



**АЛЪЯНС**  
испытательная лаборатория

ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ «АЛЪЯНС» ОБЩЕСТВА С ОГРА-  
НИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «АЛЪЯНС»

142211, Московская область, город Серпухов, Береговая улица, 37  
phone: + 7 (977) 878 68 43; email: office@all-sert.ru  
РОСС RU.32457.04РИДО.ИЛ06, сроком действия до 09.06.2025 года

**ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ**

**№ АЛ-23/01-0579 от 26.01.2023 г.**

Место проведения испытаний:	Испытательная лаборатория «АЛЪЯНС»
Заявитель:	Индивидуальный предприниматель Золотова Людмила Аркадьевна. Юри- дический адрес: 425204, Республика Марий Эл, Медведевский р-н, п.Новый ул.Луговая 4-я, д. 40. Фактический /почтовый адрес: 425200, Республика Ма- рий Эл, Медведевский р-н, пгт.Медведево, Чехова 22 г. Электронная почта zavod@esteelbox.ru. ИНН 432701065602
Наименование продукции:	Металлокорпус (оболочка) для НКУ
Изготовитель:	Индивидуальный предприниматель Золотова Людмила Аркадьевна. Юри- дический адрес: 425204, Республика Марий Эл, Медведевский р-н, п.Новый, ул.Луговая 4-я, д. 40. Фактический /почтовый адрес: 425200, Республика Марий Эл, Медведевский р-н, пгт.Медведево, Чехова 22 г. Электронная почта zavod@esteelbox.ru. ИНН 432701065602
Методы испытаний:	ГОСТ 15150-69, климатическое исполнение Т1

### 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Испытание на климатическое воздействие на металлокорпуса (оболочки) для НКУ (далее – «изделие») 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».

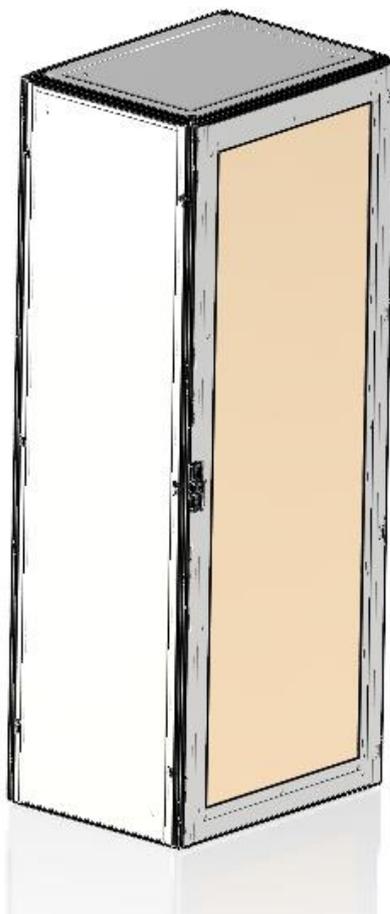


Рис. 1 Общий вид.

## 2. НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ИЗДЕЛИЕ

На основании технической документации рис. 1, была построена модель рис.2.

В качестве нагрузок были взяты следующие типы воздействия: климатическое исполнение Т категория 1:

1. Собственный вес с коэффициентом 1.1;
2. Отрицательное климатическое воздействие -10 °С;
3. Положительное климатическое воздействие +60 °С.

## 3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА

ANSYS — универсальная программная система конечно-элементного (МКЭ) анализа. ANSYS аттестован в ГОСАТОМНАДЗОРЕ России (Регистрационный номер ПС в ЦОЭП при РНЦ КИ №490 от 10.09.2002); (Регистрационный номер паспорта аттестации ПС №145 от 31.10.2002), а также выдано свидетельство РААСН о верификации ANSYS № 02/ANSYS/2009.

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, поведение которой нужно анализировать. 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  $\{\sigma\} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \sigma_y & \sigma_z & \sigma_{xy} & \sigma_{yz} & \sigma_{xz} \end{bmatrix}^T$  - вектор напряжений (как выходная величина помечается меткой S);

[D] – матрица упругости (описывается уравнениями (1-18) ... (1-23), обратная матрица записывается в виде (1-4) и (1-5);

$\{\epsilon\} = \{\epsilon\} - \{\epsilon_{th}\}$  - выходной массив;

$\{\epsilon\} = \begin{bmatrix} \epsilon_x & \epsilon_y & \epsilon_z & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} & \epsilon_{yz} \end{bmatrix}^T$  - вектор полной (суммарной) деформации;

$\{\epsilon_{th}\}$  – вектор температурной деформации (определяется соотношением (1-3)).

Компоненты вектора напряжений показаны на Рис. 1-1. 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.

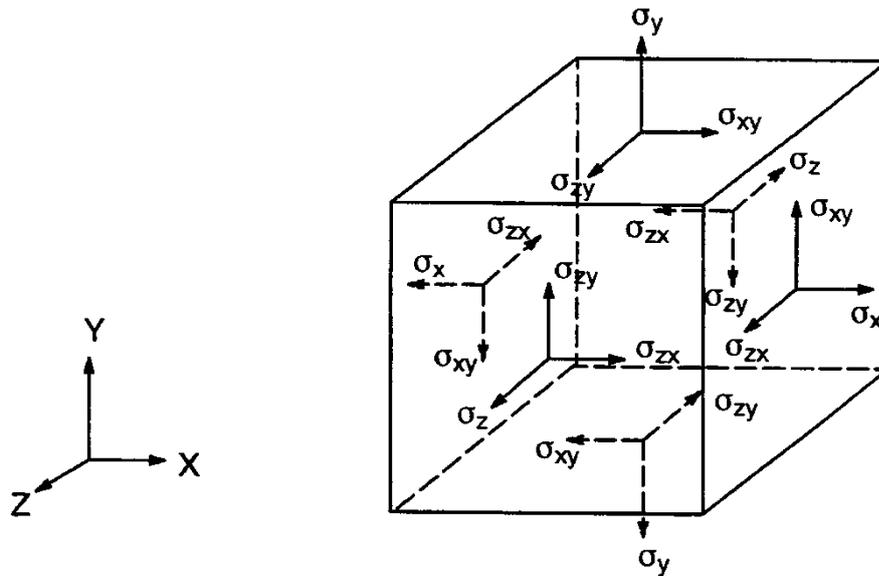


Рис. 1. Компоненты вектора напряжений

Уравнение (1) может быть обращено следующим образом:

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

Для трехмерного случая вектор температурных деформаций определяется в виде соотношения:

$$\{\varepsilon_{th}\} = \Delta T [\alpha_x \alpha_y \alpha_z 0 0 0]^T, \quad (3)$$

где  $\alpha_x$  – коэффициент температурного расширения в направлении оси x,

Матрица  $[D]^{-1}$ , нормализованная по столбцам, имеет вид:

$$[D]^{-1} = \begin{vmatrix} 1/E_x & -\nu_{xy}/E_y & -\nu_{xz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{yx}/E_x & 1/E_y & -\nu_{yz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{zx}/E_x & -\nu_{zy}/E_y & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_z \end{vmatrix} \quad (4)$$

При использовании нормализация по строкам, матрица записывается следующим образом:

$$[D]^{-1} = \begin{vmatrix} 1/E_x & -\nu^*_{xy}/E_y & -\nu^*_{xz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu^*_{yx}/E_x & 1/E_y & -\nu^*_{yz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu^*_{zx}/E_x & -\nu^*_{zy}/E_y & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{yz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{zx} \end{vmatrix} \quad (5)$$

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:

$$\nu_{yx} / E_x = \nu_{xy} / E_y \quad (6)$$

$$\nu_{zx} / E_x = \nu_{xz} / E_z \quad (7)$$

$$\nu_{zy} / E_y = \nu_{yz} / E_z \quad (8)$$

Или

$$\nu^{*yx} / E_y = \nu^{*xy} / E_x \quad (9)$$

$$\nu^{*zx} / E_z = \nu^{*xz} / E_x \quad (10)$$

$$\nu^{*zy} / E_z = \nu^{*yz} / E_y \quad (11)$$

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), (4), а также (6) ... (8), получаем шесть уравнений:

$$\epsilon_x = \alpha_x \Delta T + \sigma_x / E_x - \nu_{xy} \sigma_y / E_y - \nu_{xz} \sigma_z / E_z \quad (12)$$

$$\epsilon_y = \alpha_y \Delta T + \sigma_y / E_y - \nu_{xy} \sigma_x / E_x - \nu_{yz} \sigma_z / E_z \quad (13)$$

$$\epsilon_z = \alpha_z \Delta T + \sigma_z / E_z - \nu_{xz} \sigma_x / E_x - \nu_{yz} \sigma_y / E_y \quad (14)$$

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

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

$$\epsilon_{xz} = \sigma_{xz} / G_{xz} , \quad (17)$$

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 получают циклическим сдвигом ( $x$  -  $y$  -  $z$ ).

Уравнение (1-1) можно переписывается в развернутом виде, используя обратную матрицу (1-4), что вместе с уравнениями (1-3), (1-6) ... (1-8) дает шесть соотношений для напряжений:

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

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

$$\sigma_z = E_x/h [v_{xz} + v_{yz}v_{xy}] (\epsilon_x - \alpha_x \Delta T) + E_y/h [v_{yz} + v_{xz}v_{xy} E_x/E_y] (\epsilon_y - \alpha_y \Delta T) + E_z/h [1 - (v_{xy})^2 E_x/E_y] (\epsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad (20)$$

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

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

$$\sigma_{xz} = G_{xz} \epsilon_{xz}, \quad (23)$$

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

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

$$G_{xy} = (E_x E_y) / (E_x + E_y + 2 v_{xy} E_x) \quad (24)$$

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

$$G_{xz} = G_{xy} \quad (26)$$

#### 4. РАСЧЕТ ИЗДЕЛИЯ

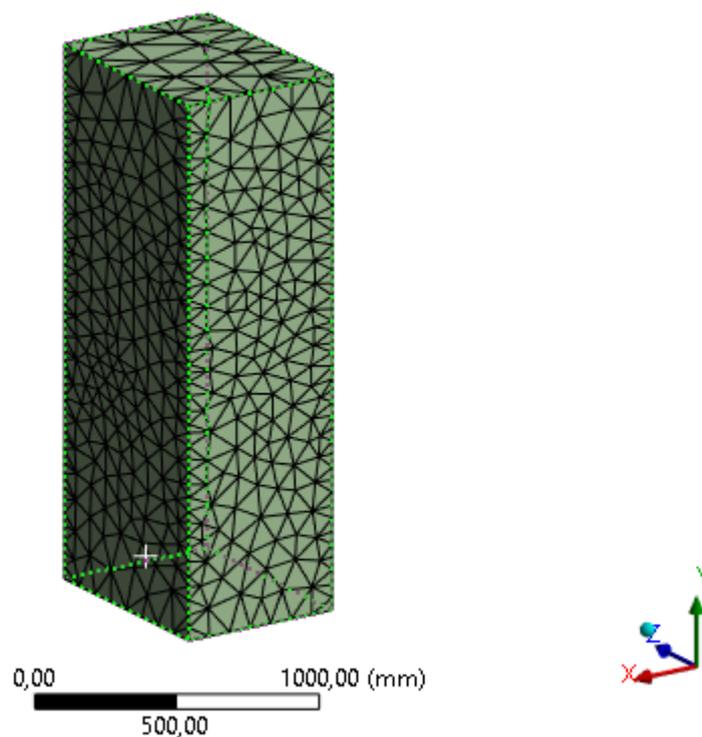


Рис. 2. Расчетная аппроксимированная модель

#### 4.1 АНАЛИЗ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ (-10 °С) НА ИЗДЕЛИЕ

**B: Transient Thermal**  
Total Heat Flux  
Type: Total Heat Flux  
Unit: W/mm<sup>2</sup>  
Time: 2 s

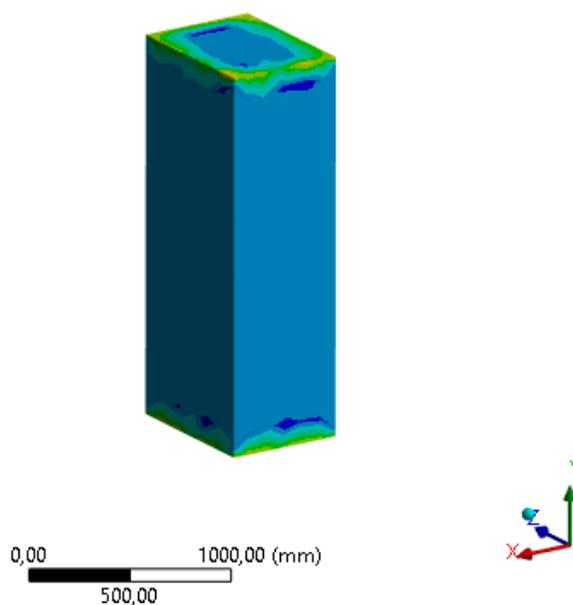
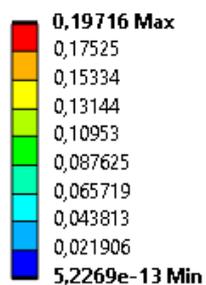


Рис. 3. Общий тепловой поток

**C: Static Structural**

Total Deformation

Type: Total Deformation

Unit: mm

Time: 1 s

Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)

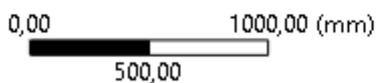
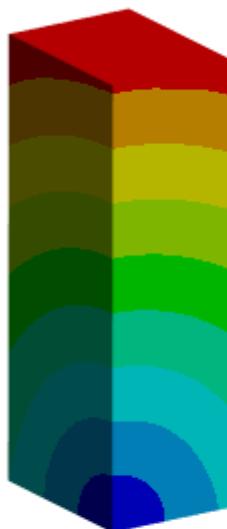
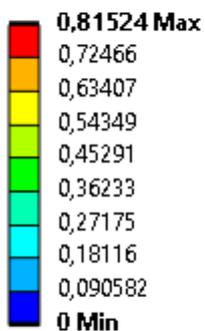


Рис. 4. Общие деформации [мм]

**C: Static Structural**

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1 s

Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)

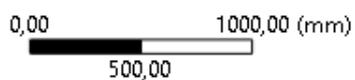
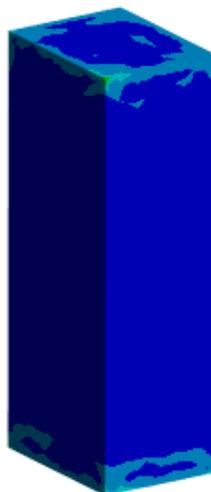
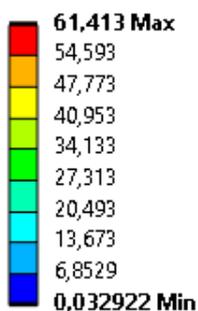


Рис. 5. Эквивалентные напряжения [МПа]

**C: Static Structural**

Normal Stress

Type: Normal Stress(X Axis)

Unit: MPa

Global Coordinate System

Time: 1 s

Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)

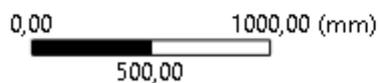
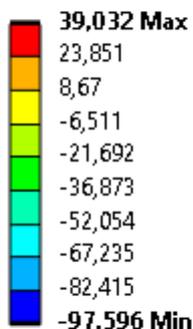


Рис. 6. Нормальные напряжения по X [МПа]

**C: Static Structural**

Normal Stress 2

Type: Normal Stress(Y Axis)

Unit: MPa

Global Coordinate System

Time: 1 s

Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)

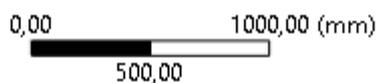
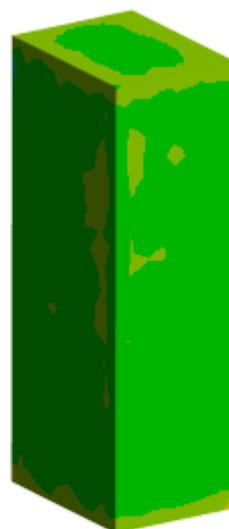
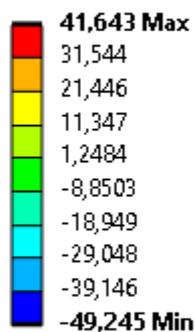


Рис. 7. Нормальные напряжения по Y [МПа]

**C: Static Structural**

Normal Stress 3

Type: Normal Stress(Z Axis)

Unit: MPa

Global Coordinate System

Time: 1 s

Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)

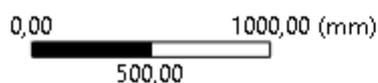
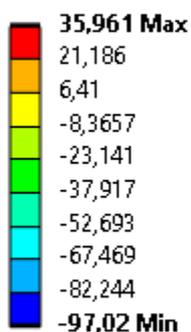


Рис. 8. Нормальные напряжения по Z [МПа]

**C: Static Structural**

Safety Factor

Type: Safety Factor

Time: 1

Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)

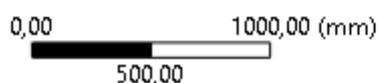
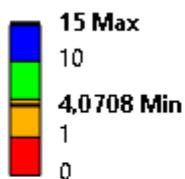


Рис. 10. Визуальный коэффициент запаса прочности

**B: Transient Thermal**

Total Heat Flux  
Type: Total Heat Flux  
Unit: W/mm<sup>2</sup>  
Time: 2 s

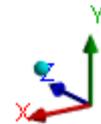
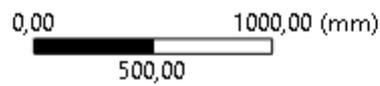
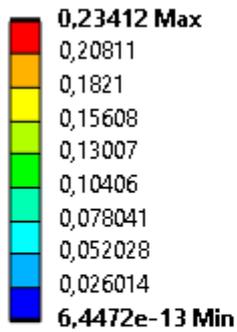


Рис. 11. Общий тепловой поток

**C: Static Structural**

Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1 s  
Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)

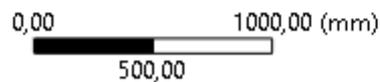
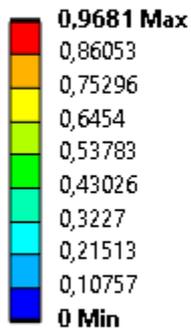


Рис. 12. Общие деформации [мм]

**C: Static Structural**

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1 s

Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)

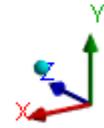
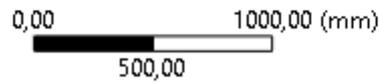
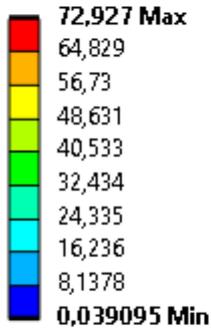


Рис. 13. Эквивалентные напряжения [МПа]

**C: Static Structural**

Normal Stress

Type: Normal Stress(X Axis)

Unit: MPa

Global Coordinate System

Time: 1 s

Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)

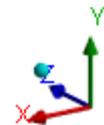
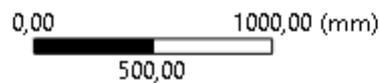
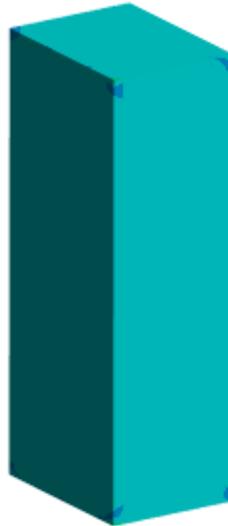
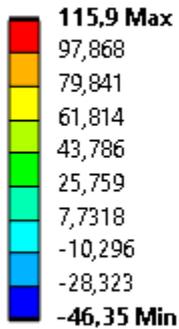


Рис. 14. Нормальные напряжения по X [МПа]

**C: Static Structural**

Normal Stress 2

Type: Normal Stress(Y Axis)

Unit: MPa

Global Coordinate System

Time: 1 s

Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)

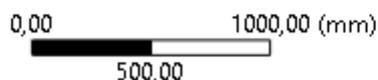
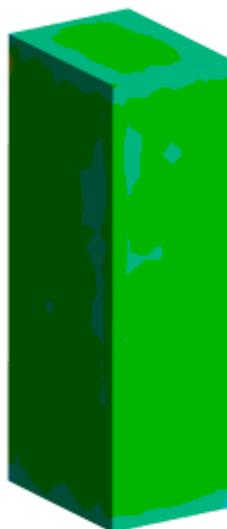
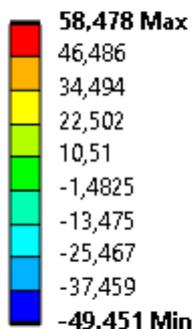


Рис. 15. Нормальные напряжения по Y [МПа]

**C: Static Structural**

Normal Stress 3

Type: Normal Stress(Z Axis)

Unit: MPa

Global Coordinate System

Time: 1 s

Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)

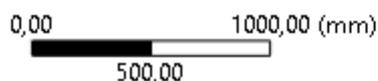
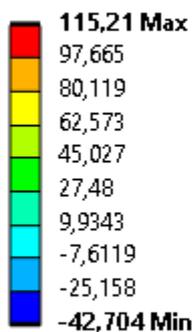


Рис. 16. Нормальные напряжения по Z [МПа]

**C: Static Structural**

Safety Factor

Type: Safety Factor

Time: 1

Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)

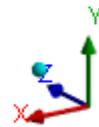
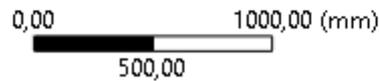
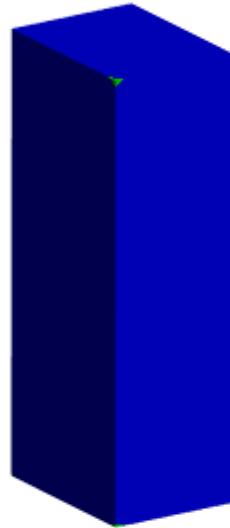
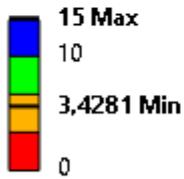


Рис. 17. Визуальный коэффициент запаса прочности

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Испытания на климатическое воздействие изделия 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».

2. В испытании представлены: климатическое воздействие на изделие, визуализация коэффициента запаса прочности;

3. На основании проведенного испытания можно сделать выводы, что прочность изделия от отрицательного (-10 °С) и положительного (+60 °С) климатического воздействия (климатическое исполнение Т1) обеспечена.

Руководитель лаборатории:

Смирнов Ю.А.

Испытатель:

Нечаева О.В.

