

# ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ НА СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ

ГОСТ 15150-69: М1,УХЛ 1

Протокол №.....	: 502-09/12-В
Дата.....	: 18.09.2019
Утвержден (+ подпись).....	: С.П. Павлов
Испытан (+ подпись).....	: А.О. Голубев
Испытательный центр.....	: Испытательная лаборатория «ВЕЛЕС» Общества с ограниченной ответственностью «Центр Сертификации «ВЕЛЕС»
Адрес.....	: 195009, город Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 12, корп. 2, лит. А, этаж 2, комн. 26
Аттестат аккредитации.....	: № РОСС RU.31485.04ИДЮ0.006
Срок действия.....	: до 26.08.2023 г.
Место проведения испытаний.....	: 195009, город Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 12, корп. 2, лит. А, этаж 2, комн. 26
Вид испытаний .....	: Сертификационные испытания
Заказчик .....	: ООО «Дефенс-Рус»
Адрес.....	: 620141, г. Екатеринбург, ул. Армавирская, д.28
Стандарт.....	: ГОСТ 15150 Климатическое исполнение М 1,УХЛ 1
Испытательная процедура.....	: Моделирование климатического воздействия
Тип объекта испытаний.....	: ограждения панельные решётчатые металлические
Торговая марка .....	:
Тип/модель.....	:
Изготовитель .....	: ООО «Дефенс-Рус»
Адрес .....	: 620141, г. Екатеринбург, ул. Армавирская, д.28



## Примечания:

В этом протоколе в качестве десятичного разделения используется запятая.

Не допускается частичная перепечатка или копирование протокола без разрешения испытательной лаборатории.

## Заключение

Ограждения панельные решётчатые металлические выпускаемые изготовителем ООО «Дефенс-Рус», соответствует:

Требованиям предъявляемым к оборудованию класса М1,УХЛ1, ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды»:

Исполнитель



/Голубев А.О./

Приложение №1  
к протоколу № 502-09/12-В

**Испытание на климатическое воздействие**  
**Ограждения панельные решётчатые металлические**



## Содержание

1. Общие сведения .....	3
2. Нагрузки и воздействия, действующие на ограждение.....	4
3. Методика расчета .....	4
4. Расчет ограждения .....	8
4.1 Анализ отрицательного климатического воздействия (-70 °С) на ограждения:.....	8
4.2 Анализ положительного климатического воздействия (+45 °С) на ограждения:.....	12
5. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	16



# 1. Общие сведения

Испытание на климатическое воздействие Ограждения панельные решётчатые металлические (далее ограждения) выполнено на основании технической документации, ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды».

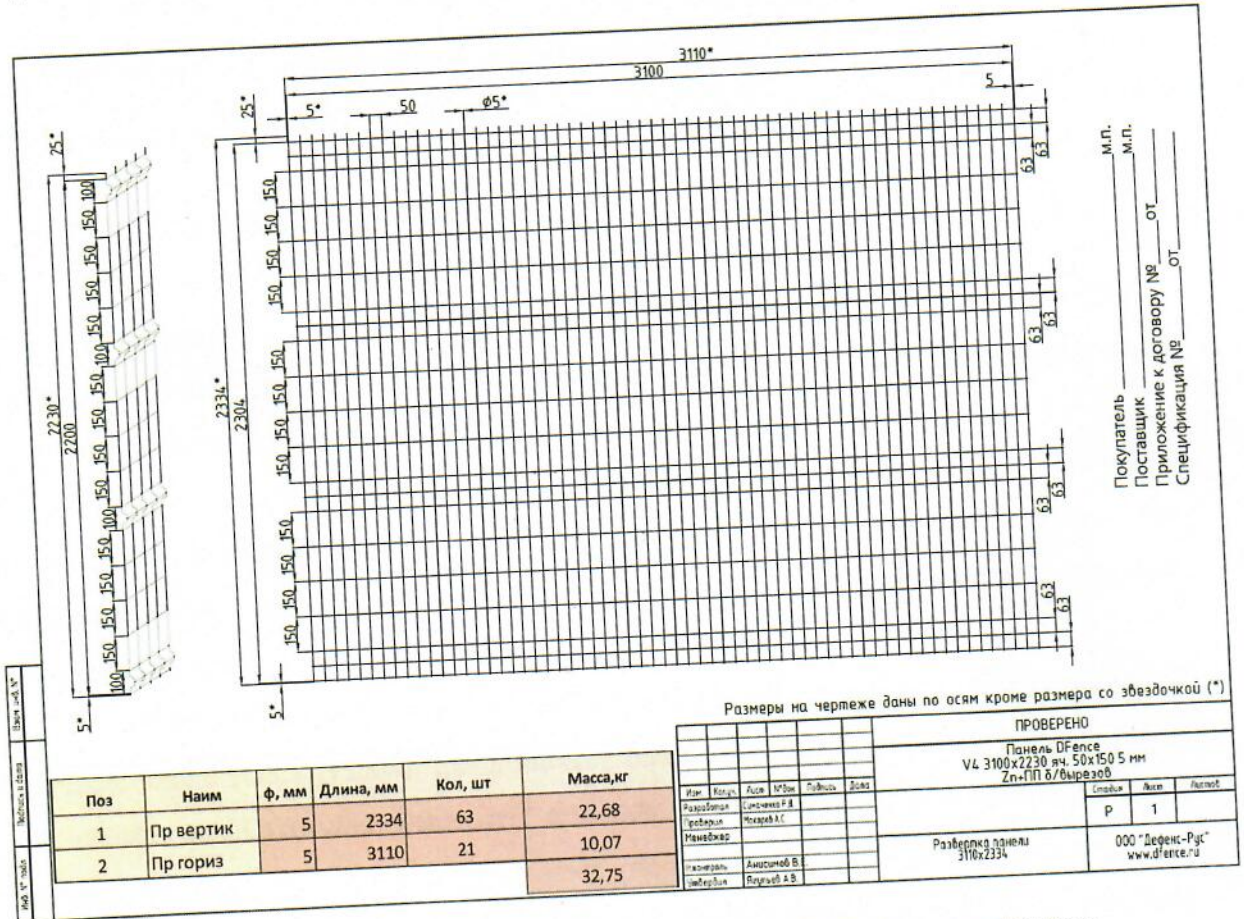


Рис. 1 Ограждения панельные решётчатые металлические



## 2. Нагрузки и воздействия, действующие на ограждение

На основании технической документации, был смоделирован участок ограждения со столбами и узлами крепления.

В качестве нагрузок были взяты следующие типы воздействий М1, УХЛ1

1. собственный вес с коэффициентом – 1,05;
2. отрицательное климатическое воздействие - 70 °С;
3. положительное климатическое воздействие + 45°С;

## 3. Методика расчета

Расчет выполнен в ПО ANSYS — универсальная программная система конечно-элементного (МКЭ) анализа. ANSYS аттестован в РОСТЕХНАДЗОРЕ России, ISO-9000 series, especially ISO-9001 and ISO 9000-3, Российской академией архитектуры и строительных наук.

Расчет, выполняемый программой ANSYS, основан на классических инженерных представлениях и концепциях. При помощи численных методов эти концепции могут быть сформулированы в виде матричных уравнений, которые наиболее пригодны для конечно-элементных приложений.

Совокупность дискретных областей (элементов), связанных между собой в конечном числе точек (узлов), представляет собой математическую модель системы. Основными неизвестными являются степени свободы узлов конечно-элементной модели. К степеням свободы относятся перемещения, повороты, температуры, давления, скорости, потенциалы электрических или магнитных полей; их конкретное содержание определяется типом элемента, который связан с данным узлом. В соответствии со степенями свободы для каждого элемента модели формируются матрицы масс, жесткости (или теплопроводности) и сопротивления (или удельной теплоемкости). Эти матрицы приводят к системам совместных уравнений, которые обрабатываются так называемыми “решателями”.

Для материалов с линейными свойствами напряжения связаны с деформациями соотношением:

$$\{\sigma\} = [D] \{\epsilon\}, \quad (1)$$

где  $\{\sigma\} = [\sigma_x \ \sigma_y \ \sigma_z \ \sigma_{xy} \ \sigma_{yz} \ \sigma_{xz}]^T$  - вектор напряжений (как выходная величина помечается меткой S);



[D] – матрица упругости (описывается уравнениями (17) ... (22), обратная матрица записывается в виде (3) и (4);

{ $\epsilon$ el} = { $\epsilon$ } – { $\epsilon$ th} - выходной массив;

{ $\epsilon$ } = [ $\epsilon_x$   $\epsilon_y$   $\epsilon_z$   $\epsilon_{xy}$   $\epsilon_{xz}$   $\epsilon_{yz}$ ]T - вектор полной (суммарной) деформации;

{ $\epsilon$ th} – вектор температурной деформации.

Компоненты вектора напряжений показаны на Рисунке 2. Для используемых в программе ANSYS напряжений и деформаций принято следующее правило знаков: величины, относящиеся к растяжению являются положительными, к сжатию - отрицательными. Компоненты сдвига считаются положительными, если их направления совпадают с направлениями соответствующих координатных осей. Деформации сдвига представляют собой инженерные деформации, а не компоненты тензора.

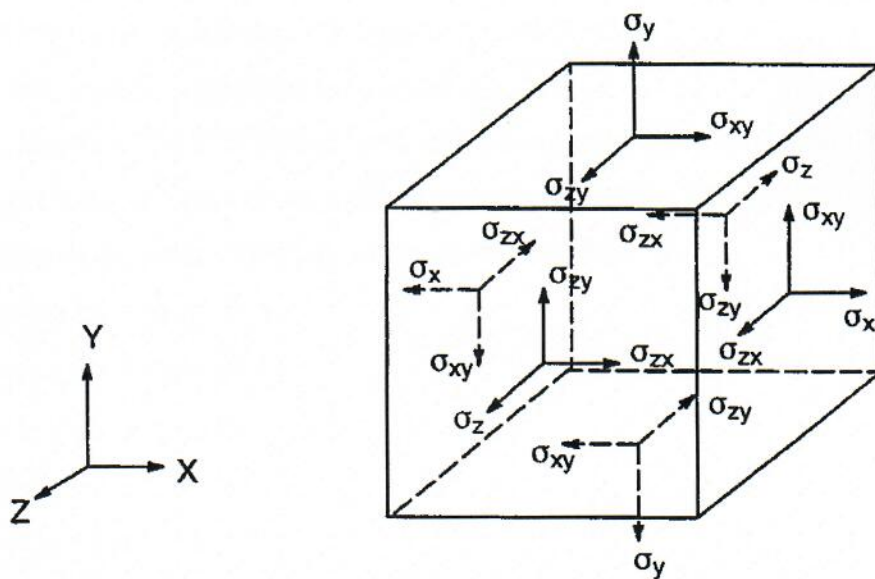


Рисунок 2.2 - Компоненты вектора напряжений

Уравнение (1) может быть обращено следующим образом:

$$\{\epsilon\} = \{\epsilon_{th}\} + [D]^{-1} \{\sigma\}. \quad (2)$$

Матрица [D]<sup>-1</sup>, нормализованная по столбцам, имеет вид:

$$[D]^{-1} = \begin{vmatrix} 1/E_x & -\nu_{xy}/E_y & -\nu_{xz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{yx}/E_x & 1/E_y & -\nu_{yz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{zx}/E_x & -\nu_{zy}/E_y & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_x & 0 & 0 \end{vmatrix}$$



$$\begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_z \end{vmatrix}$$

При использовании нормализация по строкам, матрица записывается следующим образом:

$$[D]^{-1} = \begin{vmatrix} 1/E_x & -\nu^*_{xy}/E_y & -\nu^*_{xz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu^*_{yx}/E_x & 1/E_y & -\nu^*_{yz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu^*_{zx}/E_x & -\nu^*_{zy}/E_y & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{yz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{zx} \end{vmatrix} \quad (4)$$

Для записи элементов этих матриц используются обозначения:

$E_x$  – модуль Юнга в направлении оси  $x$ ,

$\nu_{xy}$  – минимальный коэффициент Пуассона,

$\nu^*_{xy}$  – максимальный коэффициент Пуассона,

$G_{xy}$  – модуль сдвига в плоскости  $x$ - $y$ .

Матрица  $[D]^{-1}$  должна быть положительно определенной. Кроме того, эта матрица должна быть симметричной, поэтому для ортотропных материалов предполагается существование соотношений:

$$\nu_{yx} / E_x = \nu_{xy} / E_y \quad (5)$$

$$\nu_{zx} / E_x = \nu_{xz} / E_z \quad (6)$$

$$\nu_{zy} / E_y = \nu_{yz} / E_z \quad (7)$$

или

$$\nu^*_{yx} / E_y = \nu^*_{xy} / E_x \quad (8)$$

$$\nu^*_{zx} / E_z = \nu^*_{xz} / E_x \quad (9)$$

$$\nu^*_{zy} / E_z = \nu^*_{yz} / E_y \quad (10)$$

Согласно приводимым выше соотношениям, величины  $\nu_{xy}$ ,  $\nu_{zy}$ ,  $\nu_{zx}$ ,  $\nu^*_{yx}$ ,  $\nu^*_{zy}$  и  $\nu^*_{zx}$  являются зависимыми и поэтому не задаются при вводе исходных данных.

Из равенства (2) в развернутом виде, используя выражения (3), а также (5) ... (7), получаем шесть уравнений:

$$\varepsilon_x = \alpha_x \Delta T + \sigma_x / E_x - \nu_{xy} \sigma_y / E_y - \nu_{xz} \sigma_z / E_z \quad (11)$$





$$\epsilon_y = \alpha_y \Delta T + \sigma_y / E_y - \nu_{xy} \sigma_x / E_y - \nu_{yz} \sigma_z / E_z \quad (12)$$

$$\epsilon_z = \alpha_z \Delta T + \sigma_z / E_z - \nu_{xz} \sigma_x / E_z - \nu_{yz} \sigma_y / E_z \quad (13)$$

$$\epsilon_{xy} = \sigma_{xy} / G_{xy} \quad (14)$$

$$\epsilon_{yz} = \sigma_{yz} / G_{yz} \quad (15)$$

$$\epsilon_{xz} = \sigma_{xz} / G_{xz}, \quad (16)$$

где  $\epsilon_x$  - деформация в направлении оси  $x$ ,

$\epsilon_{xy}$  - деформация сдвига в плоскости  $x - y$ ,

$\sigma_x$  - напряжения в направлении оси  $x$ ,

$\sigma_{xy}$  - напряжения сдвига в плоскости  $x - y$ ;

компоненты с другими индексами получаются циклическим сдвигом ( $x - y - z$ ).

Уравнение (1) можно переписывать в развернутом виде, используя обратную матрицу (3), что вместе с уравнениями (5) ... (7) дает шесть соотношений для напряжений:

$$\sigma_x = E_x/h [1 - (\nu_{yz})^2 E_y/E_z] (\epsilon_x - \alpha_x \Delta T) + E_x/h [\nu_{xy} + \nu_{xz}\nu_{yz} E_y/E_z] (\epsilon_y - \alpha_y \Delta T) + E_x/h [\nu_{xz} + \nu_{yz}\nu_{xy}] (\epsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad (17)$$

$$\sigma_y = E_x/h [\nu_{xy} + \nu_{xz}\nu_{yz} E_y/E_z] (\epsilon_x - \alpha_x \Delta T) + E_y/h [1 - (\nu_{xz})^2 E_x/E_z] (\epsilon_y - \alpha_y \Delta T) + E_y/h [\nu_{yz} + \nu_{xz}\nu_{xy} E_x/E_y] (\epsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad (18)$$

$$\sigma_z = E_x/h [\nu_{xz} + \nu_{yz}\nu_{xy}] (\epsilon_x - \alpha_x \Delta T) + E_y/h [\nu_{yz} + \nu_{xz}\nu_{xy} E_x/E_y] (\epsilon_y - \alpha_y \Delta T) + E_z/h [1 - (\nu_{xy})^2 E_x/E_y] (\epsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad (19)$$

$$\sigma_{xy} = G_{xy} \epsilon_{xy} \quad (20)$$

$$\sigma_{yz} = G_{yz} \epsilon_{yz} \quad (21)$$

$$\sigma_{xz} = G_{xz} \epsilon_{xz}, \quad (22)$$

в которых обозначено:  $h = 1 - (\nu_{xy})^2 E_x/E_y - (\nu_{yz})^2 E_y/E_z - (\nu_{xz})^2 E_x/E_z - 2 \nu_{xy} \nu_{yz} \nu_{xz} E_x/E_z$ .

Если модули сдвига  $G_{xy}$ ,  $G_{yz}$ ,  $G_{xz}$  не задаются при вводе, то их значения вычисляются следующим образом:

$$G_{xy} = (E_x E_y) / (E_x + E_y + 2 \nu_{xy} E_x) \quad (23)$$

$$G_{yz} = G_{xy} \quad (24)$$

$$G_{xz} = G_{xy} \quad (25)$$



## 4. Расчет ограждения

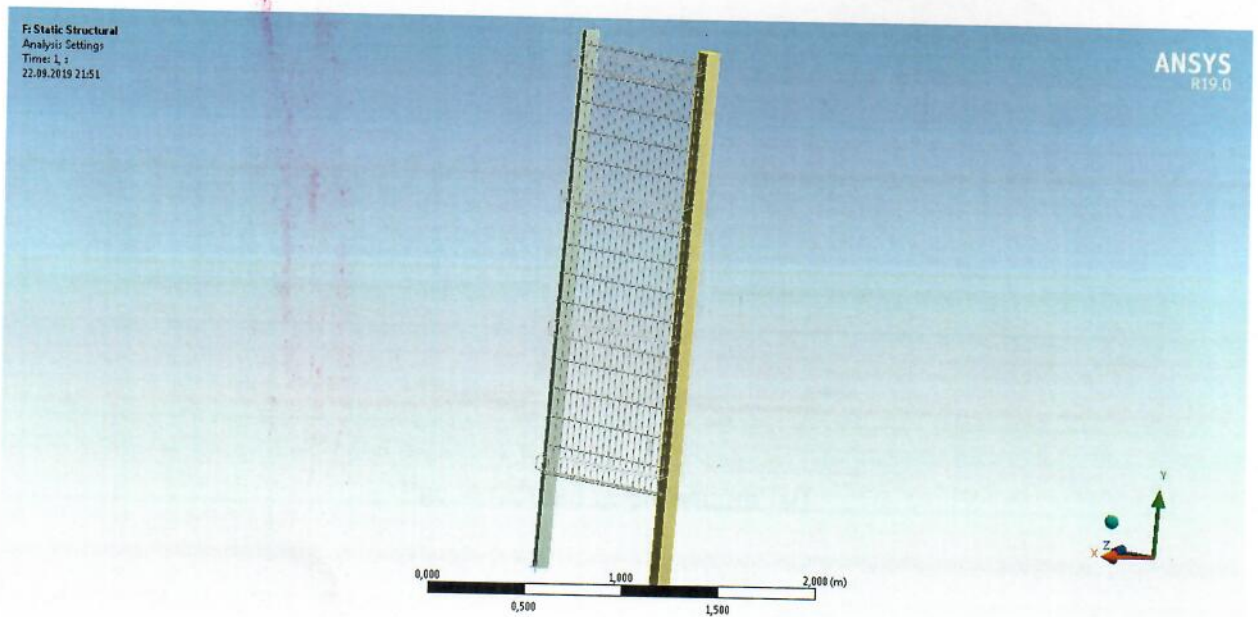


Рис. 2 Расчетная аппроксимированная модель

### 4.1 Анализ отрицательного климатического воздействия ( $-70^{\circ}\text{C}$ ) на ограждения:

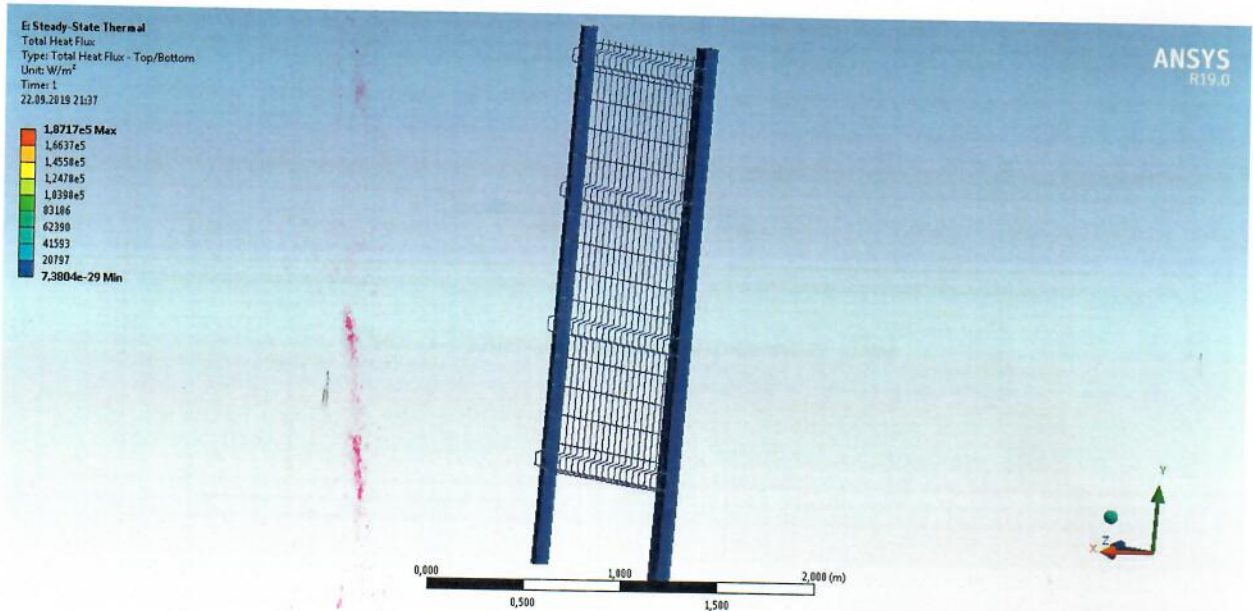


Рис. 3 Общий тепловой поток



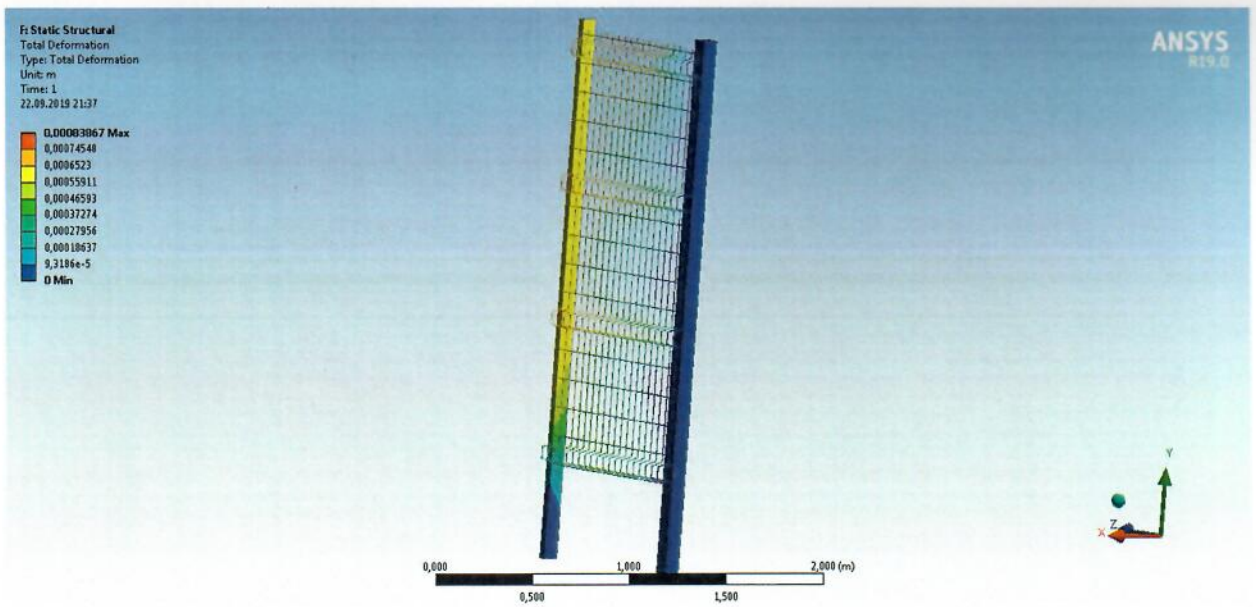


Рис. 4 Общие деформации [м]

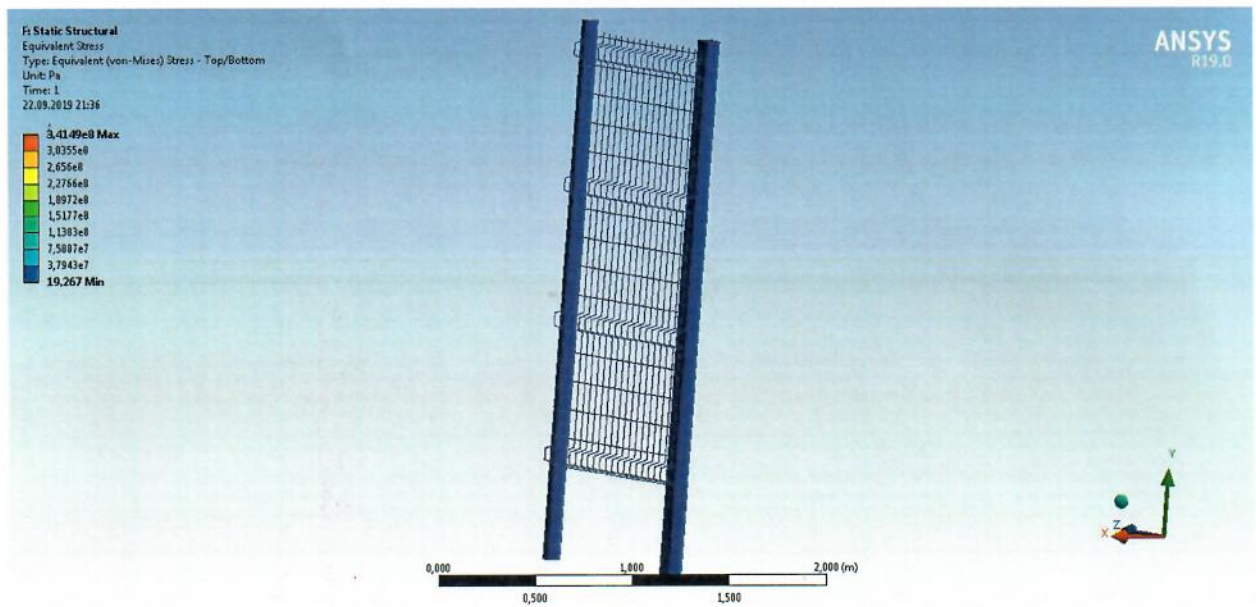


Рис. 5 Эквивалентные напряжения [Па]



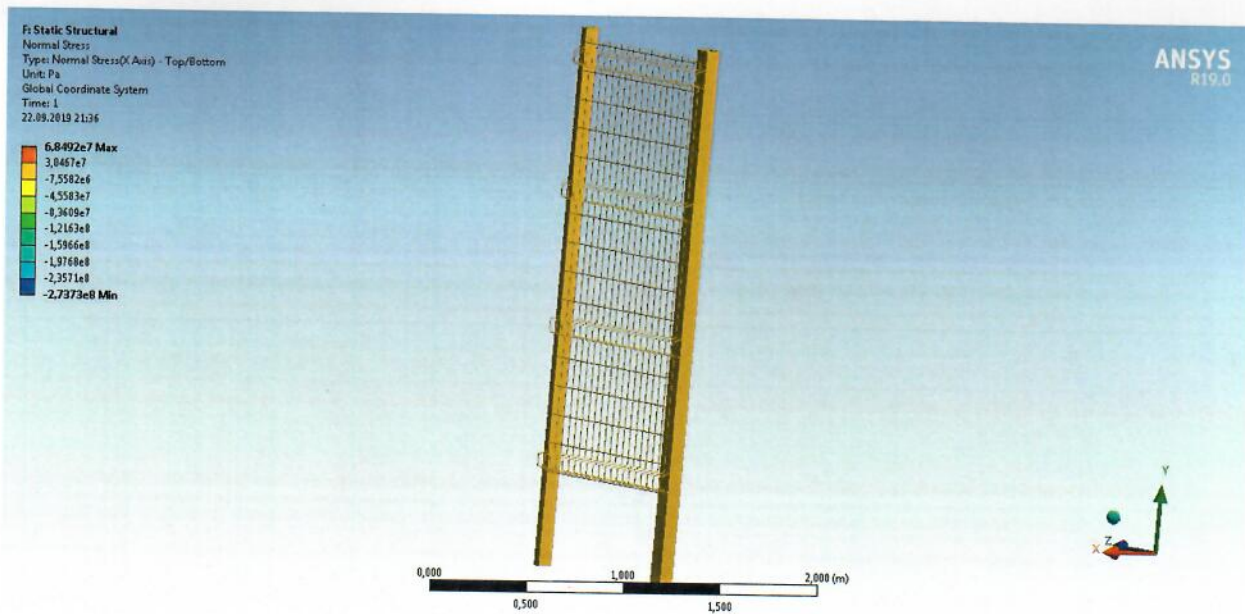


Рис. 6 Нормальные напряжения по X [Па]

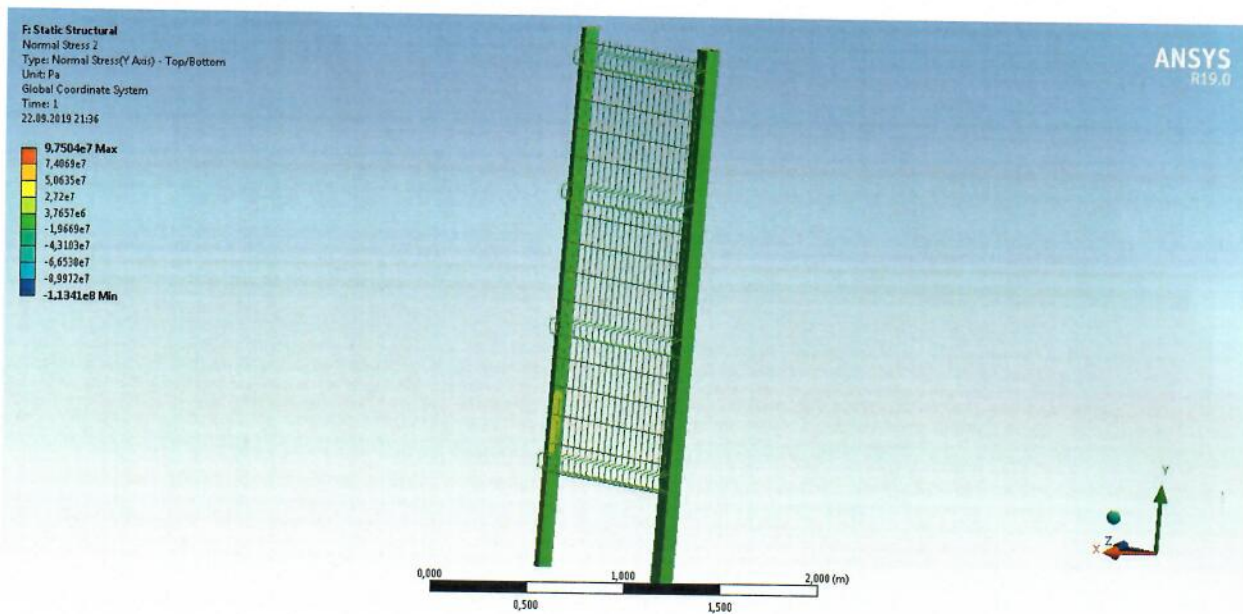


Рис. 7 Нормальные напряжения по Y [Па]

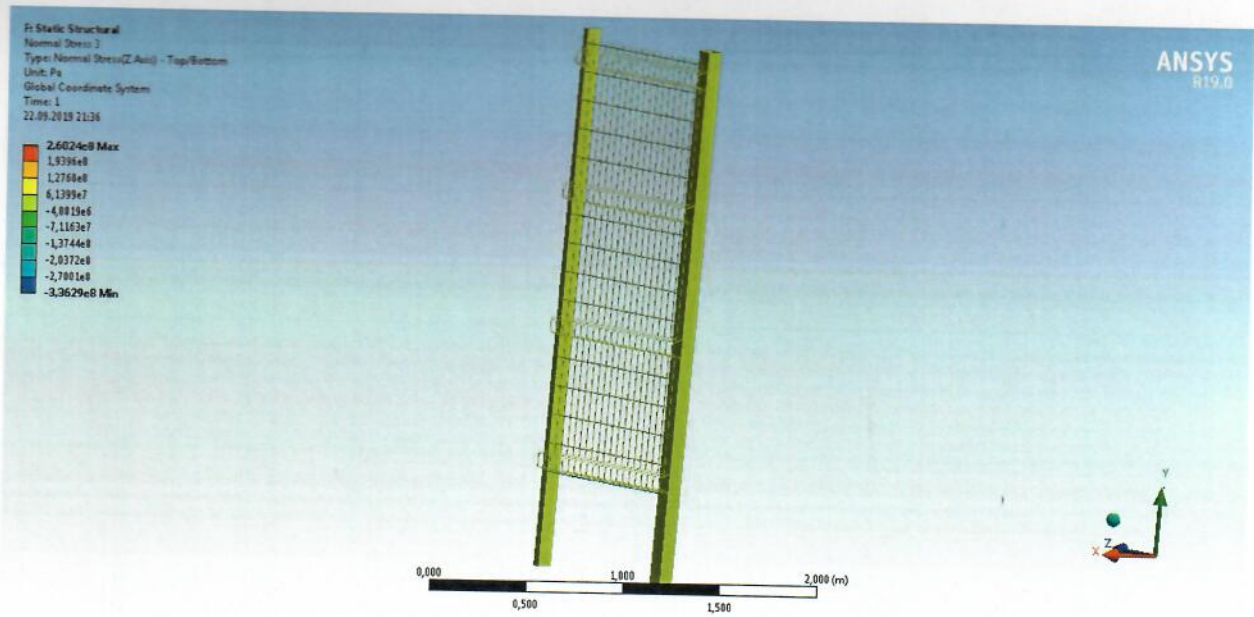


Рис. 8 Нормальные напряжения по Z [Па]

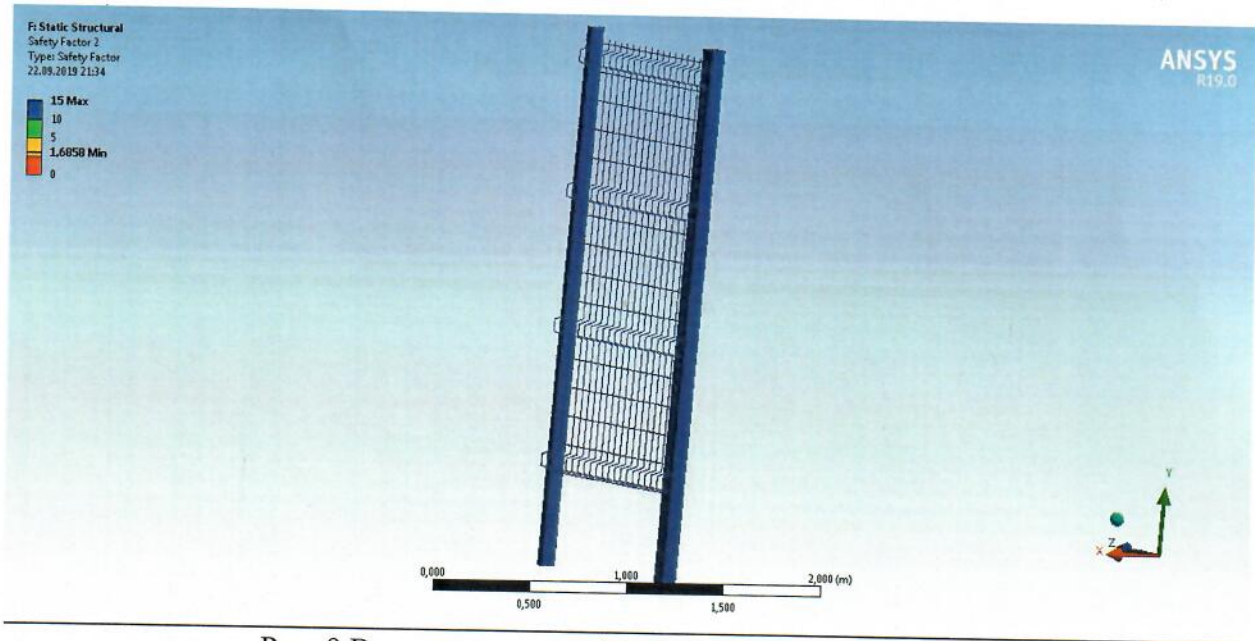


Рис. 9 Визуализация коэффициента запаса прочности



#### 4.2 Анализ положительного климатического воздействия (+45 °C) на ограждения:

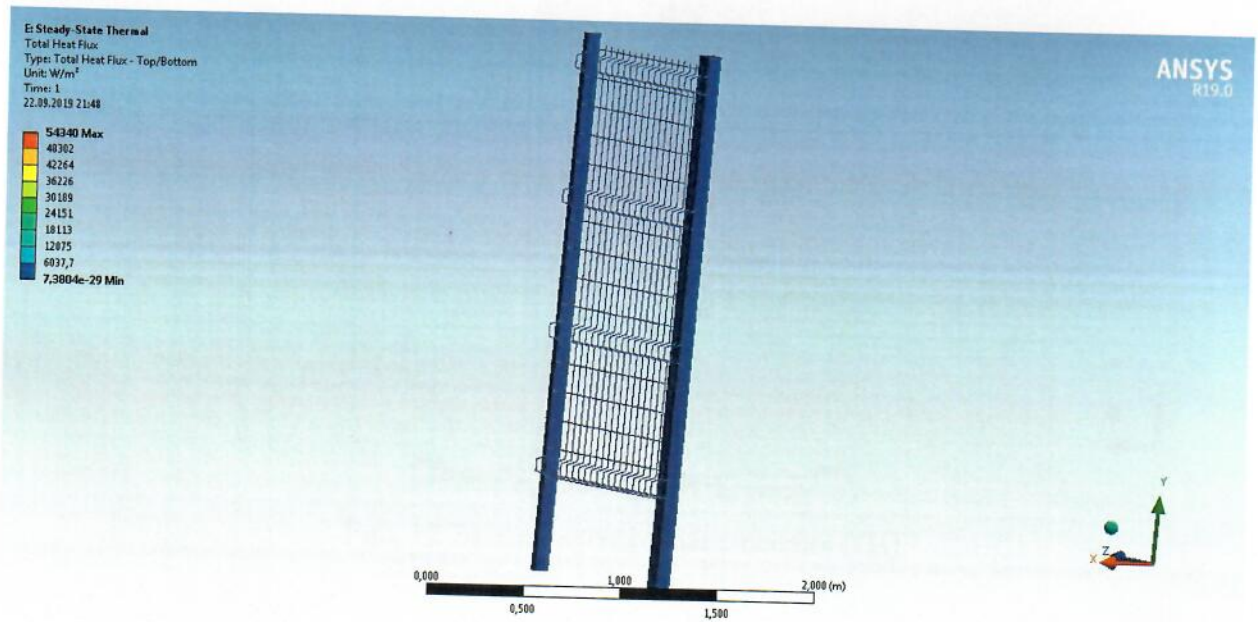


Рис. 10 Общий тепловой поток

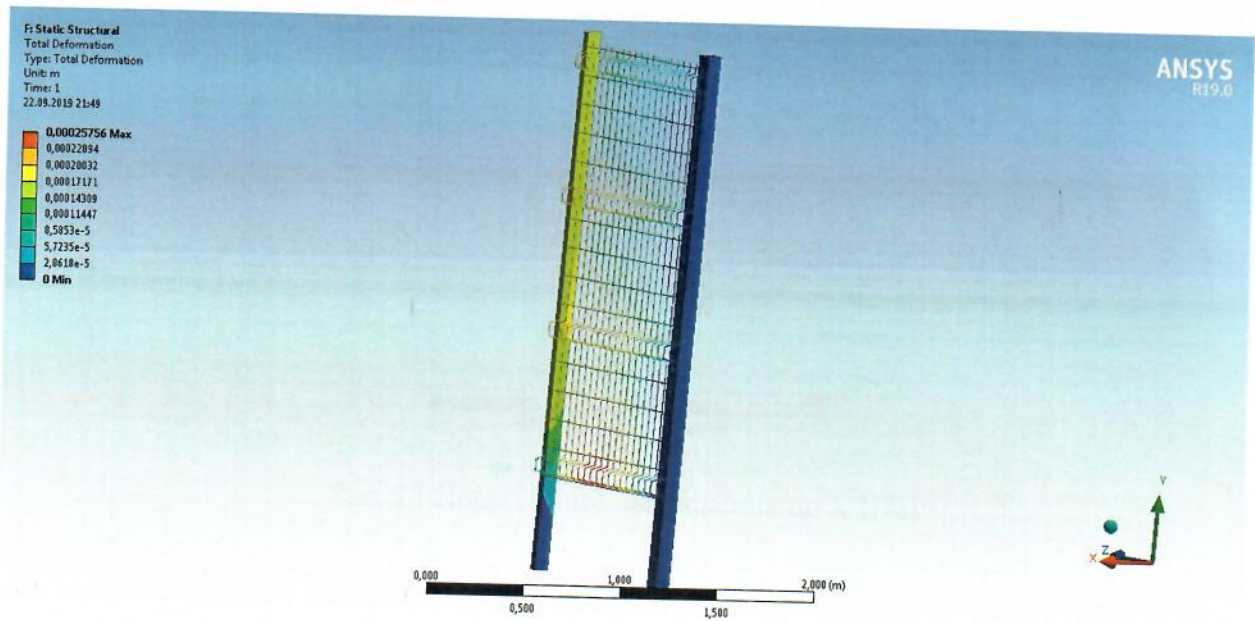


Рис. 11 Общие деформации [м]

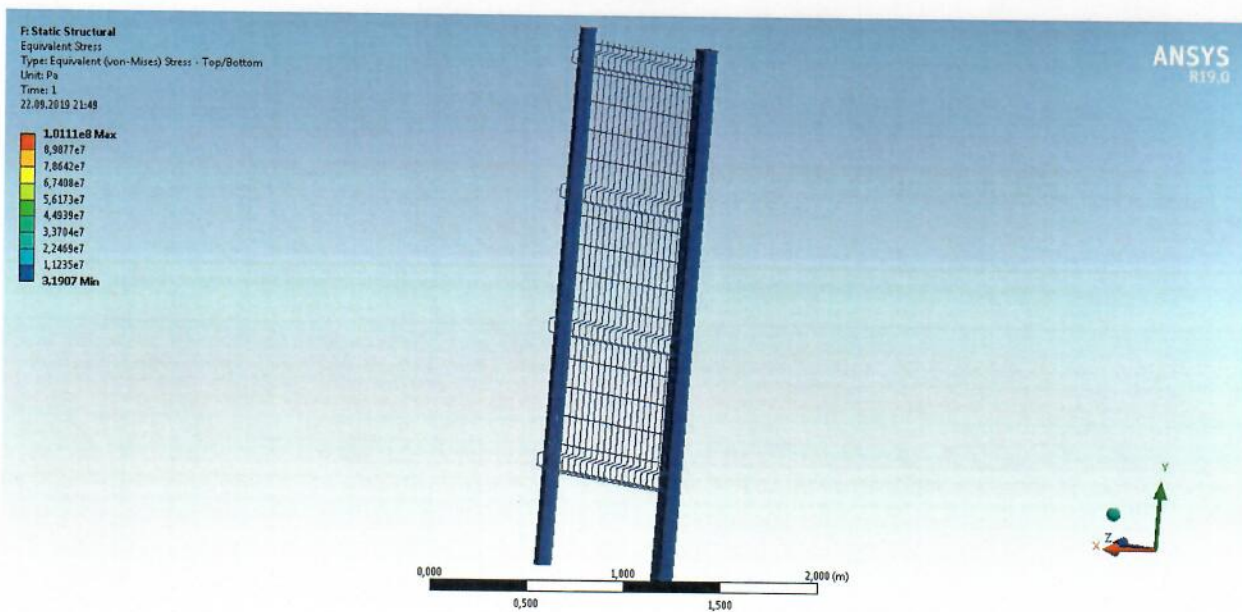


Рис. 12 Эквивалентные напряжения [Па]

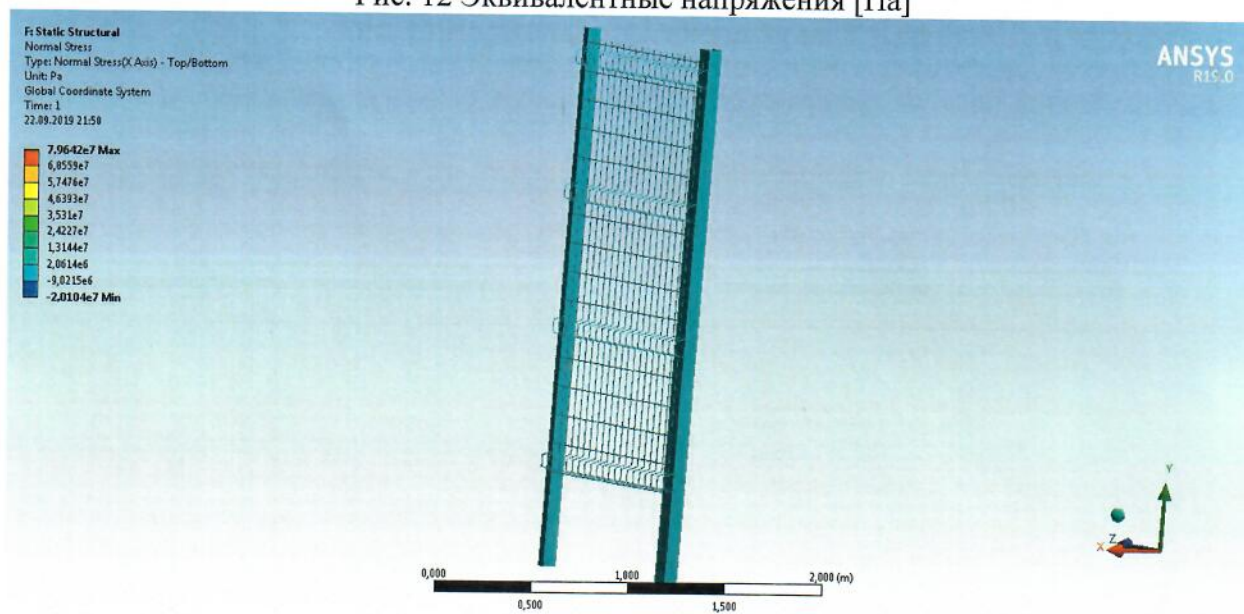


Рис. 13 Нормальные напряжения по X [Па]

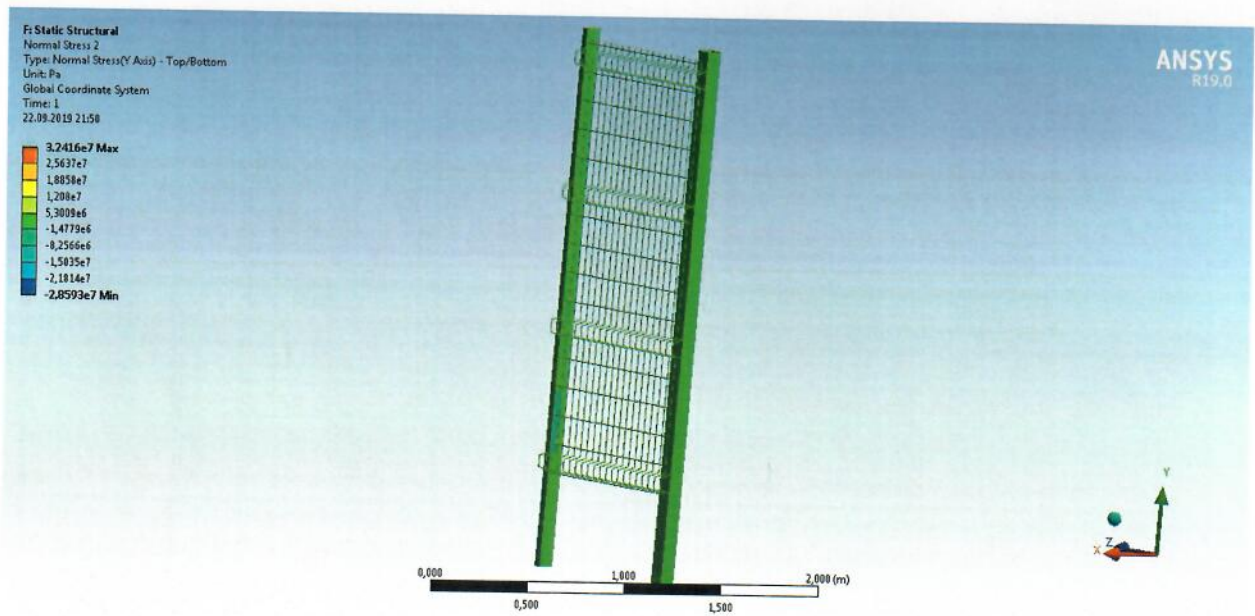


Рис. 14 Нормальные напряжения по Y [Па]

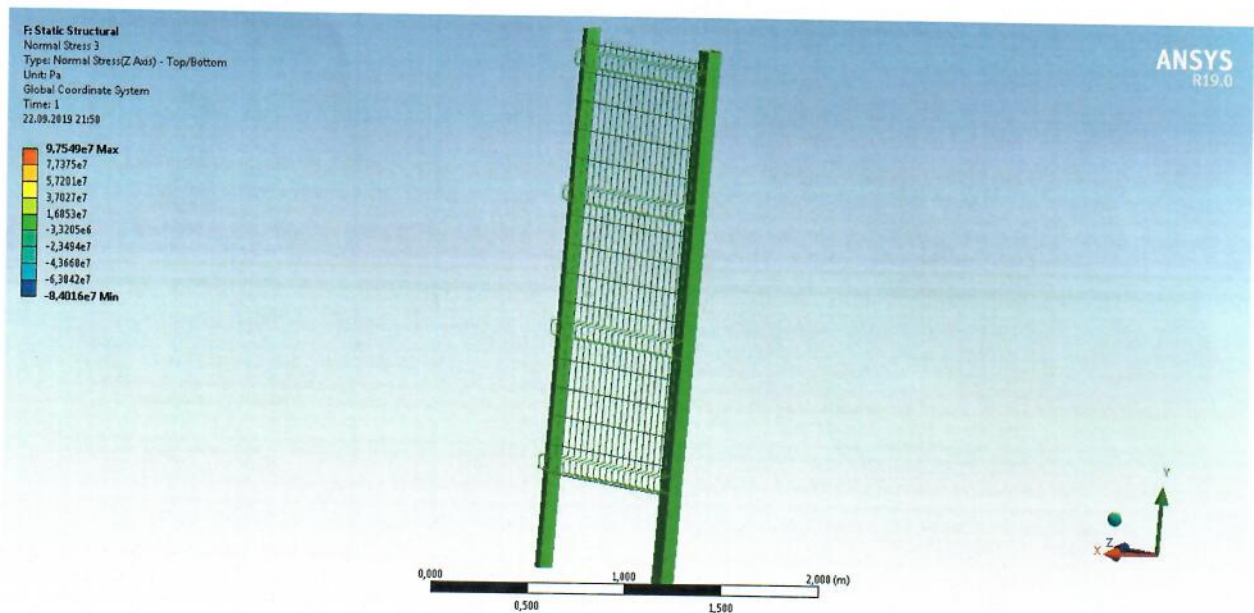


Рис. 15 Нормальные напряжения по Z [Па]



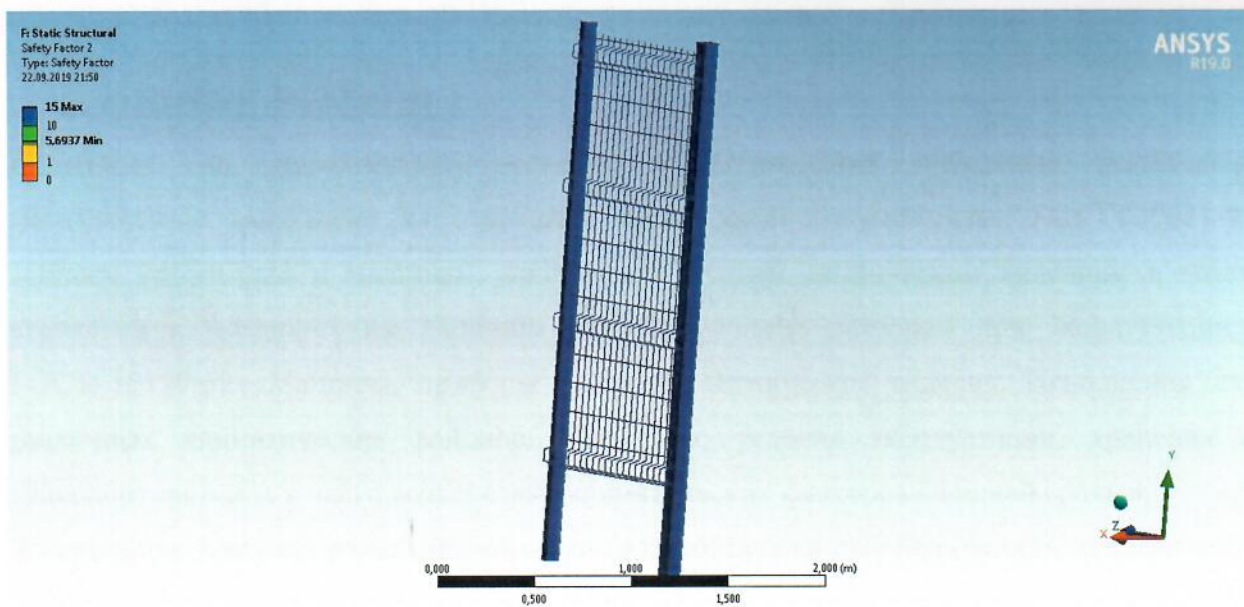


Рис. 16 Визуализация коэффициента запаса прочности

## 5. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Испытание на климатическое воздействие Ограждения панельные решётчатые металлические выполнено на основании технической документации, ГОСТ 30631-99 «Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам при эксплуатации», ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды»;
2. В испытании представлены: климатическое воздействие на преобразователь, визуализация коэффициента запаса прочности;
3. На основании проведенного испытания можно сделать вывод, что прочность ограждений панельных решётчатых металлических от отрицательного ( $-70^{\circ}\text{C}$ ) и положительного ( $+45^{\circ}\text{C}$ ) климатического воздействия обеспечена.