изм.        | Лист | № докум.    | Подп.                 | Дата  | <b>21MT1 1114193PP</b><br><br><b>Решетка сороудерживающая</b><br><b>12,0 – 17,0 – 3,0</b><br>Расчет несущей способности | Лит.                                             | Лист | Листов |
|             |      |             |                       |       |                                                                                                                         | И                                                | 2    | 32     |
| Разраб.     |      | Степанов    | <i>СЗ</i>             | 14.08 |                                                                                                                         | СПКТБ «Ленгидросталь»<br>Санкт-Петербург, 2015г. |      |        |
| Проверил    |      | Белошейкина | <i>М. Белошейкина</i> | 14.08 |                                                                                                                         |                                                  |      |        |
| Гл. констр. |      | Михайлюк    | <i>Михайлюк</i>       | 14.08 |                                                                                                                         |                                                  |      |        |
| Н. контр.   |      | Шильцева    | <i>Шильцева</i>       | 14.08 |                                                                                                                         |                                                  |      |        |
| Утв.        |      | См.тит.лист |                       |       |                                                                                                                         |                                                  |      |        |

## ВВЕДЕНИЕ

1 Настоящий расчет выполнен на основании договора № СС-128-2015/95-11/1-12/2015 от 08.04.2015г с филиалом ОАО «РусГидро» - «Саяно-Шушенская ГЭС им. П.С. Непорожного».

2 Конструкцию сороудерживающей решетки смотри на чертеже 21MT1 1114193СБ.

3 Расчет металлоконструкции сороудерживающей решетки на несущую способность выполнен с помощью программного комплекса ANSYS (лицензия №609616) методом конечных элементов (МКЭ).

|                 |              |              |              |              |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № подл.    | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
|                 |              |              |              |              |
| Изм             | Лист         | № докум.     | Подп.        | Дата         |
|                 |              |              |              |              |
| 21MT1 1114193PP |              |              |              | Лист         |
|                 |              |              |              | 3            |

1 СХЕМА КОНСТРУКЦИИ

1.1 Схема металлоконструкции сороудерживающей решетки изображена на рисунке 1.1.

1.2 Основные параметры

Отверстие..... глубинное;  
Пролет в свету, м..... 12,0;  
Расчетный пролет, м..... 12,5;  
Нагруженный пролет, м..... 12,5;  
Расчетный напор (перепад), м..... 3,0;  
Количество секций, шт..... 7;  
Материал металлоконструкции решетки..... сталь 09Г2С-св-12  
ГОСТ 19281-89.

|                 |              |              |              |              |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № подл.    | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
|                 |              |              |              |              |
| Изм             | Лист         | № докум.     | Подп.        | Дата         |
|                 |              |              |              |              |
| 21MT1 1114193PP |              |              |              | Лист         |
|                 |              |              |              | 4            |

|              |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
|              |              |              |              |              |

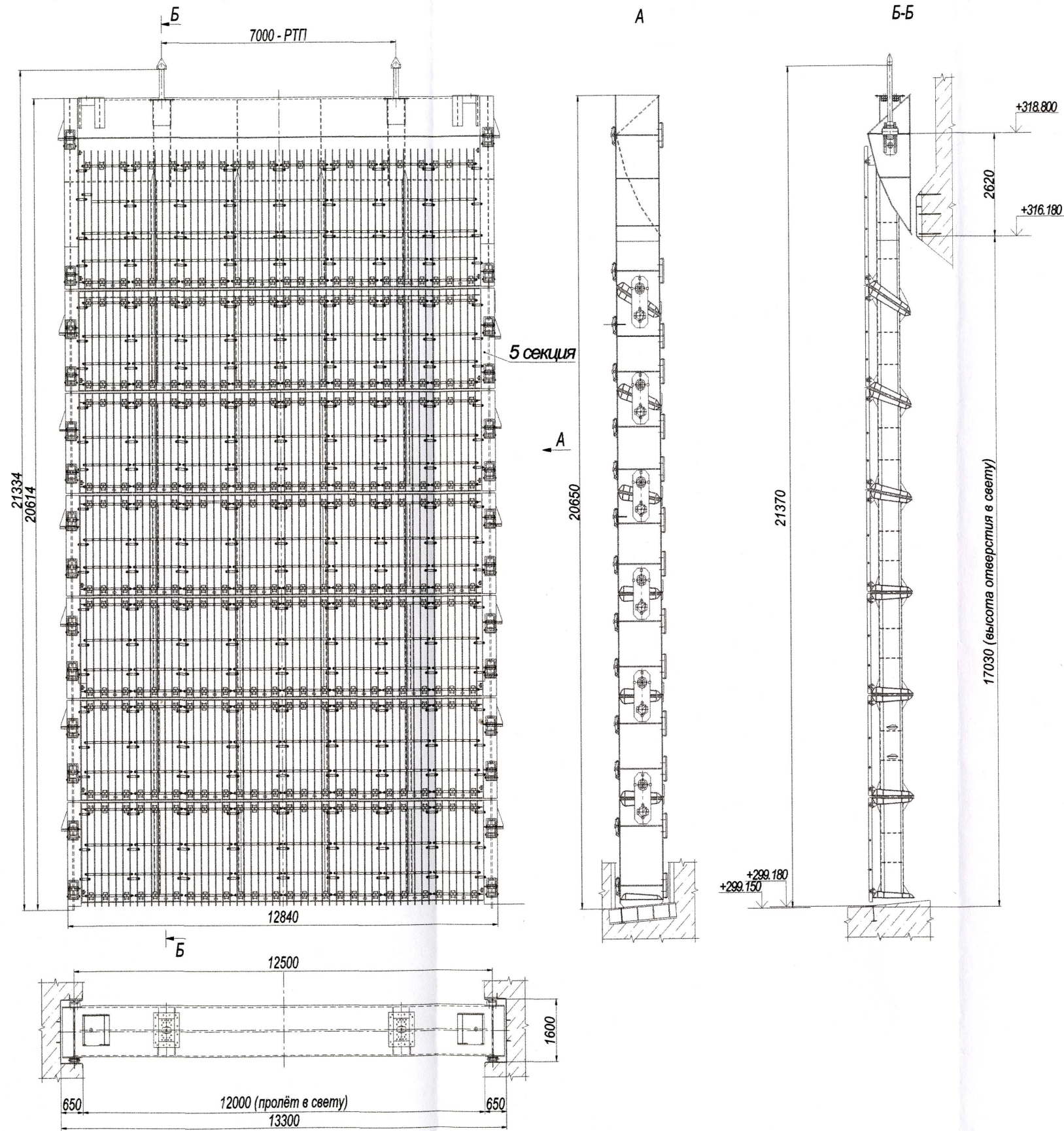


Рисунок 1.1 – Схема металлоконструкции сороудерживающей решетки

|     |      |          |       |      |                 |      |
|-----|------|----------|-------|------|-----------------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | 21MT1 1114193PP | Лист |
|     |      |          |       |      |                 | 5    |

## 2 ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

2.1 Расчет конструкции сороудерживающей решетки проведен методом предельных состояний по I-ой и II-ой группам, согласно [1, п. 4.1].

2.1.1. Оценкой напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкции по I-ой группе является расчет прочности и устойчивости.

Критерии расчета по I-ой группе предельных состояний:

$$1) \sigma_{прив}^{\max} \leq [\sigma];$$

2) коэффициент запаса потери устойчивости формы или положения стальных конструкций должен быть не менее 1,8, согласно [2, §191].

2.1.2 Оценка НДС по II-ой группе предельных состояний проведена путем сравнения максимальных прогибов с предельными прогибами.

Для рассматриваемой сороудерживающей решетки предельное значение относительного прогиба составляет 1/250 от расчетного пролета и равно 50 мм.

2.2 Предельные значения напряжений определены в соответствии с [3, п. 4.12] по формуле:

$$[\sigma] = \frac{R_n \cdot c \cdot \gamma_c}{\gamma_m \cdot \gamma_n}, \quad (2.1)$$

где  $R_n$  – нормативное сопротивление, принимаемое равным:

$$R_n = \sigma_T, \text{ если } \sigma_B \geq 1,3 \cdot \sigma_T \text{ или } R_n = \sigma_B, \text{ если } \sigma_B < 1,3 \cdot \sigma_T.$$

Здесь  $\sigma_T$  – предел текучести;

$\sigma_B$  – временное сопротивление;

$c$  – коэффициент перехода от основных к производным расчетным сопротивлениям, принят равным 1,05 (см. [3, п.5.3]);

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принят равным 1,0 (см. [3, п.5.5]);

$\gamma_m$  – коэффициент надежности по материалу, для стали 09Г2С-св-12 ГОСТ 19281-89 принят равным 1,05 (см. [3, п.5.4]);

$\gamma_n$  – коэффициент надежности по назначению:

для общих напряжений при основном сочетании нагрузок принят равным 1,25 (см. [3, пп.5.6–5.8]);

для местных напряжений и для общих напряжений при особом сочетании нагрузок принимаем равным 1,0 (см. [3, пп.5.6–5.8]).

Определение предельных значений напряжений произведено в таблице 2.1.

|               |              |              |               |              |                 |  |  |  |  |      |
|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|-----------------|--|--|--|--|------|
| Инов. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подп. и дата |                 |  |  |  |  |      |
|               |              |              |               |              |                 |  |  |  |  |      |
|               |              |              |               |              |                 |  |  |  |  |      |
|               |              |              |               |              |                 |  |  |  |  |      |
| Изм.          | Лист         | № докум.     | Подп.         | Дата         | 21MT1 1114193PP |  |  |  |  | Лист |
|               |              |              |               |              |                 |  |  |  |  | 6    |

Таблица 2.1 – Определение предельных значений напряжений

| Марка стали                  | Предельные напряжения |         | $\sigma_T$ , МПа | $\sigma_B$ , МПа | $R_n$ , МПа | Коэффициенты |            |            |            | [ $\sigma$ ], МПа |
|------------------------------|-----------------------|---------|------------------|------------------|-------------|--------------|------------|------------|------------|-------------------|
|                              |                       |         |                  |                  |             | $c$          | $\gamma_m$ | $\gamma_c$ | $\gamma_n$ |                   |
| 325-09Г2С<br>(св. 10 до 20)  | статика               | общие   | 325              | 470              | 325         | 1,05         | 1,05       | 1,0        | 1,25       | <b>260</b>        |
|                              |                       | местные |                  |                  |             |              |            |            | 1,0        | <b>325</b>        |
|                              | сейсмика              | общие   |                  |                  |             |              |            |            |            |                   |
| 295-09Г2С<br>(св. 20 до 32)  | статика               | общие   | 295              | 430              | 295         | 1,05         | 1,05       | 1,0        | 1,25       | <b>236</b>        |
|                              |                       | местные |                  |                  |             |              |            |            | 1,0        | <b>295</b>        |
|                              | сейсмика              | общие   |                  |                  |             |              |            |            |            |                   |
| 265-09Г2С<br>(св. 32 до 160) | статика               | общие   | 265              | 430              | 265         | 1,05         | 1,05       | 1,0        | 1,25       | <b>212</b>        |
|                              |                       | местные |                  |                  |             |              |            |            | 1,0        | <b>265</b>        |
|                              | сейсмика              | общие   |                  |                  |             |              |            |            |            |                   |

|              |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
|              |              |              |              |              |

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|      |      |          |       |      |

21MT1 1114193PP

Лист

7

### 3 РАСЧЕТНАЯ СХЕМА СОРОУДЕРЖИВАЮЩЕЙ РЕШЕТКИ

3.1 Сороудерживающая решетка состоит из нескольких секций. Согласно техническому заданию, для расчета по МКЭ выбрана секция №5 (см. рис.1.1), для которой создана расчетная схема. Расчетная схема секции получена аппроксимацией конструкции четырехугольными и треугольными пластинчатыми элементами, связанными между собой в узлах. Средний размер элемента - 50 мм. Толщины элементов соответствуют проектным толщинам.

Съемные пакеты полос секции решетки аппроксимированы элементами масс, сосредоточенными в местах их крепления к металлоконструкции секции решетки.

Расчетная схема секции изображена на рисунках 3.1 – 3.4.

3.2 Общая система координат принята, как показано на рисунках 3.1 – 3.4: ось X направлена горизонтально, перпендикулярно задней плоскости секции, ось Y – горизонтально, параллельно ригелям секции; ось Z – вертикально вверх. Начало координат находится в точке пересечения граней нижнего ригеля с безнапорной стороны, в плоскости симметрии секции.

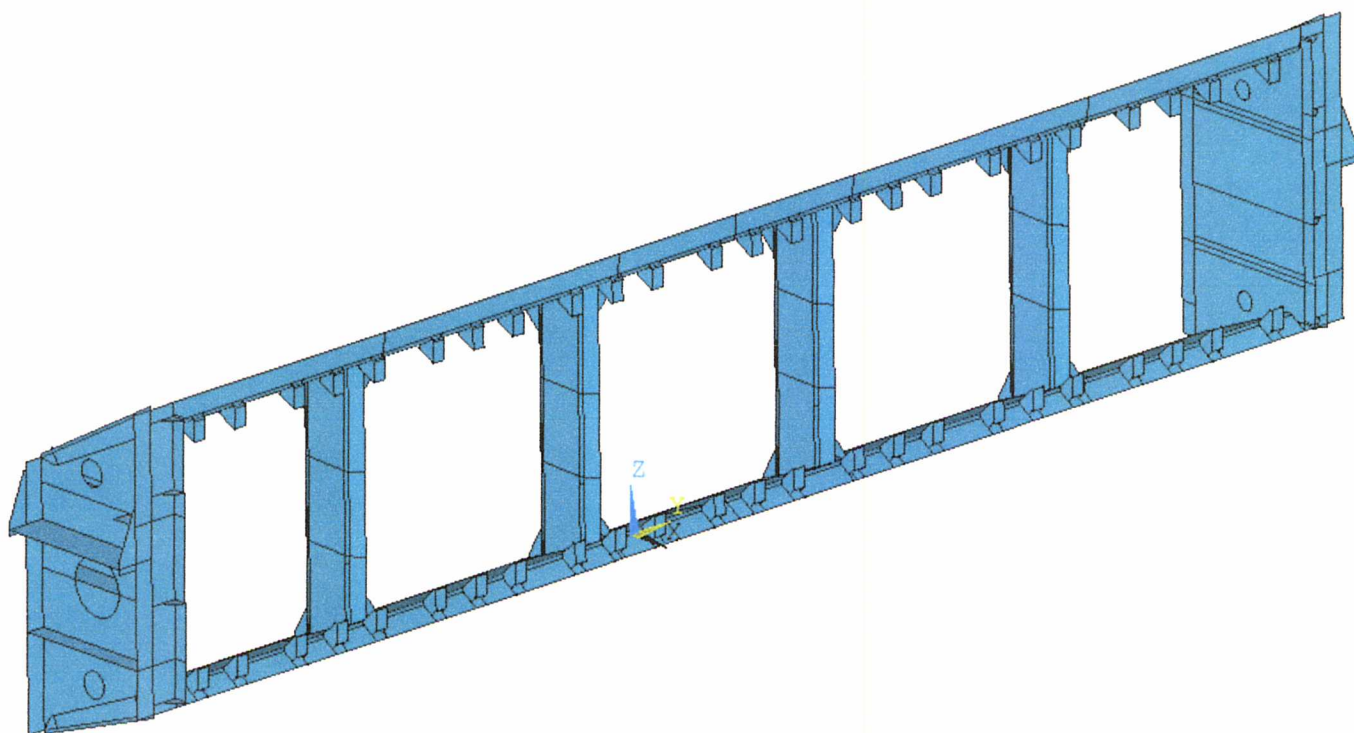


Рисунок 3.1 – Расчётная схема секции. Вид с напорной стороны

|               |              |              |               |              |
|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Инов. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подп. и дата |
|               |              |              |               |              |
| Изм           | Лист         | № докум.     | Подп.         | Дата         |
|               |              |              |               |              |

21MT1 1114193PP

Лист  
8

Копировал

Формат А4

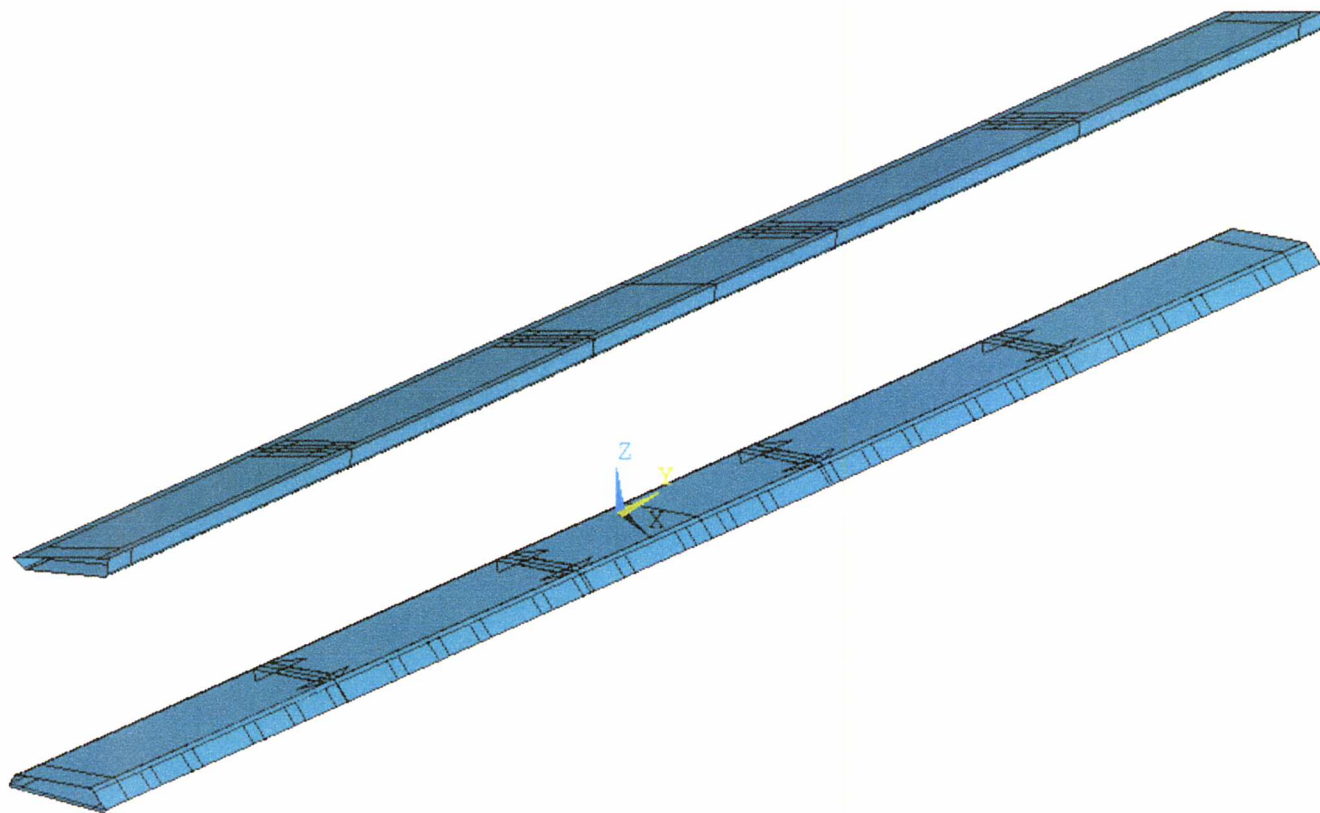


Рисунок 3.2 – Расчётная схема секции. Ригели

|              |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
|              |              |              |              |              |

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|      |      |          |       |      |

**21MT1 1114193PP**

|      |
|------|
| Лист |
| 9    |

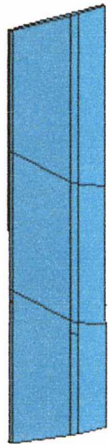
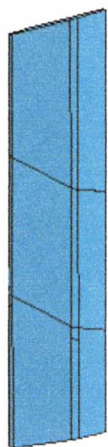


Рисунок 3.3 – Расчётная схема секции. Диафрагмы

|              |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
|              |              |              |              |              |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|     |      |          |       |      |

**21MT1 1114193PP**

Лист

10

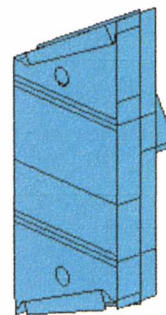
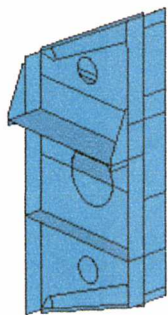


Рисунок 3.4 – Расчётная схема секции. Опорно-концевые стойки и ребра

|              |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
|              |              |              |              |              |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|     |      |          |       |      |

**21MT1 1114193PP**

Лист

11

## 4 НАГРУЗКИ И ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ

4.1 Расчет выполнен для секции сороудерживающей решетки на гидростатическую нагрузку.

Учтены следующие нагрузки:

### 1) Гидростатическое давление.

Расчетное гидростатическое давление – нагрузка, вызванная засорением очистного контура и возникающем при этом максимальном перепаде 3,0 м.

Гидростатическое давление на решетку определено по формуле:

$$P = \rho_v \cdot g \cdot h = 1000 \cdot 9,81 \cdot 3 = 29430 \text{ Па} = 0,0294 \text{ МПа},$$

где  $\rho_v$  – плотность воды,  $\rho_v = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$h$  – перепад на решетке,  $h = 3,0 \text{ м}$ .

Гидростатическое давление на секцию прикладывается в виде сосредоточенных сил, полученных путем умножения давления  $P = 0,0294 \text{ МПа}$  на площадь соответствующей части сороудерживающих полос, в узлы, соответствующие местам опирания пакета полос на секцию.

Схема приложения гидростатического давления изображена на рисунке 4.1.

### 2) Собственный вес секции.

Масса каждого элемента определена программой автоматически, с учетом коэффициента надежности по нагрузке 1,1.

### 3) Вес верхней секции.

Вес верхней секций равен 37,2 т. С учетом коэффициента надежности по нагрузке 1,1, вес верхней секции равен 40,92 т. Нагрузка от веса верхней секций приложена элементами масс в узлах, где происходит ее опирание на рассчитываемую секцию.

## 4.2 Граничные условия.

Узлы, соответствующие местам контакта рабочих полозьев с закладными частями, закреплены от перемещений по оси X.

Узлы, соответствующие местам опирания рассчитываемой секции на нижнюю секцию, закреплены от перемещений по оси Z.

Один из узлов расчетной схемы закреплен от перемещений по оси Y для пространственной фиксации (фиктивная связь).

Схема закреплений показана на рисунках 4.2 и 4.3.

## 4.3 Параметры расчетной схемы:

|                        |          |
|------------------------|----------|
| узлов                  | - 56185; |
| пластинчатых элементов | - 58479; |
| элементов масс         | - 1022.  |

|              |              |
|--------------|--------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата |
| Взам. инв. № | Инв. № дубл. |

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

21MT1 1114193PP

Лист

12

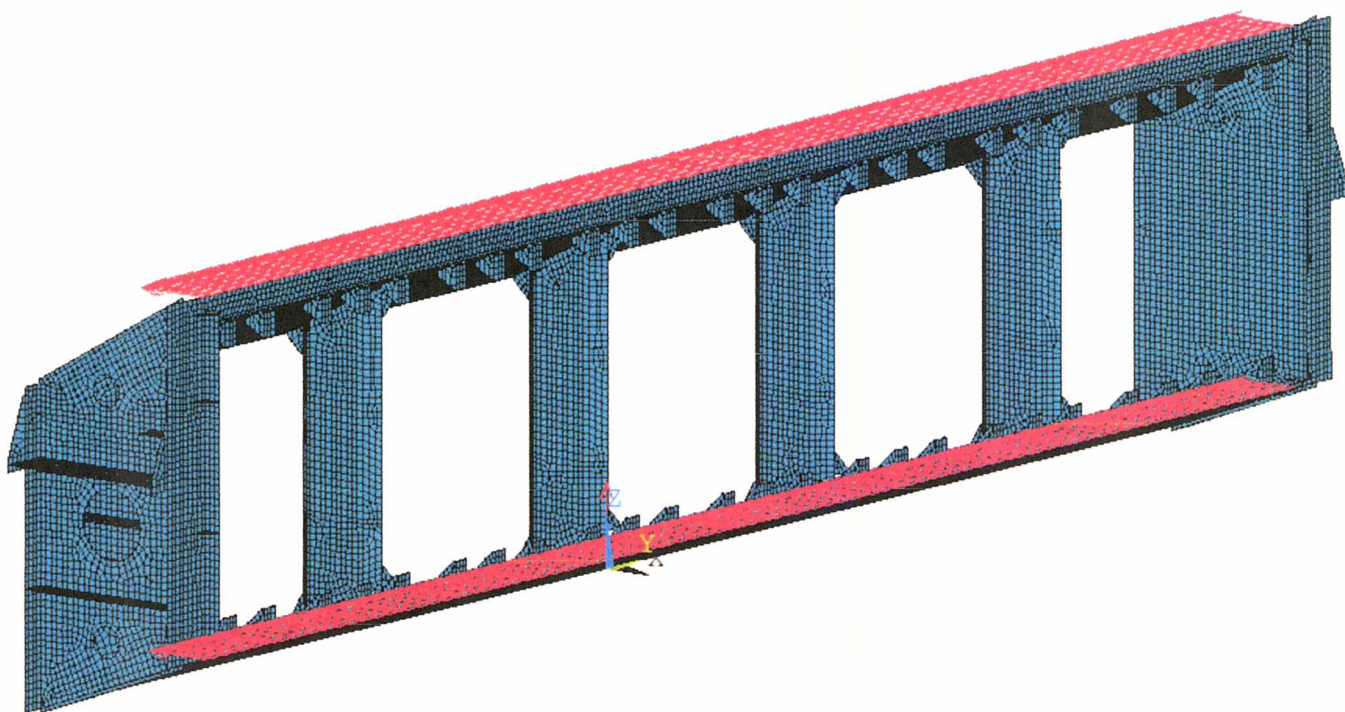


Рисунок 4.1 – Схема приложения гидростатического давления

|                 |              |              |              |              |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № подл.    | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
|                 |              |              |              |              |
| Изм             | Лист         | № докум.     | Подп.        | Дата         |
|                 |              |              |              |              |
| 21MT1 1114193PP |              |              |              | Лист         |
|                 |              |              |              | 13           |

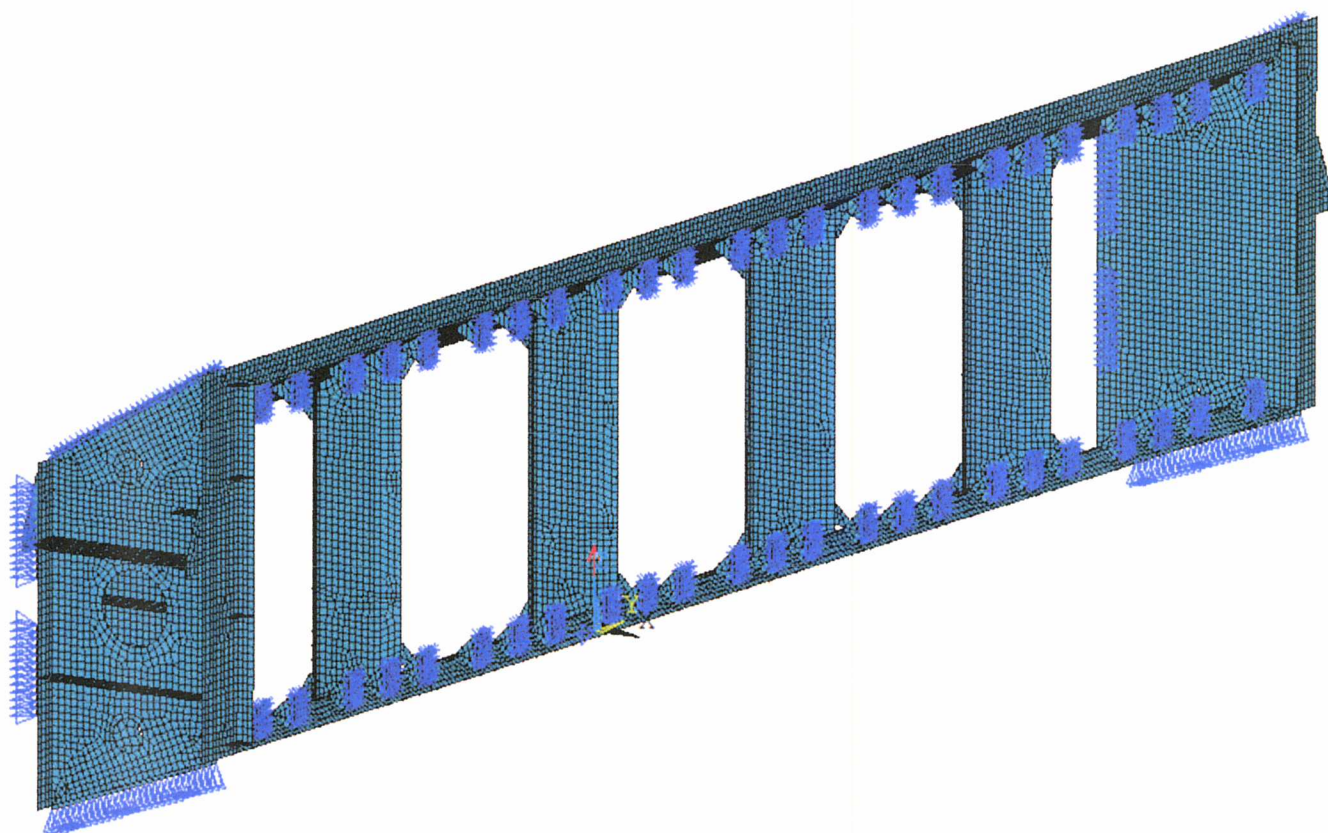


Рисунок 4.2 – Схема закреплений. Звездочками показана масса верхней секции и масса пакетов полос

|              |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
|              |              |              |              |              |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|     |      |          |       |      |

**21MT1 1114193PP**

|      |
|------|
| Лист |
| 14   |

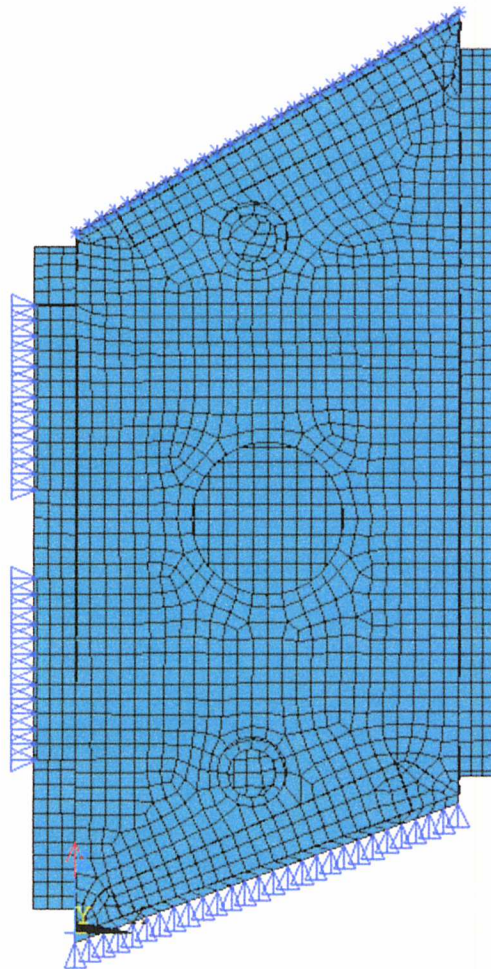


Рисунок 4.2 – Схема закреплений. Вид сбоку. Звездочками показана масса верхней секции и масса пакетов полос

|              |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
|              |              |              |              |              |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|     |      |          |       |      |

**21MT1 1114193PP**

|      |
|------|
| Лист |
| 15   |

## 5 РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА

5.1 Результаты расчета представлены:

перемещения – на рисунке 5.1;

напряжения – на рисунках 5.2 - 5.6.

Величины напряжений (по фон Мизесу) и перемещений показаны цветом, который следует сравнивать с цветовой шкалой внизу рисунка.

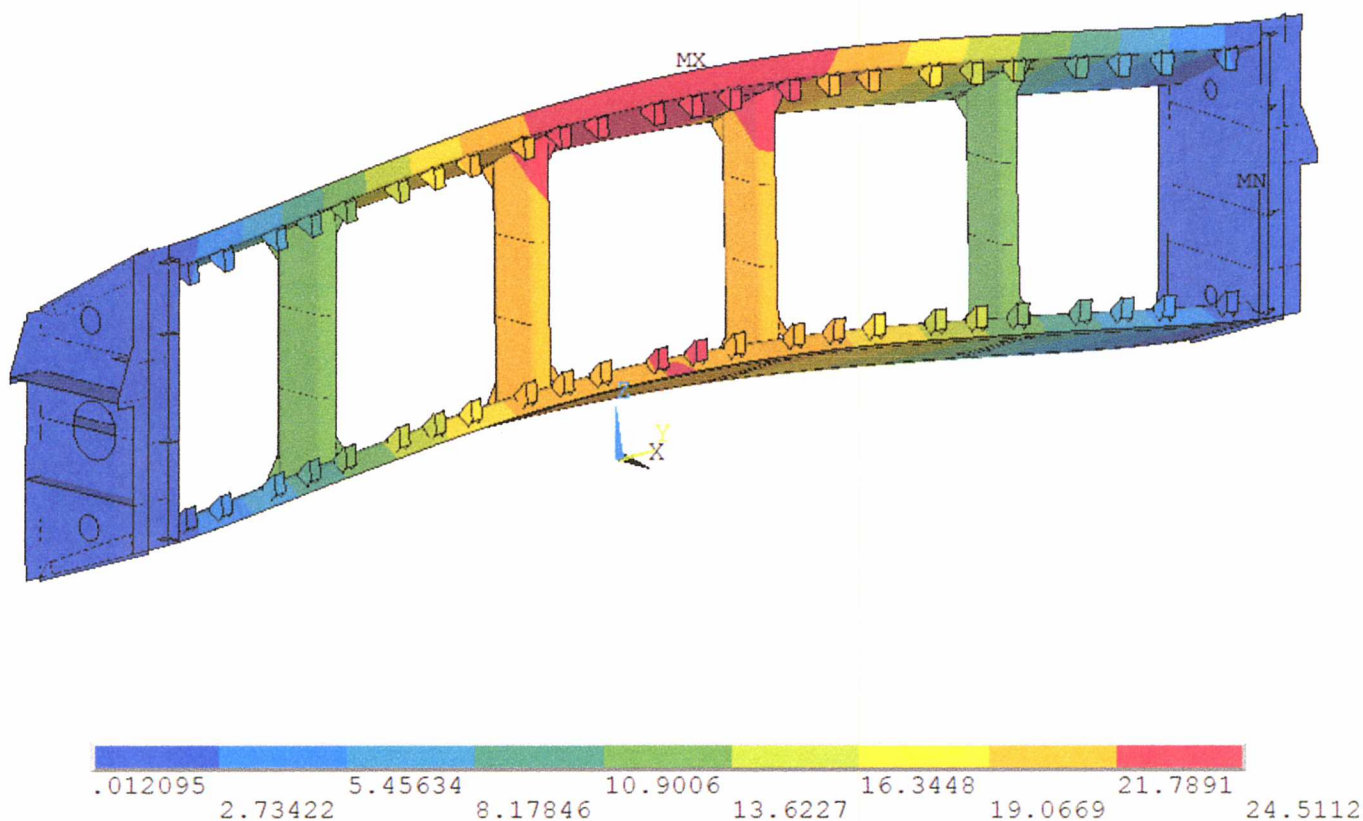


Рисунок 5.1 – Вид с напорной стороны. Результирующие перемещения, мм

|              |              |
|--------------|--------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата |
| Взам. инв. № | Инв. № дубл. |
| Подп. и дата |              |
| Инв. № подл. |              |

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

21MT1 1114193PP

Лист  
16

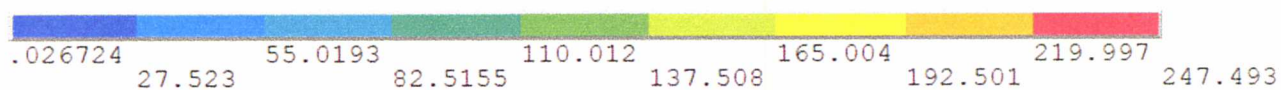
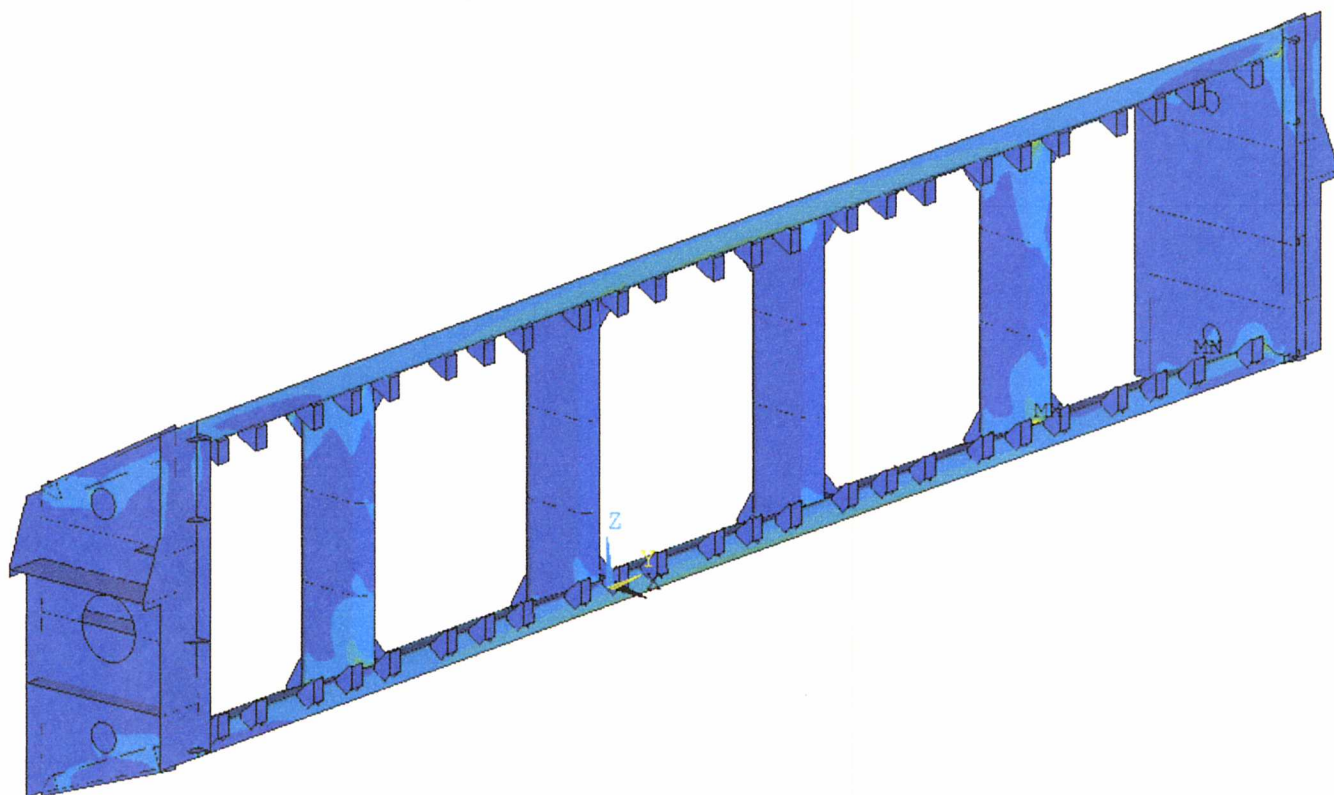


Рисунок 5.2 – Вид с напорной стороны. Приведенные напряжения, МПа

|              |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
|              |              |              |              |              |
|              |              |              |              |              |
|              |              |              |              |              |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|     |      |          |       |      |

21MT1 1114193PP

Лист

17

Копировал

Формат А4

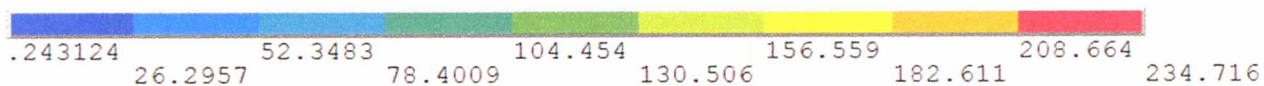
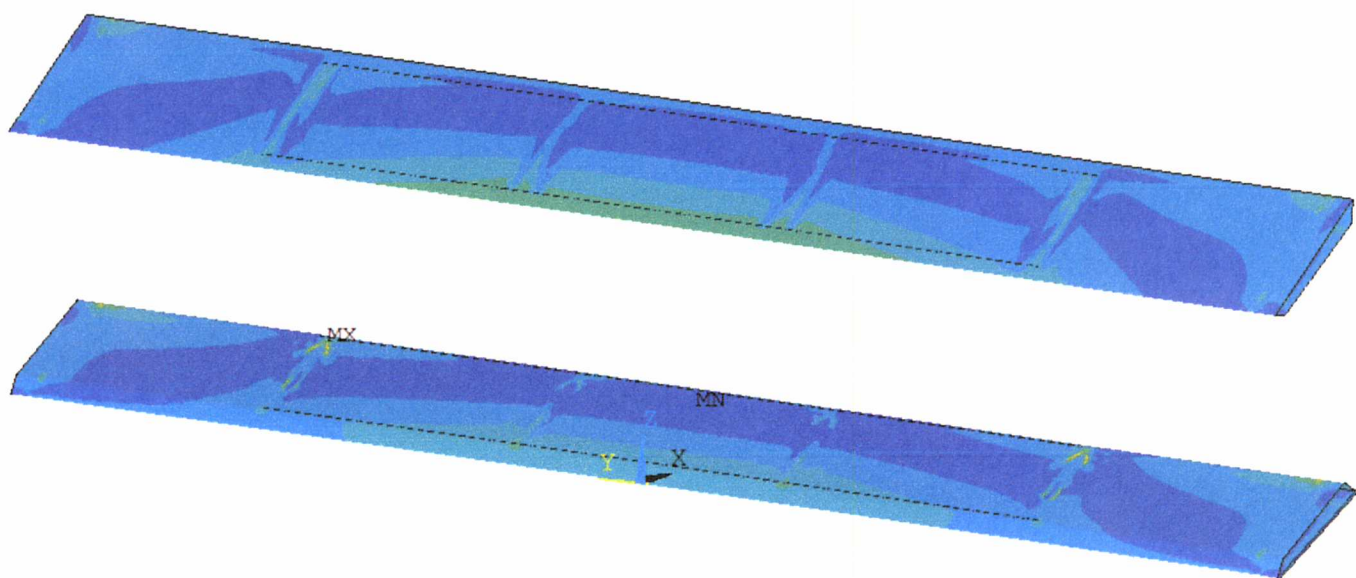


Рисунок 5.3 – Вид с безнапорной стороны. Приведенные напряжения в ригелях, МПа

|              |              |
|--------------|--------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата |
| Взам. инв. № | Инв. № дубл. |
| Подп. и дата |              |
| Инв. № подл. |              |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|     |      |          |       |      |

21MT1 1114193PP

Лист  
18

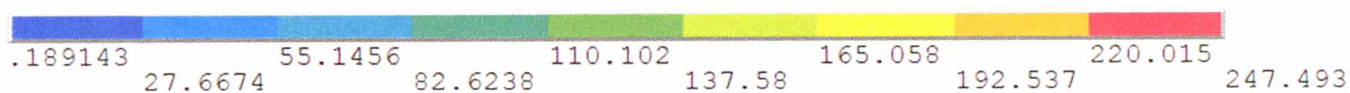
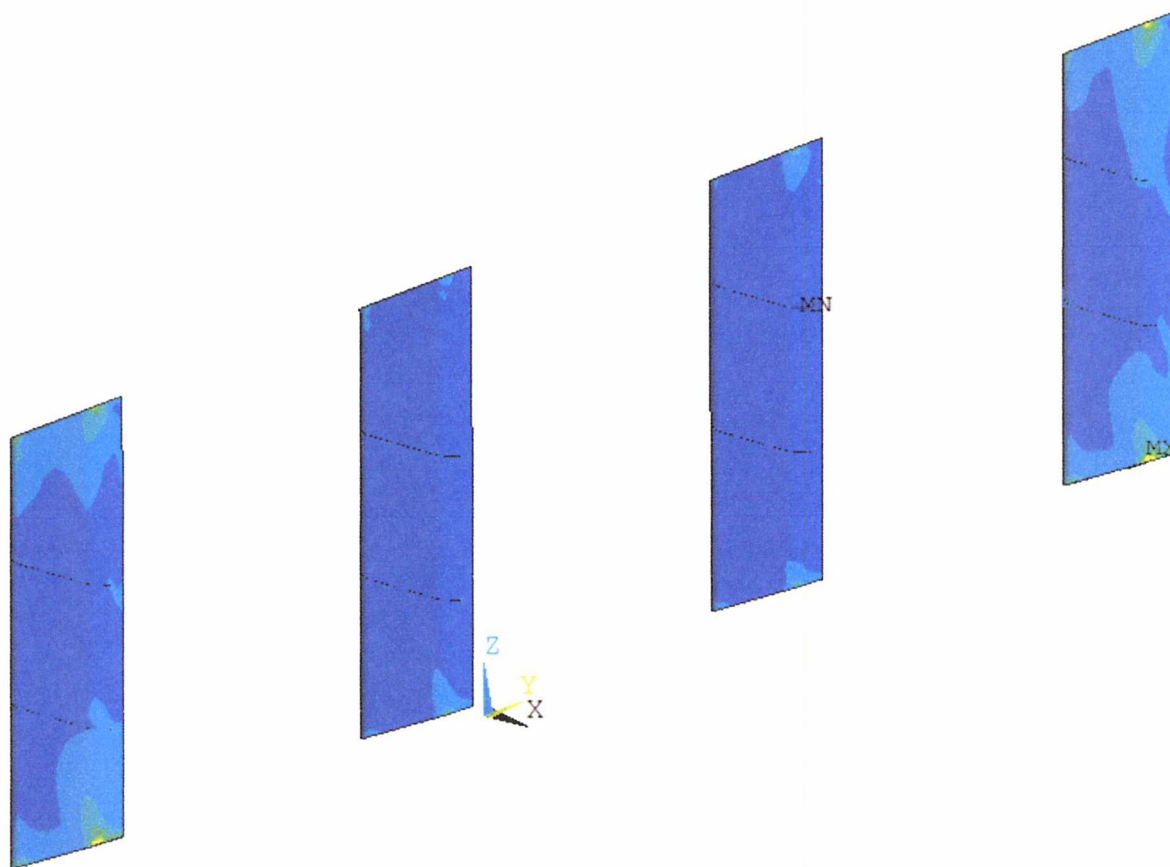


Рисунок 5.4 – Вид с напорной стороны. Приведенные напряжения в диафрагмах, МПа

|              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
| Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата | Инв. № дубл. |
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Подп. и дата |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|     |      |          |       |      |

21MT1 1114193PP

Лист  
19



|              |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
|              |              |              |              |              |
|              |              |              |              |              |
|              |              |              |              |              |
|              |              |              |              |              |

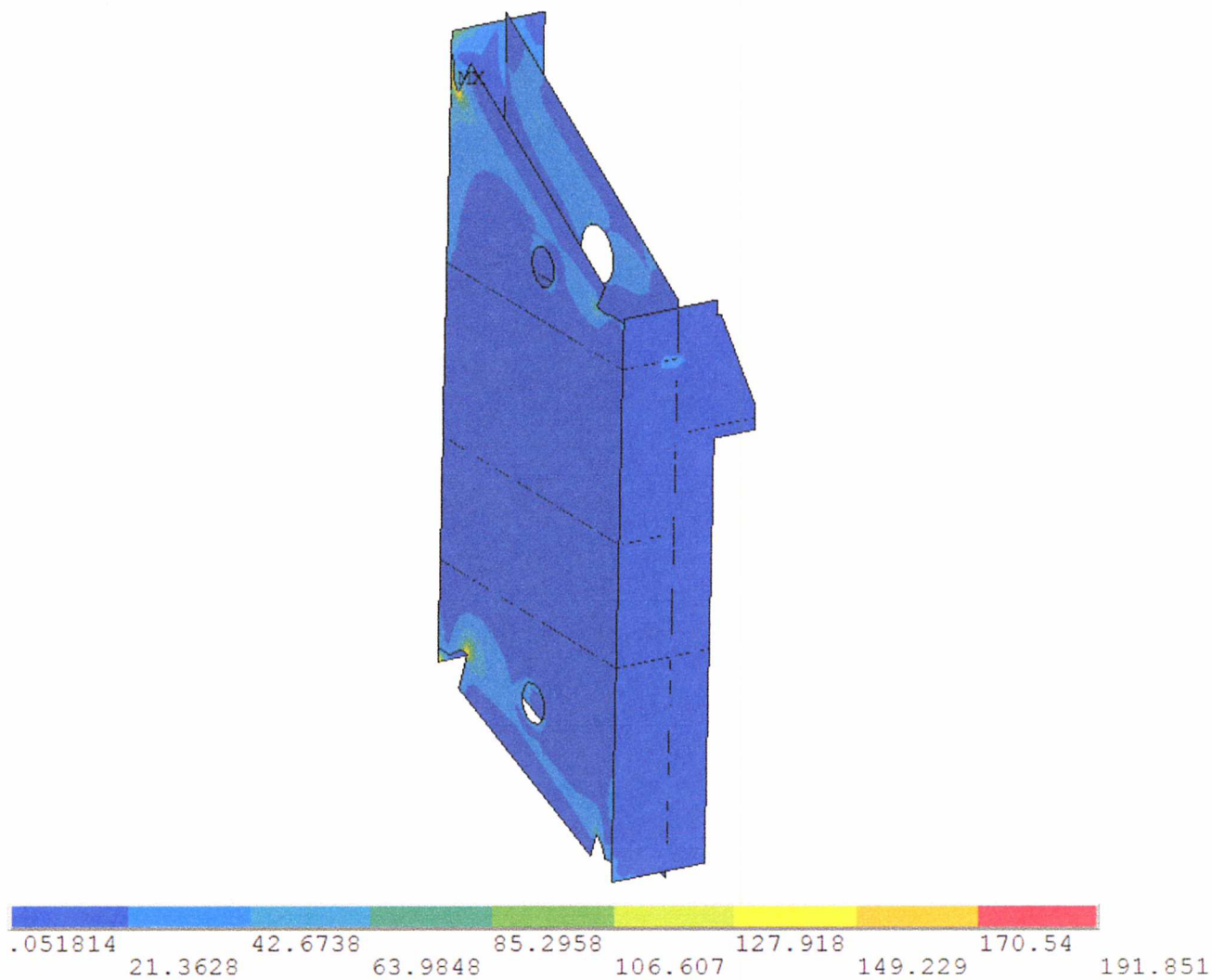


Рисунок 5.6 – Максимальные приведенные напряжения в опорно-концевых стойках и ребрах, МПа

Как видно из рисунка 5.1, максимальные результирующие перемещения – 24,5 мм находятся по центру в верхней части секции, что не превышает значение предельного прогиба, согласно п. 2.1.2.

Максимальные приведенные напряжения в отдельных частях конструкции секции сведены в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Максимальные приведенные напряжения, МПа

| №<br>п/п | Часть конструкции              | Место                                                                           | $\sigma_{\text{прив}}^{\text{max}}$ |
|----------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 1        | ригели                         | в месте примыкания крайней диафрагмы к нижнему ригелю, с напорной стороны       | 235                                 |
| 2        | диафрагмы                      | в месте примыкания крайней диафрагмы к нижнему ригелю, с напорной стороны       | 247                                 |
| 3        | опорно-концевые стойки и ребра | в месте примыкания верхнего ригеля к опорно-концевой стойке, с напорной стороны | 192                                 |

Как видно из таблицы 5.1 и рисунков 5.2 - 5.6, максимальные приведенные напряжения в металлоконструкции секции находятся в месте примыкания крайней диафрагмы к нижнему ригелю и составляют 247 МПа, что не превышает предельных значений местных напряжений по таблице 2.1.

|              |              |              |              |              |                            |      |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------------------|------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата | <div>21MT1 1114193PP</div> | Лист |
|              |              |              |              |              |                            | 22   |
|              |              |              |              |              |                            |      |
| Изм          | Лист         | № докум.     | Подп.        | Дата         |                            |      |

## 6 РАСЧЕТ НА СЕЙСМИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ

6.1 Расчет на сейсмическое воздействие выполнен на основе расчетной схемы, описанной в разделе 3. Учтены следующие массы:

- собственная масса конструкции;
- масса верхней секции.

Расчет на сейсмические воздействия складывается из двух этапов:

- 1 - определение собственных частот и форм колебаний конструкции;
- 2 - расчет по линейно-спектральной теории по заданным спектрам ответа.

6.2 Методом итерации подпространств получены первые 10 собственных частот, имеющих значения от 5,99 Гц до 44,99 Гц.

На рисунках 6.1 и 6.2 показаны первые две формы собственных колебаний.

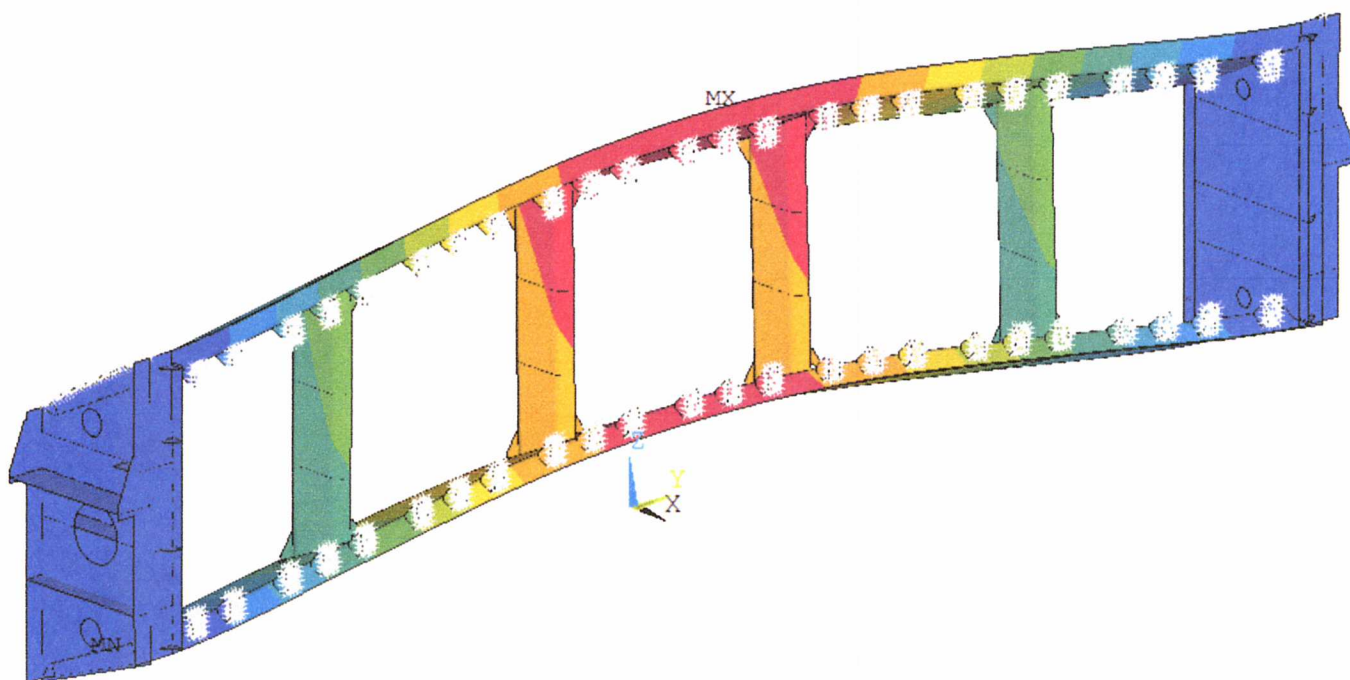


Рисунок 6.1 – 1-я форма собственных колебаний секции соответствующая частоте 5,99 Гц. Звездочками показана масса верхней секции и масса пакетов полос

|               |              |              |               |              |
|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Инов. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подп. и дата |
|               |              |              |               |              |
|               |              |              |               |              |
|               |              |              |               |              |
|               |              |              |               |              |

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|      |      |          |       |      |

21MT1 1114193PP

Лист

23

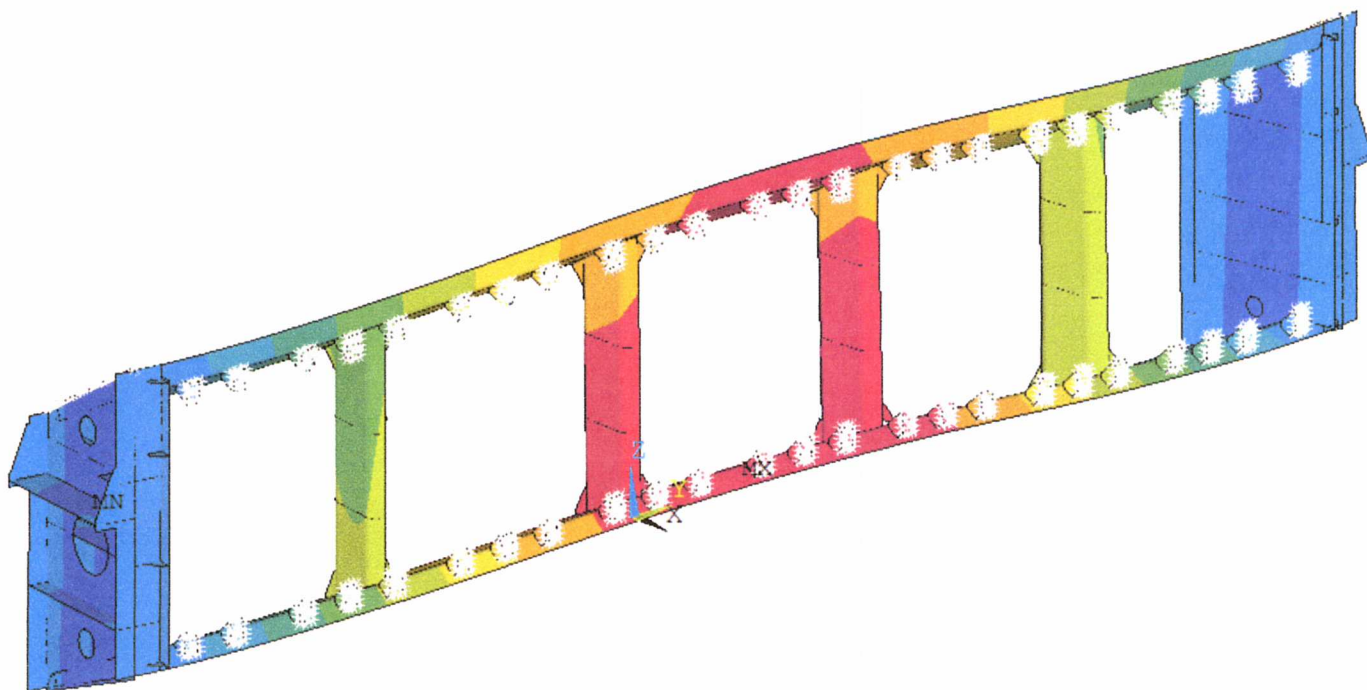


Рисунок 6.2 – 2-я форма собственных колебаний секции соответствующая частоте 15,84 Гц. Звездочками показана масса верхней секции и масса пакетов полос

6.3 Расчетная сейсмическая нагрузка для заданного уровня сейсмических воздействий 8 баллов определена по методике, изложенной в [4, п. 8.2.2]. Коэффициент затухания колебаний равен 2%. Значение ускорений в вертикальном направлении составляет 50% от значения ускорений в горизонтальном направлении.

Проекция расчетной сейсмической нагрузки  $S_{ikj}$  на направление  $j$  при  $i$ -ой форме колебаний определена по формуле:

$$S_{ikj} = K_1 \cdot K_2 \cdot Q_k \cdot A \cdot K_{\psi} \cdot \beta_i \cdot \eta_{ikj}, \quad (6.1)$$

где  $Q_k$  – вес элемента сооружения, отнесенный к точке  $k$  и определенный программой;

$\eta_{ikj}$  – коэффициент, определяемый программой по формуле (14) [4, п. 8.2];

$A$  – коэффициент, значение которого принято равным 0,2 для расчетной сейсмичности 8 баллов [4, п.5.5];

$K_1$  – коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений, принят равным 0,25;

$K_2$  – коэффициент принят равным 1,0;

$K_{\psi}$  – коэффициент, для бетонных и железобетонных сооружений при сейсмичности 8 баллов принят равным 1,0;

$\beta_i$  – коэффициент динамичности, [4, п.5.6].

Расчет проведен по линейно-спектральной теории: по заданным спектрам ответа для каждой из собственных форм определены перемещения и напряжения в конструкции. Результирующие перемещения и напряжения от всех форм определены как корень квадратный из суммы квадратов величин, соответствующих каждой форме.

Ниже приводятся перемещения и напряжения в секции от одновременного сейсмического воздействия по трем направлениям – горизонтальным по осям  $X$  и  $Y$  и вертикального по оси  $Z$ .

6.4 Результаты расчета секции на сейсмическое воздействие представлены:

- перемещения – на рисунке 6.3;
- приведенные напряжения – на рисунках 6.4-6.5.

Величины напряжений и перемещений показаны цветом, который следует сравнивать с цветовой шкалой в нижней части рисунка.

|              |              |
|--------------|--------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата |
| Взам. инв. № | Инв. № дубл. |
| Подп. и дата | Подп. и дата |

|     |      |          |       |      |                 |      |
|-----|------|----------|-------|------|-----------------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | 21MT1 1114193PP | Лист |
|     |      |          |       |      |                 | 24   |

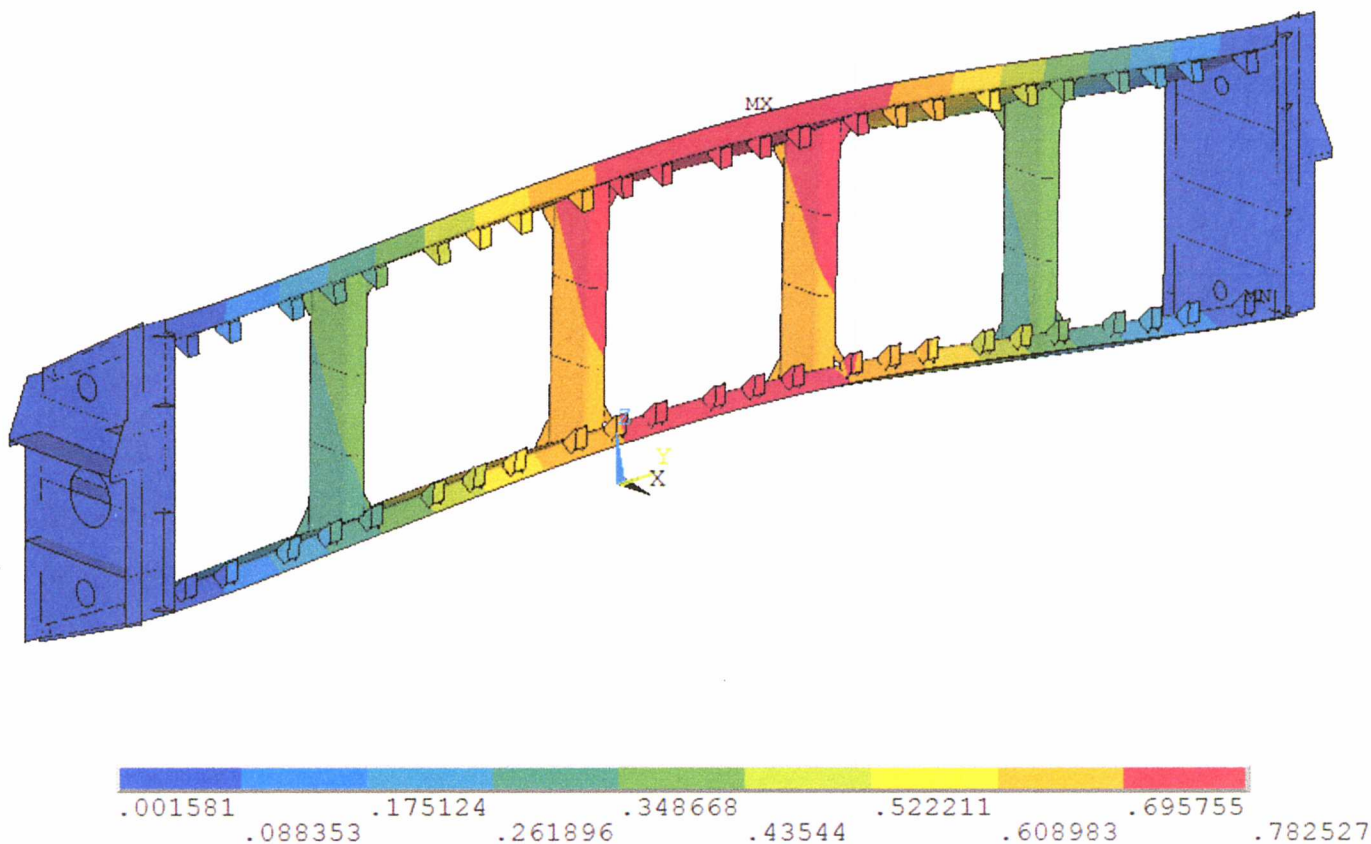


Рисунок 6.3 – Вид с напорной стороны. Результирующие перемещения от сейсмического воздействия, мм

|              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
| Взам. инв. № | Инв. №       | Взам. инв. № | Инв. №       |
| Изм          | Лист         | № докум.     | Подп.        |
| Дата         |              |              |              |

21MT1 1114193PP

Лист

25

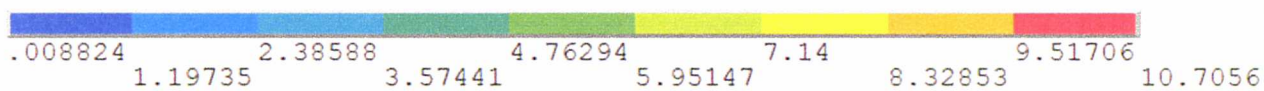
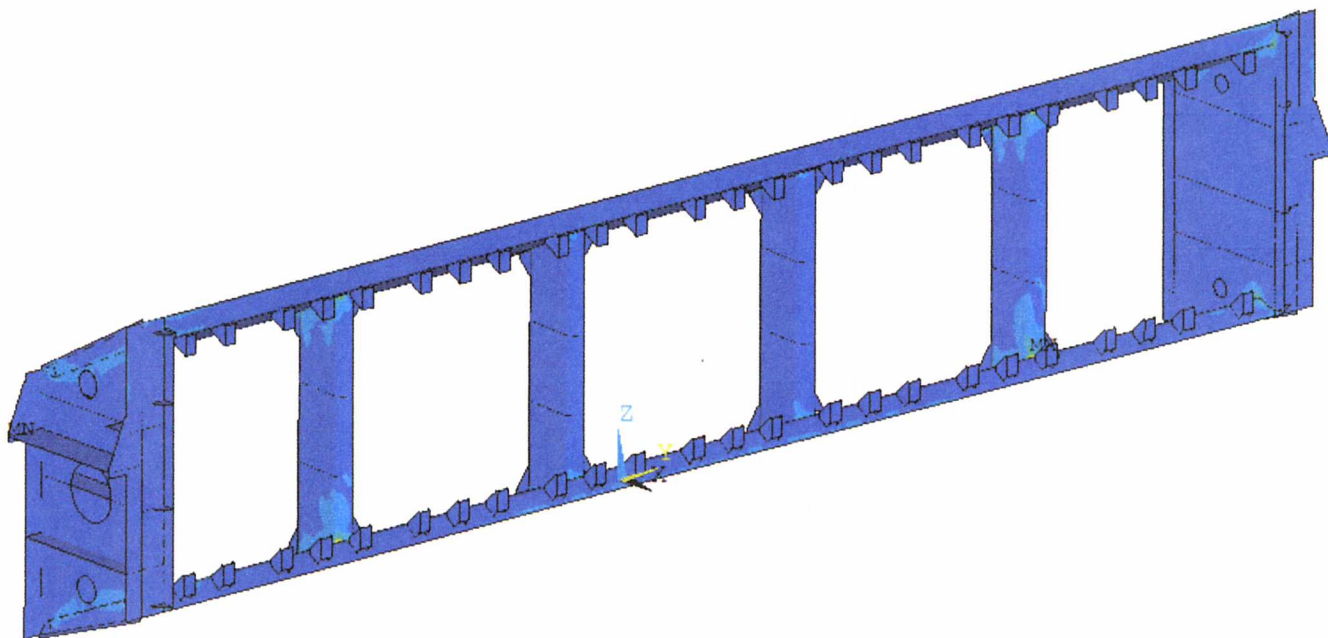


Рисунок 6.4 – Вид с напорной стороны. Приведенные напряжения от сейсмического воздействия, МПа

|              |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
|              |              |              |              |              |

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|      |      |          |       |      |

21MT1 1114193PP

|      |
|------|
| Лист |
| 26   |

|              |              |
|--------------|--------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата |
| Инв. № дубл. | Инв. № дубл. |
| Взам. инв. № | Взам. инв. № |
| Подп. и дата | Подп. и дата |
| Изм          | Лист         |
| № докум.     | Подп.        |
| Дата         | Дата         |

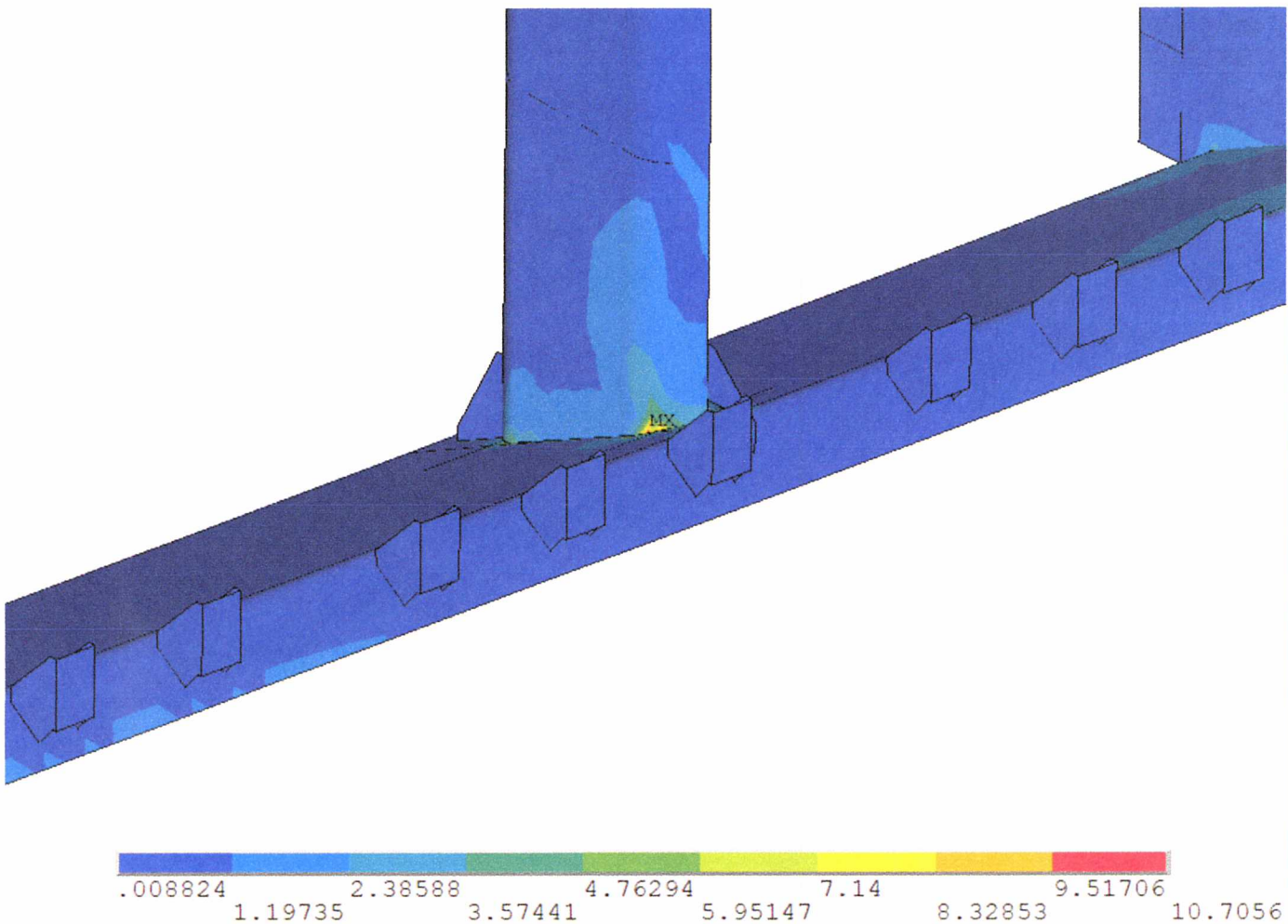


Рисунок 6.5 – Максимальные приведенные напряжения от сейсмического воздействия, МПа

## 7 СУММИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

7.1 Суммирование напряжений от статической и сейсмической нагрузок выполнено специальной программой. Напряжения определены по формулам:

$$\begin{aligned}
 \sigma_x^s &= \sigma_x^{(1)} + \sigma_x^{(2)}; & \tau_{xy}^s &= \tau_{xy}^{(1)} + \tau_{xy}^{(2)}; & \tau_{xz}^s &= \tau_{xz}^{(1)} + \tau_{xz}^{(2)}; \\
 \sigma_x^d &= \sigma_x^{(1)} - \sigma_x^{(2)}; & \tau_{xy}^d &= \tau_{xy}^{(1)} - \tau_{xy}^{(2)}; & \tau_{xz}^d &= \tau_{xz}^{(1)} - \tau_{xz}^{(2)}; \\
 \sigma_{\text{прив}}^{(1)} &= \sqrt{\sigma_x^{(1)^2} + 3\tau_{xy}^{(1)^2} + 3\tau_{xz}^{(1)^2}}; \\
 \sigma_{\text{прив}}^{(2)} &= \sqrt{\sigma_x^{(2)^2} + 3\tau_{xy}^{(2)^2} + 3\tau_{xz}^{(2)^2}}; \\
 \sigma_{\text{прив}}^{(s)} &= \sqrt{\sigma_x^{(s)^2} + 3\tau_{xy}^{(s)^2} + 3\tau_{xz}^{(s)^2}}; \\
 \sigma_{\text{прив}}^{(d)} &= \sqrt{\sigma_x^{(d)^2} + 3\tau_{xy}^{(d)^2} + 3\tau_{xz}^{(d)^2}};
 \end{aligned}
 \tag{7.1}$$

где  $\sigma_x$  – нормальное напряжение в сечении;

$\tau_{xy}, \tau_{xz}$  – касательные напряжения в сечении в двух направлениях;

индексами <sup>(1)</sup> и <sup>(2)</sup> помечены напряжения соответственно от статической и сейсмической нагрузок;

индексами <sup>(s)</sup> и <sup>(d)</sup> – напряжения от суммы и разности этих нагрузок.

Вычисления по формулам (7.1) выполнены для каждого узла элемента. В каждой точке выбрана наибольшая из двух величин  $\sigma_{\text{прив}}^{(s)}, \sigma_{\text{прив}}^{(d)}$  (поскольку напряжения от сейсмической нагрузки – знакопеременные).

7.2 Максимальные суммарные приведенные напряжения в месте примыкания крайней диафрагмы к нижнему ригелю и составляют 256 МПа, что не превышает предельных значений напряжений по таблице 2.1.

|               |              |              |               |              |                 |  |  |  |  |      |
|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|-----------------|--|--|--|--|------|
| Инов. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подп. и дата |                 |  |  |  |  |      |
|               |              |              |               |              |                 |  |  |  |  |      |
|               |              |              |               |              |                 |  |  |  |  |      |
|               |              |              |               |              |                 |  |  |  |  |      |
| Изм.          | Лист         | № докум.     | Подп.         | Дата         | 21MT1 1114193PP |  |  |  |  | Лист |
|               |              |              |               |              |                 |  |  |  |  | 28   |

## 8 РАСЧЕТ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

8.1 Результаты расчета на устойчивость, выполненного по МКЭ:

- коэффициент запаса на устойчивость  $k = 7,8$ , что удовлетворяет требованиям п. 2.1;
- форма потери устойчивости секции изображена на рисунке 8.1 – при нагрузке, превышающей заданную в 7,8 раз, теряет устойчивость лист нижнего ригеля у опорно-концевой стойки.

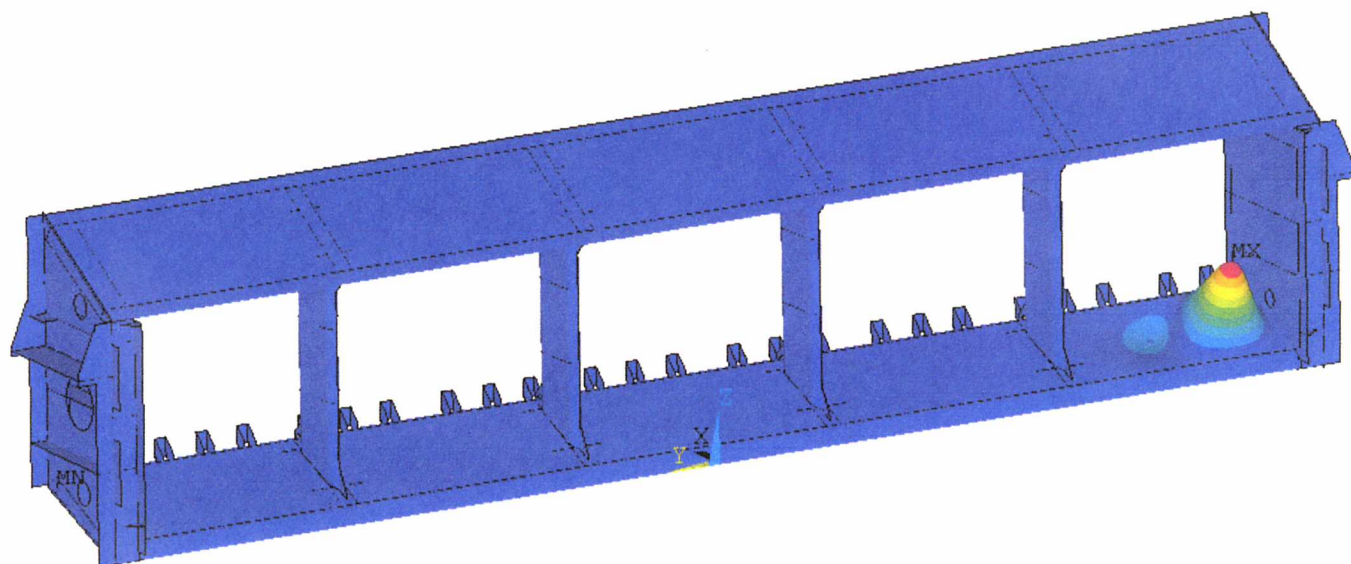


Рисунок 8.1 – Форма потери устойчивости секции

|              |              |
|--------------|--------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата |
| Взам. инв. № | Инв. № дубл. |
| Подп. и дата |              |
| Инв. № подл. |              |

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|      |      |          |       |      |

21MT1 1114193PP

Лист  
29

## 9 ВЫВОДЫ

9.1 Как видно из результатов, полученных в разделах 5-8, металлоконструкция сороудерживающей решетки удовлетворяет основным расчетным требованиям, т.е. расчетные значения напряжений, деформаций и перемещений не превысили предельных значений, установленных нормами проектирования.

|                 |              |              |              |              |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № подл.    | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
|                 |              |              |              |              |
| Изм             | Лист         | № докум.     | Подп.        | Дата         |
|                 |              |              |              |              |
| 21MT1 1114193PP |              |              |              | Лист         |
|                 |              |              |              | 30           |

## БИБЛИОГРАФИЯ

1 ГОСТ Р 54257 – 2010. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования. – М.: Стандартинформ, 2011. – 15с.

2 Н.М. Беляев. Сопротивление материалов. Государственное издательство технико-теоретической литературы. – М., 1950. – 768с.

3 СТП 00117794-2-11-95. Механическое оборудование и специальные стальные конструкции гидротехнических сооружений. Основные положения проектирования / АО «Трест Гидромонтаж»; Взамен СТП 031000-500-83; Введ. 01.01.96. – 99с.

4 СП 14.13330.2011 «СНиП II-7-81\*. Строительство в сейсмических районах» – М.: Минрегион России, 2011. - 48с.

[illegible]

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

[illegible]

| Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|              |              |              |              |              |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |

**21MT1 1114193PP**

Лист

32

Копировал

Формат А4