



Система добровольной сертификации
«Многофункциональный центр стандартизации» (СДС «МФЦС»)
Регистрационный номер РОСС RU.Я2331.04ПВК0

Испытательная лаборатория
ООО «Многофункциональный центр стандартизации»
свидетельство о подтверждении компетенции № МФЦС.005.RU.Я2331.04ПВК0

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель

ООО «Многофункциональный центр
стандартизации»



Фатеев А.Ю.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№ 6578/0425 от 15.04.2025 г.

Место проведения испытаний:	Испытательная лаборатория ООО «Многофункциональный центр стандартизации». Адрес: 127410, город Москва, Алтуфьевское ш, д. 79а стр. 3, помещ. 4а/3/2. ОГРН 1247700574912
Заявитель:	Общество с ограниченной ответственностью «ЭЛИТА-Центр» Место нахождения: 192029, Санкт-Петербург, вн.тер.г. Муниципальный округ Невская застава, пр. Обуховской обороны, д.70, к.3 Литера А, помещ.31-Н, ч.ком. 11, Российская Федерация. Адрес места осуществления деятельности по изготовлению продукции: 18860, Ленинградская область, Всеволожское городское поселение, город Всеволожск, улица Дизельная, дом 2, строение 12, Российская Федерация. ИНН: 7719104957. ОГРН: 1157746016405. Телефон: +7 (812) 702-4242 Адрес электронной почты: zakaz@elitacompany.ru
Наименование продукции:	Оборудование для коммунального хозяйства: локальные очистные сооружения поверхностного и ливневого стока, модели: БИОГАРД-ПО-МБО-СБ, БИОГАРД-ПО-МБО, БИОГАРД-ПО, БИОГАРД-МБО, БИОГАРД-СБ, БИОГАРД-УФ
Изготовитель:	Общество с ограниченной ответственностью «ЭЛИТА-Центр» Место нахождения: 192029, Санкт-Петербург, вн.тер.г. Муниципальный округ Невская застава, пр. Обуховской обороны, д.70, к.3 Литера А, помещ.31-Н, ч.ком. 11, Российская Федерация Адрес места осуществления деятельности по изготовлению продукции: 18860, Ленинградская область, Всеволожское городское поселение, город Всеволожск, улица Дизельная, дом 2, строение 12, Российская Федерация.
Методы испытаний:	ГОСТ 30546.1-98, ГОСТ 30546.2-98, ГОСТ 30546.3-98 (исполнение сейсмостойкости 9 баллов по шкале MSK-64)

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Испытание на сейсмическое воздействие на оборудование для коммунального хозяйства: локальные очистные сооружения поверхностного и ливневого стока, модели: БИОГАРД-ПО-МБО-СБ, (далее – «изделие»). Расчет выполнен на основании технической документации, ГОСТ 30546.1-98 «Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям и методы расчета их сложных конструкций в части сейсмостойкости», ГОСТ 30546.2-98 «Испытания на сейсмостойкость машин, приборов и других технических изделий», ГОСТ 30546.3-98 «Методы определения сейсмостойкости машин, приборов и других технических изделий, установленных на месте эксплуатации, при их аттестации или сертификации на сейсмическую безопасность».

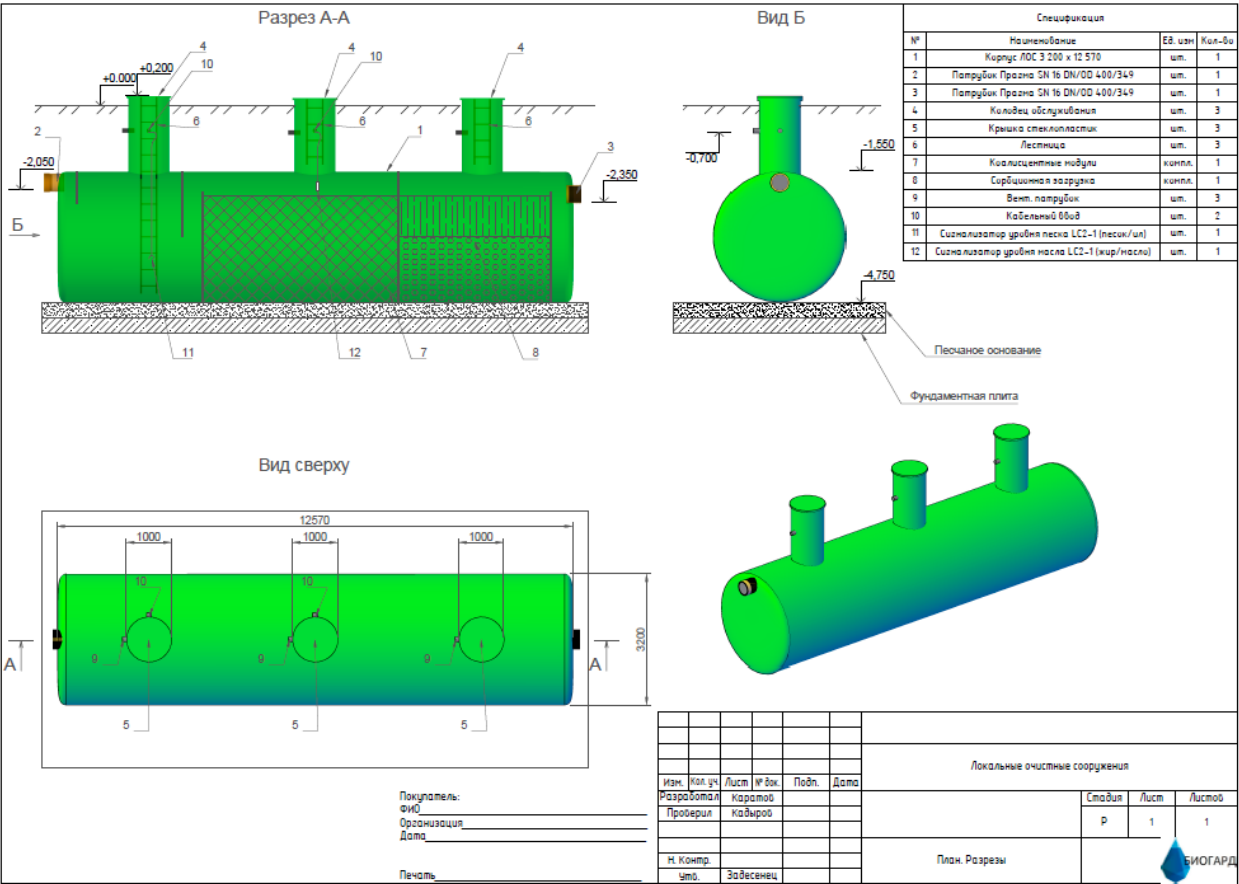


Рис. 1 Общий вид.

2. НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ИЗДЕЛИЕ

На основании технической документации рис. 1, была построена модель рис.3.

В качестве статических и динамических нагрузок были приняты следующие типы нагрузок:

1. собственный вес с коэффициентом 1.1;
2. сейсмическое воздействие в 9 баллов по шкале MSK-64.

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:

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

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 (1-18) ... (1-23), обратная матрица записывается в виде (1-4) и (1-5);

$\{\epsilon_{el}\} = \{\epsilon\} - \{\epsilon_{th}\}$ - 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 (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.

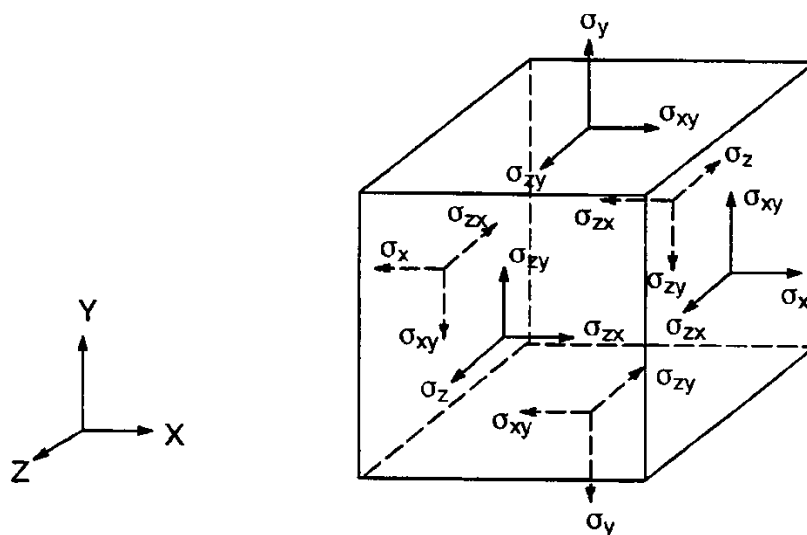


Рис. 2. Компоненты вектора напряжений

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 α_x – коэффициент температурного расширения в направлении оси x,

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

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

При использовании нормализация по строкам, матрица записывается следующим образом:

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

Для записи элементов этих матриц используются обозначения:

E_x – модуль Юнга в направлении оси x,

ν_{xy} – минимальный коэффициент Пуассона,

ν^*_{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 ν_{xy} , ν_{zy} , ν_{zx} , ν^*_{yx} , ν^*_{zy} и ν^*_{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:

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

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

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

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

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

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

где ε_x - деформация в направлении оси x ,

ε_{xy} - деформация сдвига в плоскости x - y ,

σ_x - напряжения в направлении оси x ,

σ_{xy} - напряжения сдвига в плоскости x - y ;

компоненты с другими индексами получаются 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:

$$\sigma_x = E_x/h [1 - (\nu_{yz})^2 E_y/E_z] (\varepsilon_x - \alpha_x \Delta T) + E_x/h [\nu_{xy} + \nu_{xz}\nu_{yz} E_y/E_z] (\varepsilon_y - \alpha_y \Delta T) + E_x/h [\nu_{xz} + \nu_{yz}\nu_{xy}] (\varepsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad (18)$$

$$\sigma_y = E_x/h [\nu_{xy} + \nu_{xz}\nu_{yz} E_y/E_z] (\varepsilon_x - \alpha_x \Delta T) + E_y/h [1 - (\nu_{xz})^2 E_x/E_z] (\varepsilon_y - \alpha_y \Delta T) + E_y/h [\nu_{yz} + \nu_{xz}\nu_{xy} E_x/E_y] (\varepsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad (19)$$

$$\sigma_z = E_x/h [\nu_{xz} + \nu_{yz}\nu_{xy}] (\varepsilon_x - \alpha_x \Delta T) + E_y/h [\nu_{yz} + \nu_{xz}\nu_{xy} E_x/E_y] (\varepsilon_y - \alpha_y \Delta T) + E_z/h [1 - (\nu_{xy})^2 E_x/E_y] (\varepsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad (20)$$

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

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

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

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

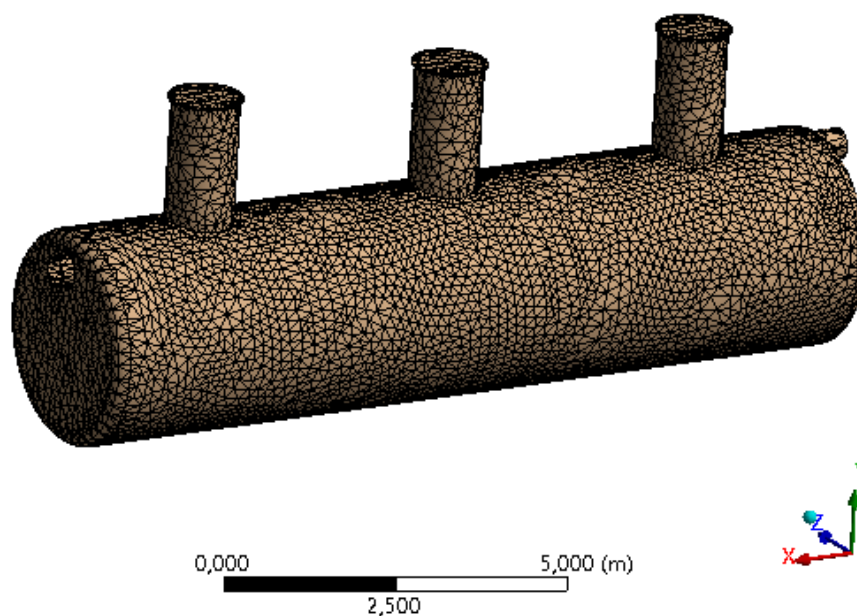


Рис. 3. Расчетная аппроксимированная модель
Определение собственных частот колебаний изделия:

№ рис.	Форма колебаний	Частота, Гц
5	1	46,3
6	2	62,3
7	3	68,1
8	4	71
9	5	81,9
10	6	113

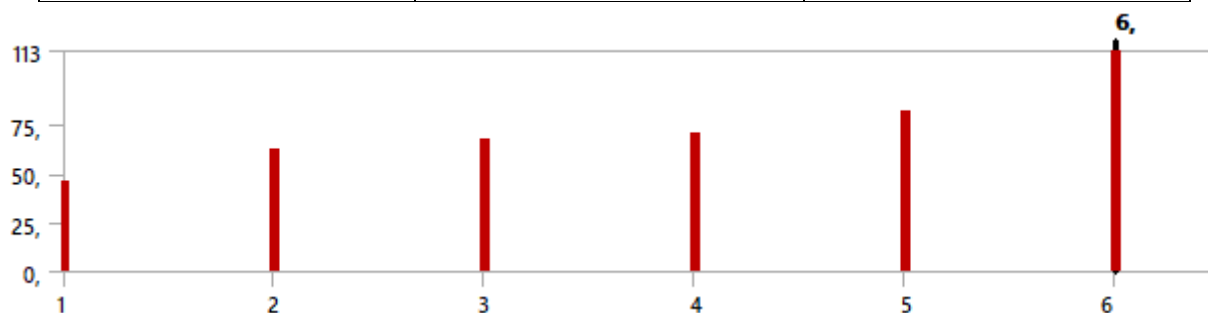


Рис. 4. Гистограмма собственных частот колебаний

B: Modal

Total Deformation

Type: Total Deformation

Frequency: 46,3 Hz

Unit: mm

Deformation Scale Factor: 0.0 (Undeformed)

20.02.2022 18:10

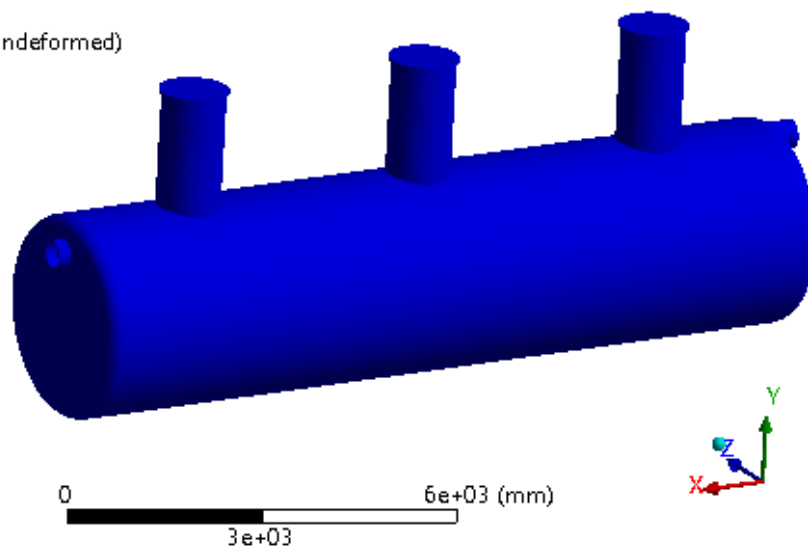
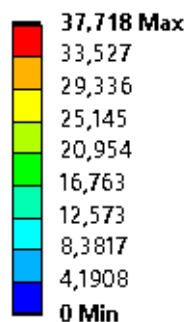


Рис. 5. Амплитуда при 1-й форме колебаний [мм]

B: Modal

Total Deformation 2

Type: Total Deformation

Frequency: 62,3 Hz

Unit: mm

Deformation Scale Factor: 0.0 (Undeformed)

20.02.2022 18:10

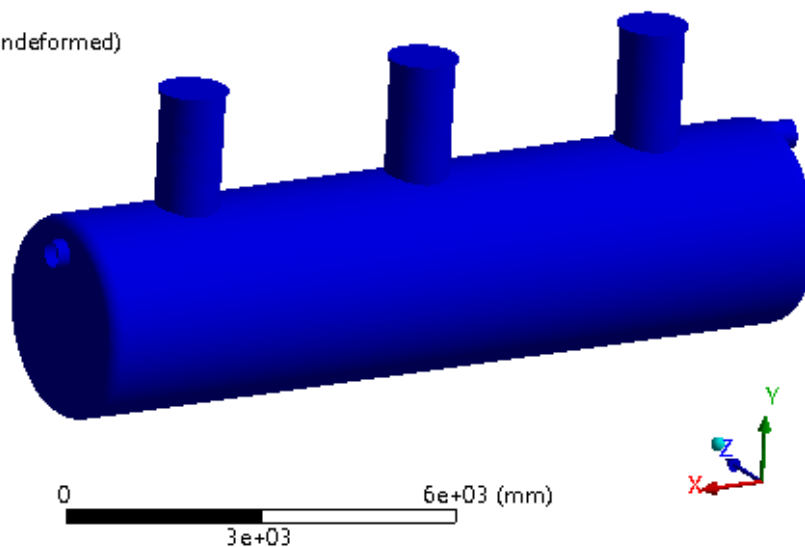
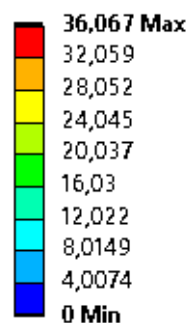


Рис. 6. Амплитуда при 2-й форме колебаний [мм]

B: Modal

Total Deformation 3

Type: Total Deformation

Frequency: 68,1 Hz

Unit: mm

Deformation Scale Factor: 0.0 (Undeformed)

20.02.2022 18:10

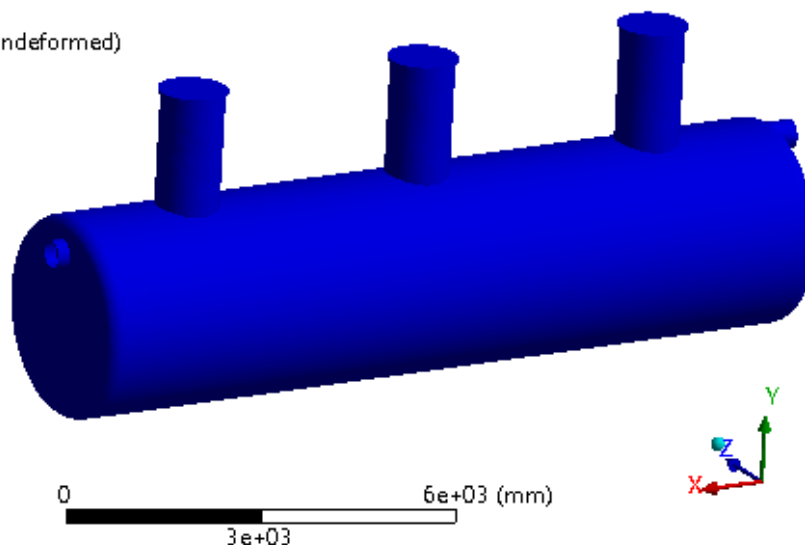
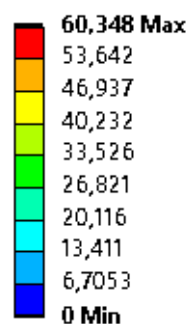


Рис. 7. Амплитуда при 3-й форме колебаний [мм]

B: Modal

Total Deformation 4

Type: Total Deformation

Frequency: 71,1 Hz

Unit: mm

Deformation Scale Factor: 0.0 (Undeformed)

20.02.2022 18:10

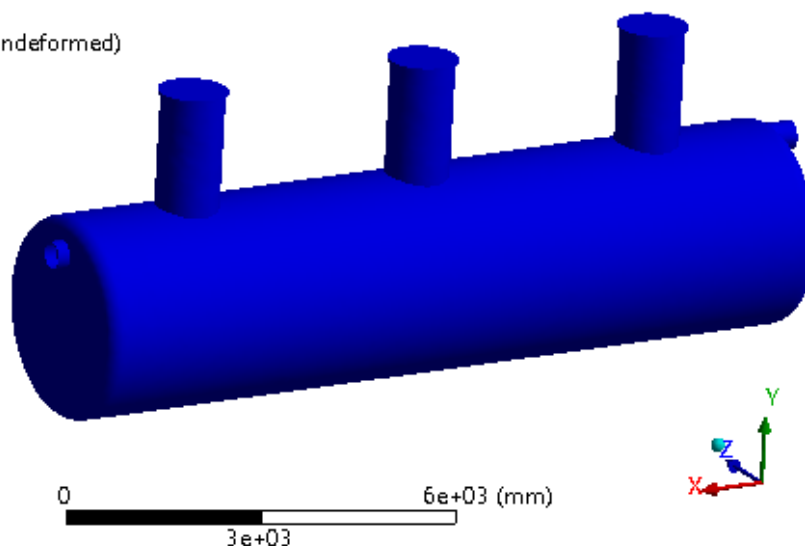
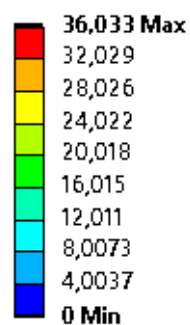


Рис. 8. Амплитуда при 4-й форме колебаний [мм]

B: Modal

Total Deformation 5

Type: Total Deformation

Frequency: 81,9 Hz

Unit: mm

Deformation Scale Factor: 0.0 (Undeformed)

20.02.2022 18:10

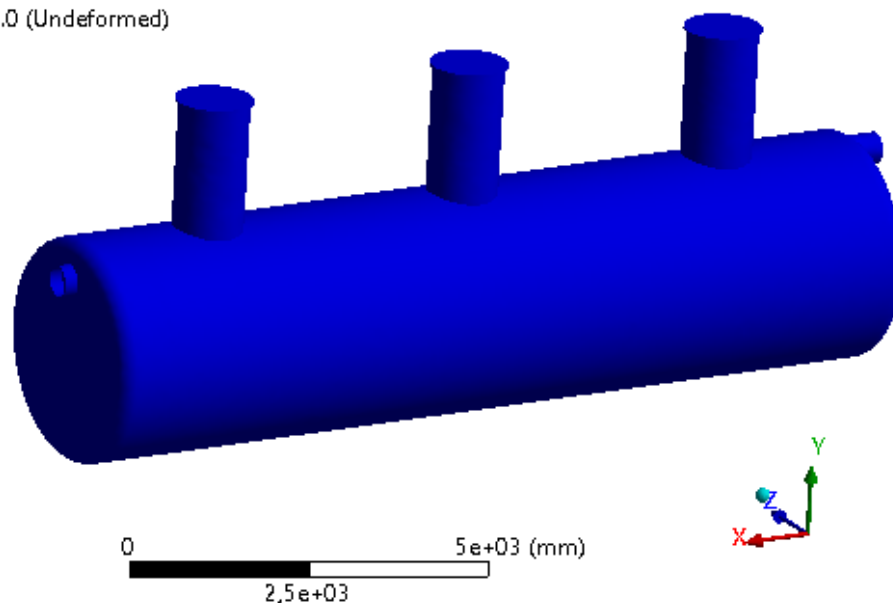
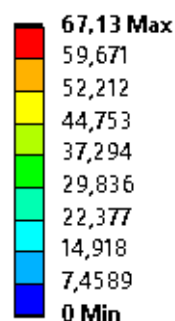


Рис. 9. Амплитуда при 5-й форме колебаний [мм]

B: Modal

Total Deformation 6

Type: Total Deformation

Frequency: 113 Hz

Unit: mm

Deformation Scale Factor: 0.0 (Undeformed)

20.02.2022 18:11

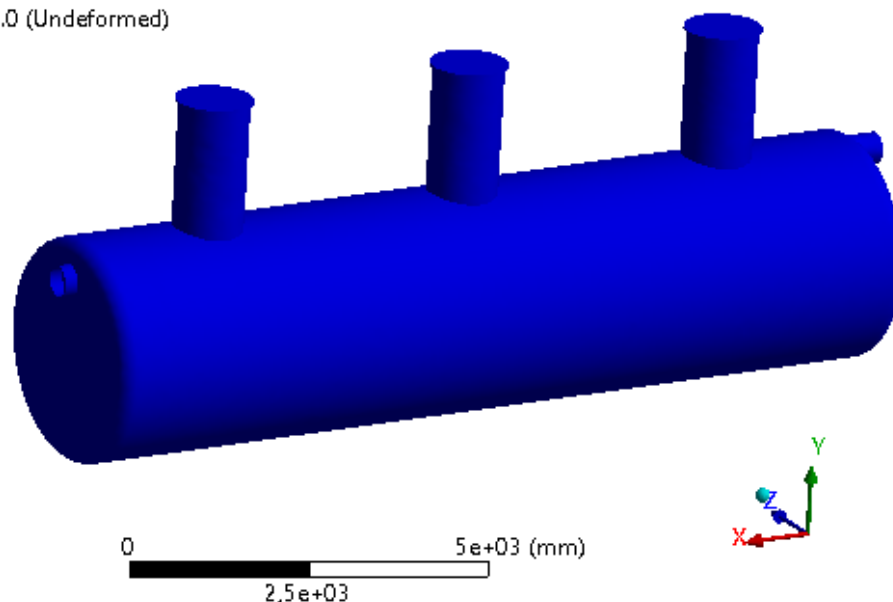
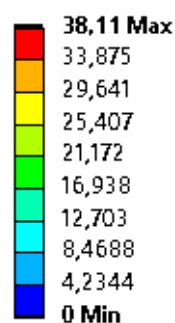


Рис. 10. Амплитуда при 6-й форме колебаний [мм]

Анализ сейсмического воздействия на изделие:

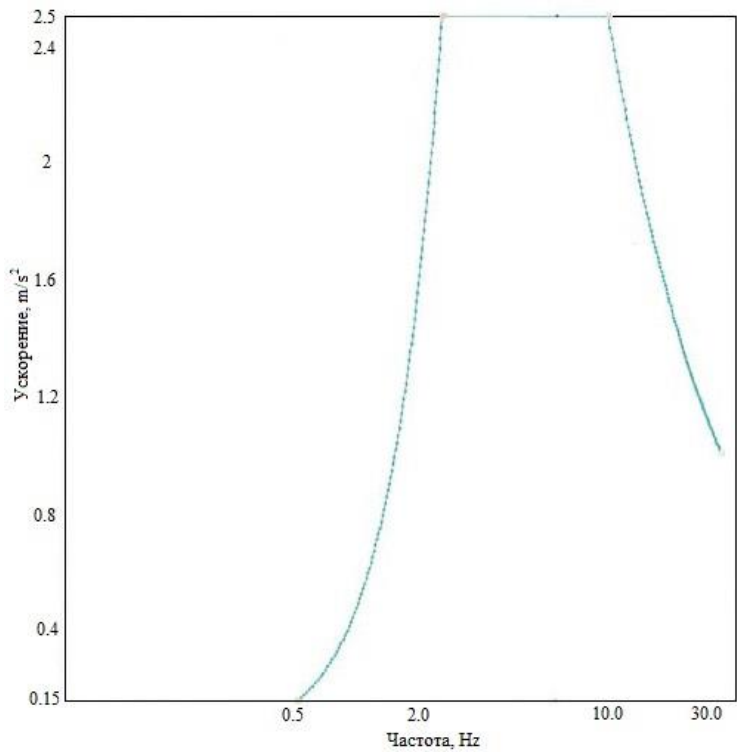


Рис. 11. График зависимости между максимальной амплитудой ускорения и частотой синусоидальной вибрации – расчетный спектр воздействия.

Значение частот и ускорений для характеристических точек по рисунку 11

Частота [Hz]	Ускорение [m/s²]
0.5	0.15
2	2.5
10	
30	1.0

C: Response Spectrum

Directional Deformation

Type: Directional Deformation(X Axis)

Unit: μm

Solution Coordinate System

Time: 0

20.02.2022 18:11

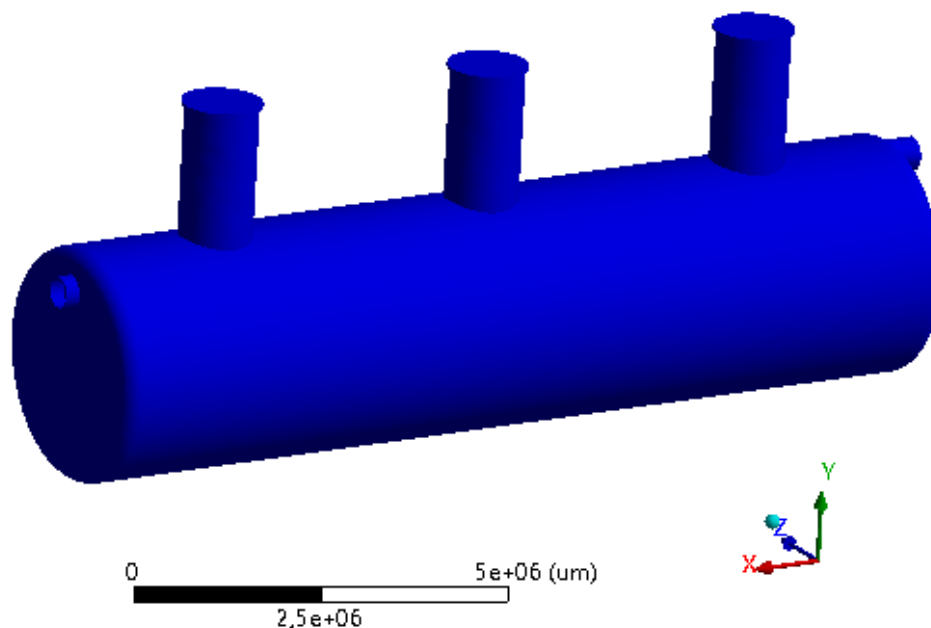
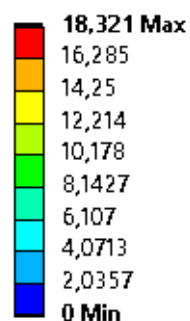


Рис. 12. Деформации по оси X [мкм]

C: Response Spectrum

Directional Deformation 2

Type: Directional Deformation(Y Axis)

Unit: μm

Solution Coordinate System

Time: 0

20.02.2022 18:11

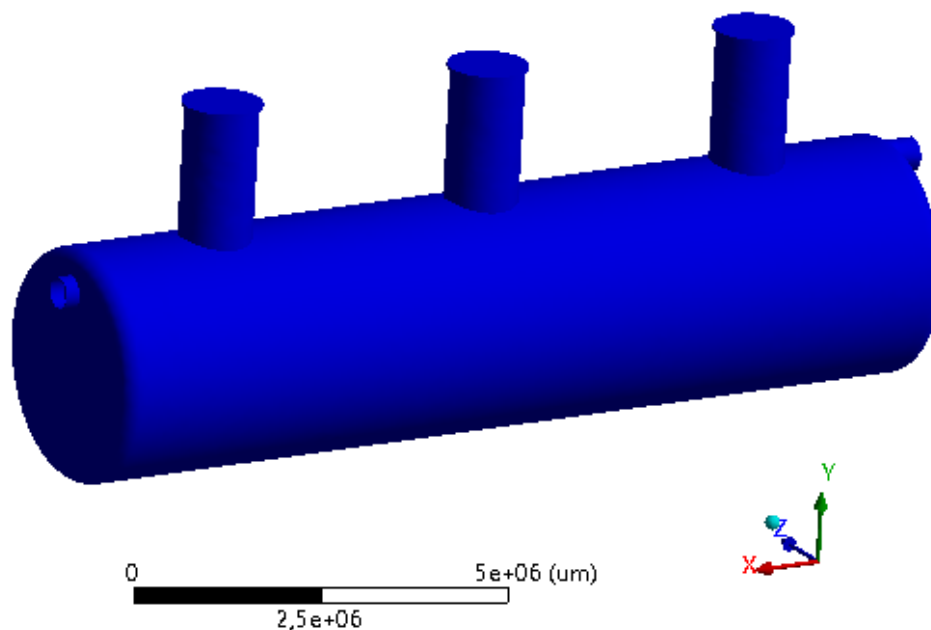
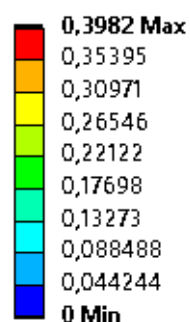


Рис. 13. Деформации по оси Y [мкм]

C: Response Spectrum

Directional Deformation 3

Type: Directional Deformation(Z Axis)

Unit: μm

Solution Coordinate System

Time: 0

20.02.2022 18:11

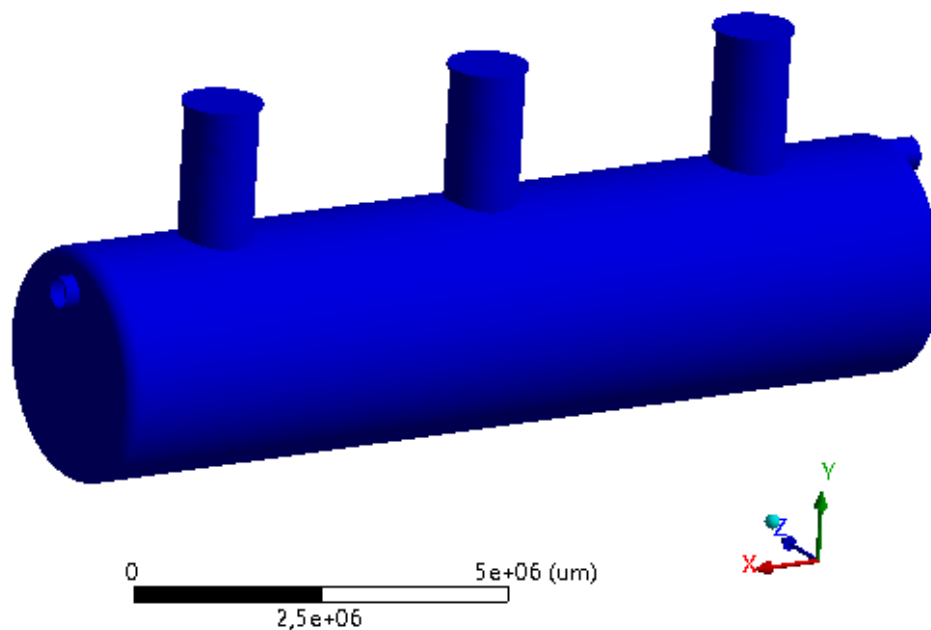
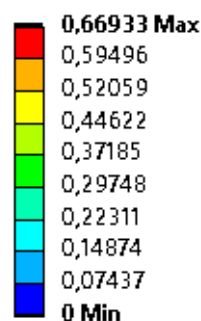


Рис. 14. Деформации по оси Z [мкм]

C: Response Spectrum

Equivalent Stress

Type: Equivalent Stress

Unit: MPa

Time: 0

20.02.2022 18:11

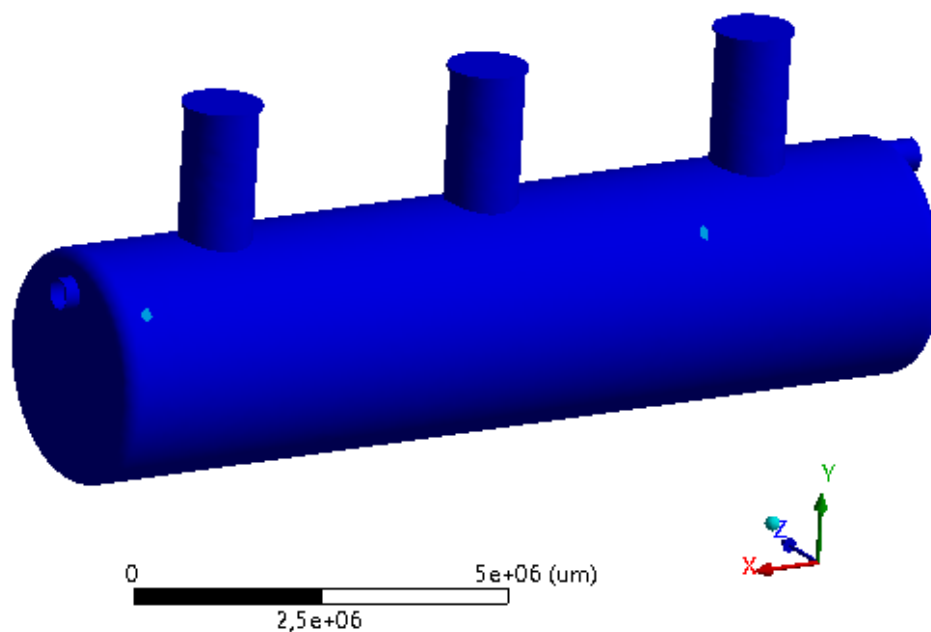
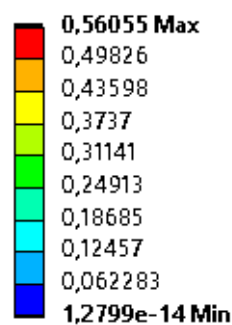


Рис. 15. Эквивалентные напряжения [МПа]

C: Response Spectrum

Directional Acceleration

Type: Directional Acceleration

Unit: m/s^2

Solution Coordinate System

Time: 0

20.02.2022 18:11

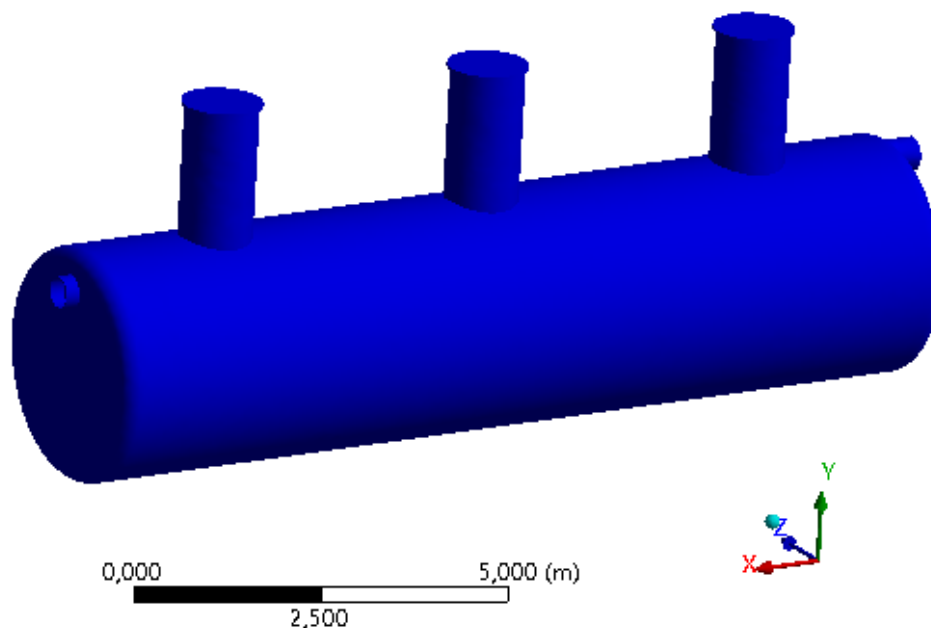
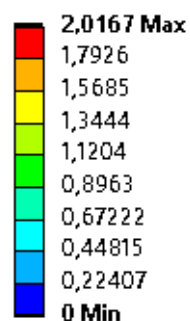


Рис. 16. Ускорения по оси X [м/с^2]

C: Response Spectrum

Directional Acceleration 2

Type: Directional Acceleration

Unit: m/s^2

Solution Coordinate System

Time: 0

20.02.2022 18:12

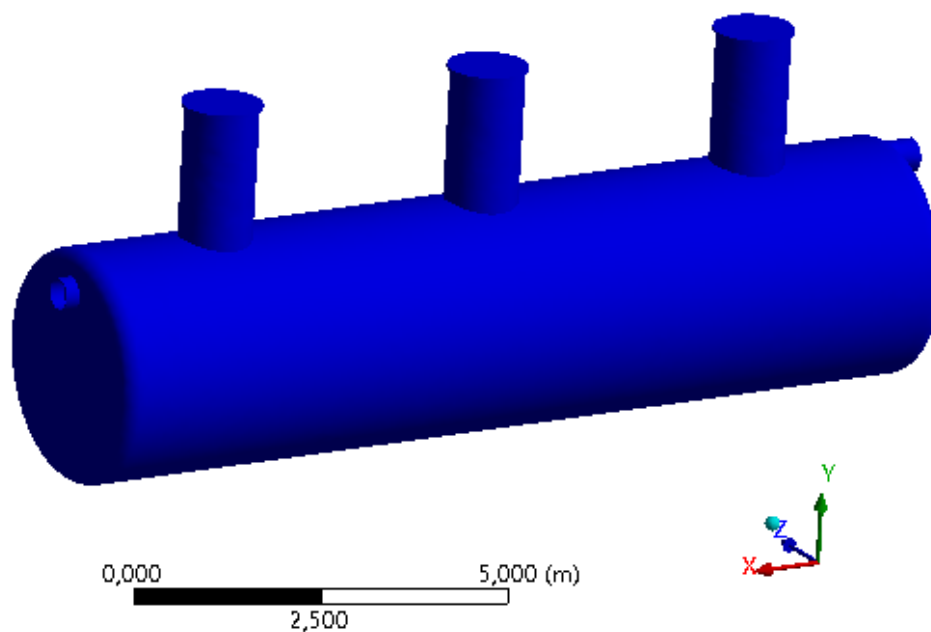
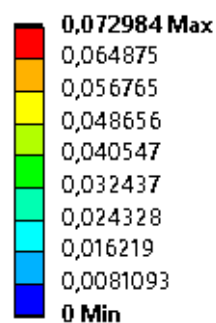


Рис. 17. Ускорения по оси Y [м/с^2]

C: Response Spectrum

Directional Acceleration 3
Type: Directional Acceleration
Unit: m/s^2
Solution Coordinate System
Time: 0
20.02.2022 18:12

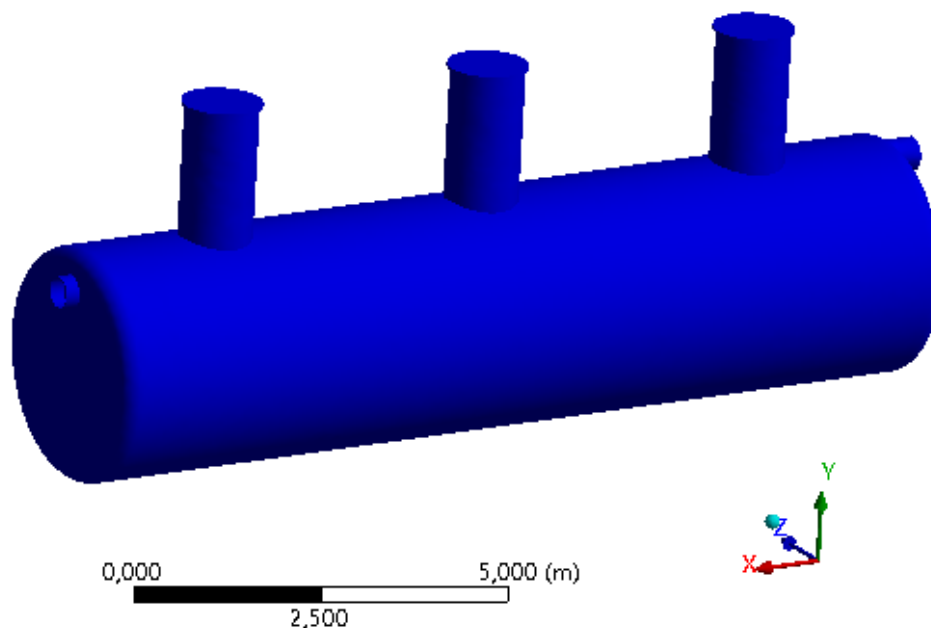
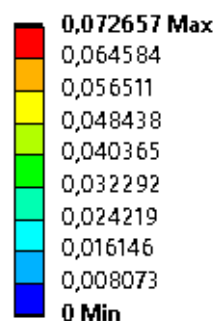


Рис. 18. Ускорения по оси Z [м/с^2]

Визуализация коэффициента запаса прочности:

D: Transient Structural

Safety Factor
Type: Safety Factor
Time: 1
Deformation Scale Factor: 0.0 (Undeformed)
20.02.2022 18:12

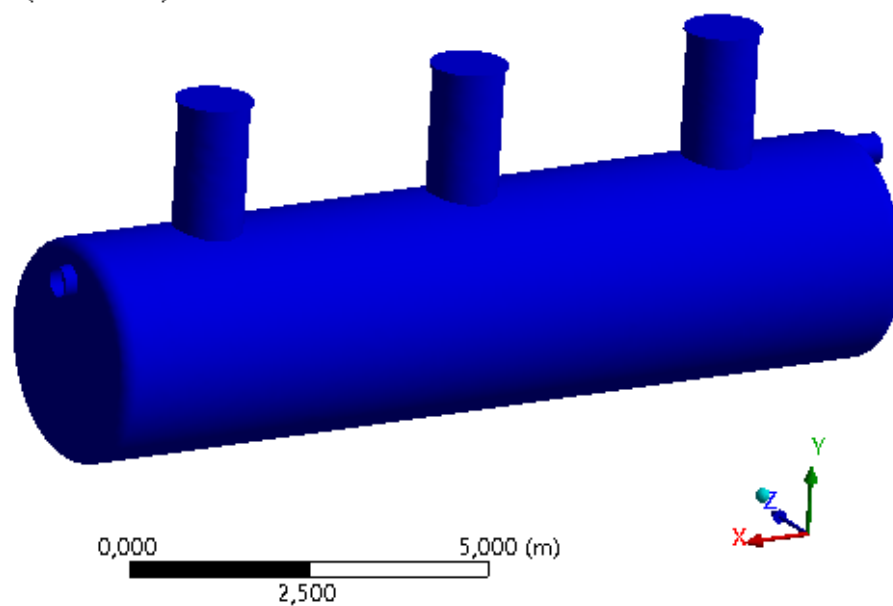
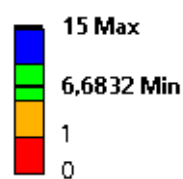


Рис. 19. Визуальный коэффициент запаса прочности

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Испытания на сейсмическое воздействие изделия выполнено на основании ГОСТ 30546.1-98 «Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям и методы расчета их сложных конструкций в части сейсмостойкости», ГОСТ 30546.2-98 «Испытания на сейсмостойкость машин, приборов и других технических изделий», ГОСТ 30546.3-98 «Методы определения сейсмостойкости машин, приборов и других технических изделий, установленных на месте эксплуатации, при их аттестации или сертификации на сейсмическую безопасность».

2. В испытании представлены собственные частоты колебаний изделия, сейсмическое воздействие, визуализация коэффициента запаса прочности;

3. На основании проведенного испытания можно сделать выводы, что прочность изделия от сейсмического воздействия в 9 баллов по шкале MSK-64 **обеспечена**.