

**Испытательный центр электротехнических изделий
«Строймонтаж»**

Закрытое Акционерное Общество Научно-производственный центр «Строймонтаж».
Юр. адрес: 105082, г. Москва, ул. Большая Почтовая, 26в, стр.1.

Адрес места осуществления деятельности:
140081, Россия, Московская область,
г. Лыткарино, ул. Парковая, д. 1.
тел/факс 8 (499) 261-21-61
e-mail: izstroimontage@mail.ru

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 03-21/06

Объект испытаний	Ливневые очистные сооружения «BloPlast», выпускаемые по ТУ 28.29.12-009-20187688-2020
Регистрационные данные ИЦ	№ РОСС RU.31297.04ЖТУ0.004 от 01.07.2020 г.
Документ, на соответствие которому проводились испытания	Испытания на соответствие требованиям безопасности по: ГОСТ 30546.1-98, ГОСТ 30546.2-98, ГОСТ 30546.3-98 (исполнение сейсмостойкости 9 баллов по шкале MSK-64)
Заявитель	ООО «Блорэй», 350075, Россия, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. Селезнева, д. 88/1, помещение 95.
Изготовитель	ООО «Блорэй», 350075, Россия, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. Селезнева, д. 88/1, помещение 95.
Место проведения испытаний	Лабораторный корпус ЗАО НПП «Строймонтаж», Московская область, г. Лыткарино, ул. Парковая, д. 1
Дата проведения испытаний	01.06.2021
Результаты испытаний	См. Приложение 1

Руководитель испытательного центра
электротехнических изделий
«СТРОЙМОНТАЖ»



И.А. Панков
2021 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

Ливневые очистные сооружения «BloPlast», выпускаемые по
ТУ 28.29.12-009-20187688-2020, соответствуют требованиям безопасности по:
ГОСТ 30546.1-98, ГОСТ 30546.2-98, ГОСТ 30546.3-98 (исполнение
сейсмостойкости 9 баллов по шкале MSK-64).

**Испытание на сейсмическое воздействие
Ливневого очистного сооружения «BloPlast»,
выпускаемого по ТУ 28.29.12-009-20187688-2020**



Содержание

1. Общие сведения	3
2. Нагрузки и воздействия, действующие на резервуар	3
3. Методика расчета	3
4. Расчет резервуара	7
4.1. Определение собственных частот колебаний резервуара	8
4.2. Анализ сейсмического воздействия на резервуар	11
4.3. Визуализация коэффициента запаса прочности от сейсмического воздействия	15
5. Общие выводы	16



1. Общие сведения

Испытание на сейсмическое воздействие Ливневого очистного сооружения «BloPlast», выпускаемого по ТУ 28.29.12-009-20187688-2020 (далее резервуар) выполнено 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 30631-99 «Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам при эксплуатации».

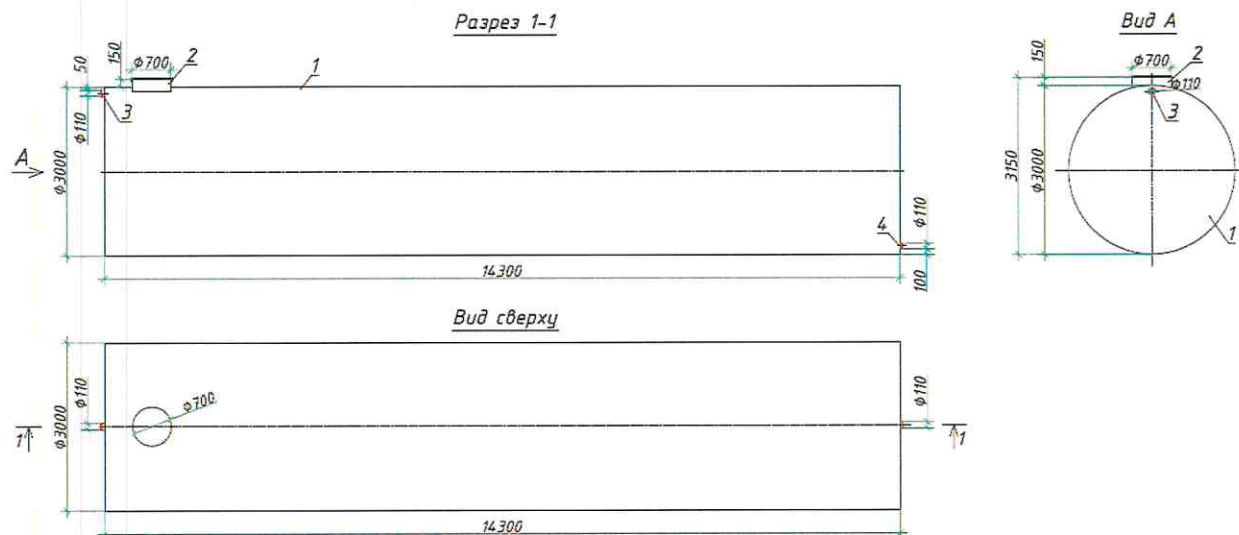


Рис. 1. Резервуар

2. Нагрузки и воздействия, действующие на резервуар

На основании технической документации, был смоделирован резервуар.

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

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

3. Методика расчета

Расчет выполнен в ПО ANSYS — универсальная программная система конечно-элементного (МКЭ) анализа. ANSYS аттестован в ГОСАТОМНАДЗОРЕ 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);

$\{\epsilon\} = \{\epsilon\} - \{\epsilon_{th}\}$ – 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 Рис. 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.



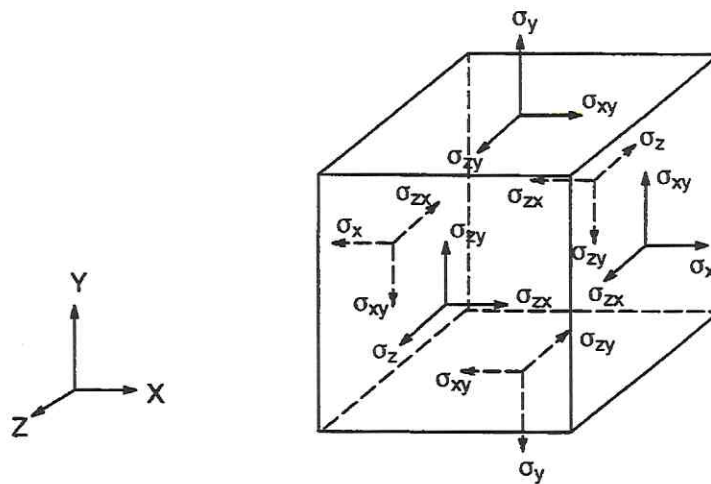


Рис. 2. Компоненты вектора напряжений

Уравнение (1) может быть обращено следующим образом:

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

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

$$[D]^{-1} = \begin{vmatrix} 1/E_x & -\nu_{xy}/E_y & -\nu_{xz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{yx}/E_x & 1/E_y & -\nu_{yz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{zx}/E_x & -\nu_{zy}/E_y & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_z \end{vmatrix}. \quad (3)$$

При использовании нормализации 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 ,

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:

$$\nu_{yx} / E_x = \nu_{xy} / E_y,$$



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

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

или

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

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

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

Согласно допустимым выше соотношениям, величины v_{xy} , v_{zy} , v_{zx} , v^*_{yx} , v^*_{zy} и v^*_{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:

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

$$\varepsilon_y = \alpha_y \Delta T + \sigma_y / E_y - v_{xy} \sigma_x / E_x - v_{yz} \sigma_z / E_z, \quad (12)$$

$$\varepsilon_z = \alpha_z \Delta T + \sigma_z / E_z - v_{xz} \sigma_x / E_x - v_{yz} \sigma_y / E_y, \quad (13)$$

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \sigma_x = & E_x/h [1 - (v_{yz})^2 E_y/E_z] (\varepsilon_x - \alpha_x \Delta T) + E_x/h [v_{xy} + \\ & + v_{xz} v_{yz} E_y/E_z] (\varepsilon_y - \alpha_y \Delta T) + E_x/h [v_{xz} + v_{yz} v_{xy}] (\varepsilon_z - \\ & - \alpha_z \Delta T), \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \sigma_y = & E_x/h [v_{xy} + v_{xz} v_{yz} E_y/E_z] (\varepsilon_x - \alpha_x \Delta T) + E_y/h [1 - \\ & - (v_{xz})^2 E_x/E_z] (\varepsilon_y - \alpha_y \Delta T) + E_y/h [v_{yz} + v_{xz} v_{xy} E_x/E_y] \\ & (\varepsilon_z - \alpha_z \Delta T), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_z = & E_x/h [v_{xz} + v_{yz} v_{xy}] (\varepsilon_x - \alpha_x \Delta T) + E_y/h [v_{yz} + \\ & + v_{xz} v_{xy} E_x/E_y] (\varepsilon_y - \alpha_y \Delta T) + E_z/h [1 - (v_{xy})^2 E_x/E_y] \end{aligned}$$



$$(\varepsilon_z - \alpha_z \Delta T),$$

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

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

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

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:

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

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

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

4. Расчет резервуара

Geometry



Рис. 3. Расчетная аппроксимированная модель



4.1. Определение собственных частот колебаний резервуара

№ Рис.	Форма колебаний	Частота, Гц
5	1	5,7835
6	2	5,9553
7	3	5,9654
8	4	6,2281
9	5	9,7649
10	6	10,27

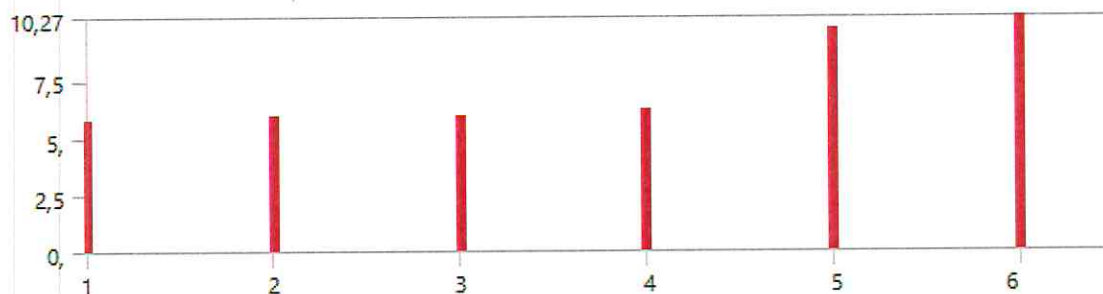


Рис. 4. Гистограмма собственных частот колебаний

B: Modal
Total Deformation
Type: Total Deformation
Frequency: 5,7835 Hz
Unit: m

0,065062 Max
0,057833
0,050604
0,043375
0,036146
0,028916
0,021687
0,014458
0,0072291
0 Min

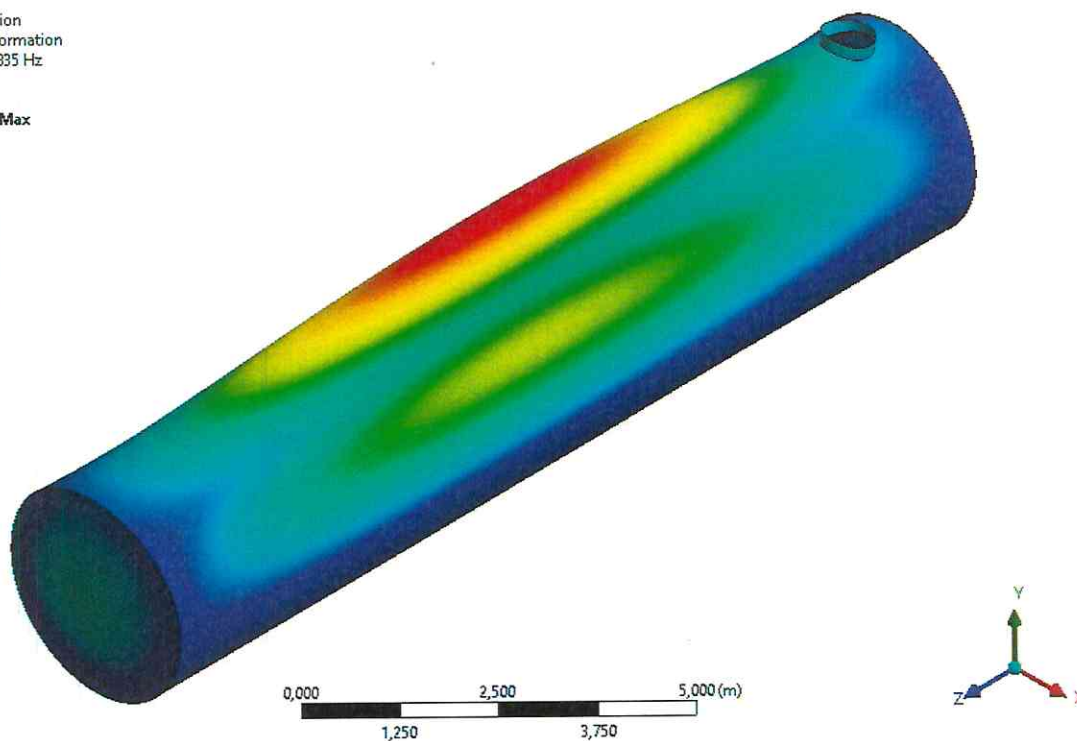


Рис. 5. Амплитуда при 1-й форме колебаний



B: Modal
Total Deformation 2
Type: Total Deformation
Frequency: 5,9553 Hz
Unit: m

0,196 Max
0,17422
0,15244
0,13067
0,10889
0,087111
0,065333
0,043555
0,021778
0 Min



Рис. 6. Амплитуда при 2-й форме колебаний

B: Modal
Total Deformation 3
Type: Total Deformation
Frequency: 5,9654 Hz
Unit: m

0,19455 Max
0,17293
0,15132
0,1297
0,10808
0,086466
0,06485
0,043233
0,021617
0 Min

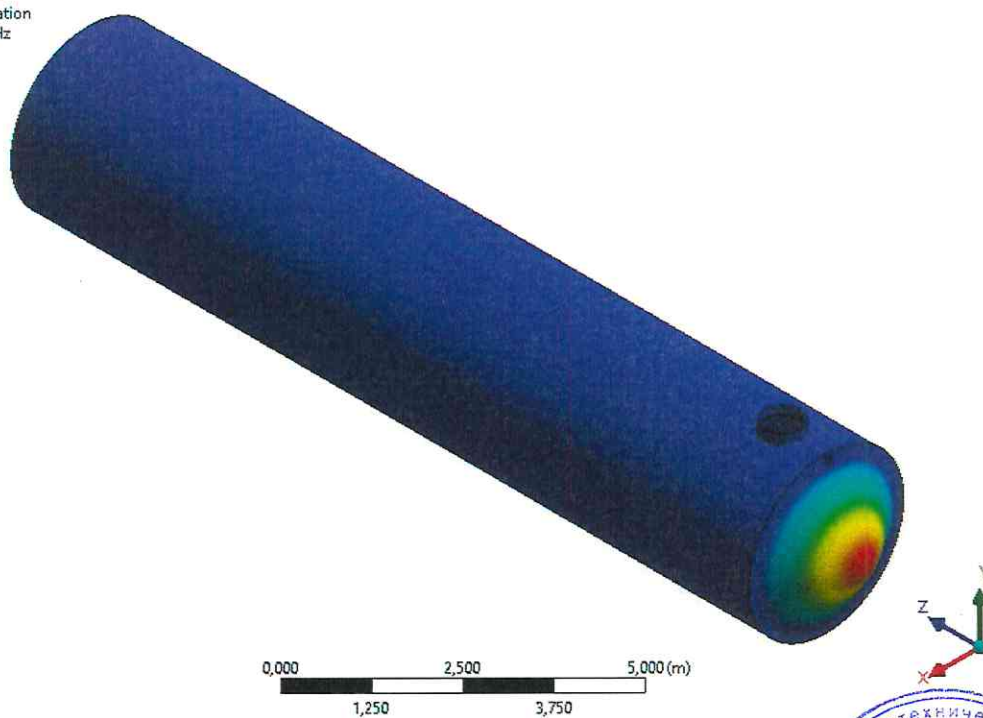


Рис. 7. Амплитуда при 3-й форме колебаний



B: Modal
Total Deformation 4
Type: Total Deformation
Frequency: 6,2281 Hz
Unit: m

0,062334 Max
0,055408
0,048482
0,041556
0,03463
0,027704
0,020778
0,013852
0,006926
0 Min

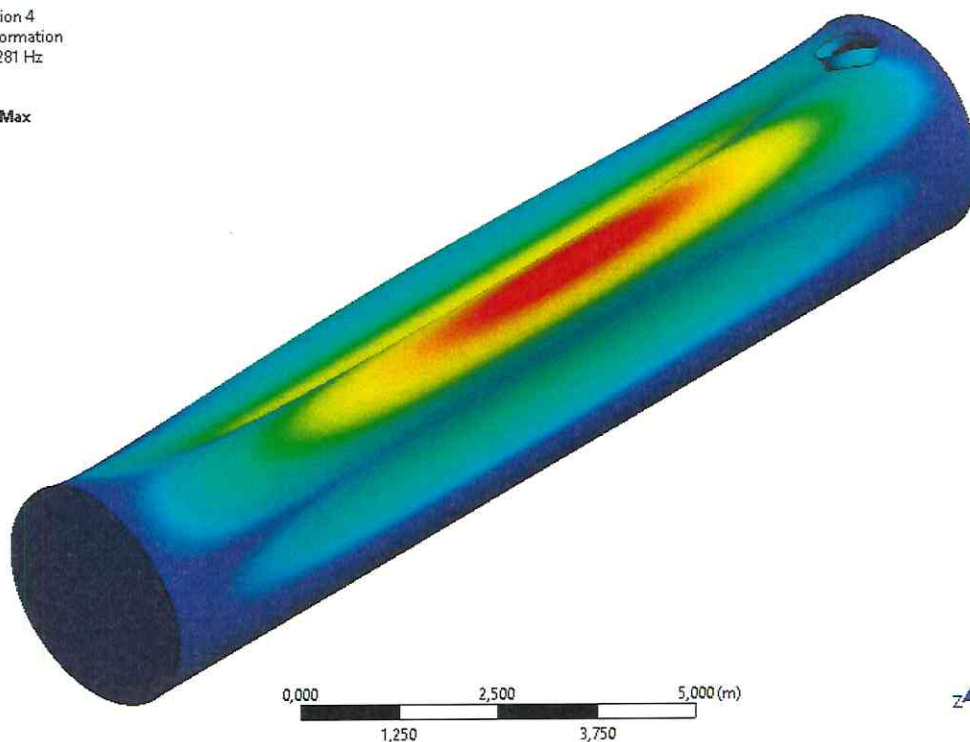


Рис. 8. Амплитуда при 4-й форме колебаний

B: Modal
Total Deformation 5
Type: Total Deformation
Frequency: 9,7649 Hz
Unit: m

0,064972 Max
0,057753
0,050534
0,043315
0,036096
0,028877
0,021657
0,014438
0,0072192
0 Min

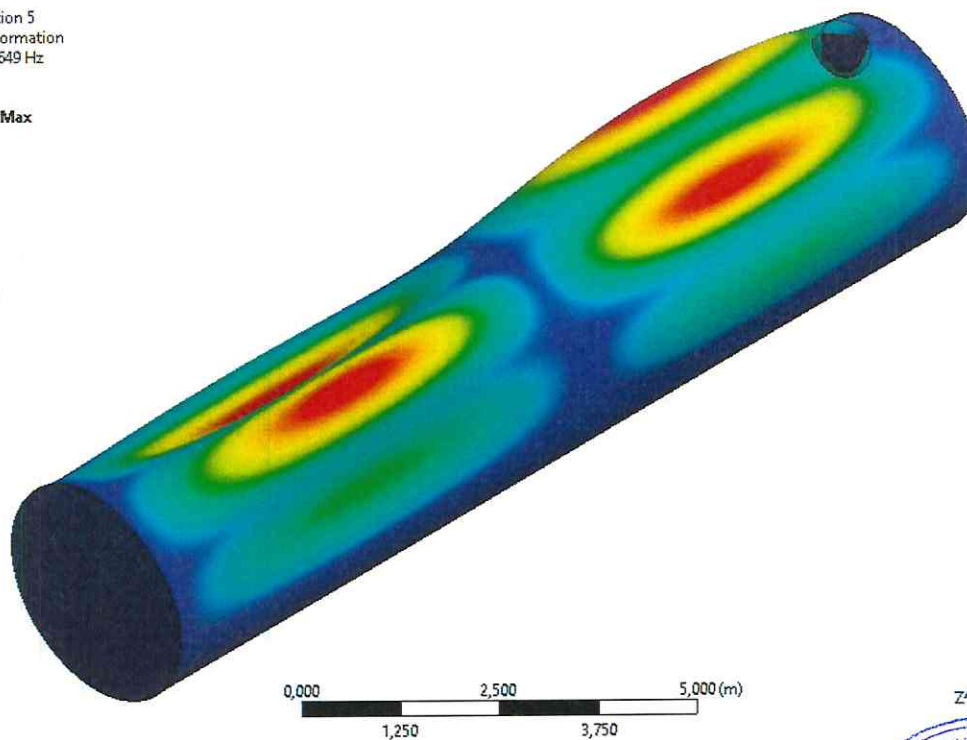


Рис. 9. Амплитуда при 5-й форме колебаний



B: Modal
Total Deformation 6
Type: Total Deformation
Frequency: 10,27 Hz
Unit: m

0,073204 Max
0,06507
0,056936
0,048803
0,040669
0,032535
0,024401
0,016268
0,0081338
0 Min

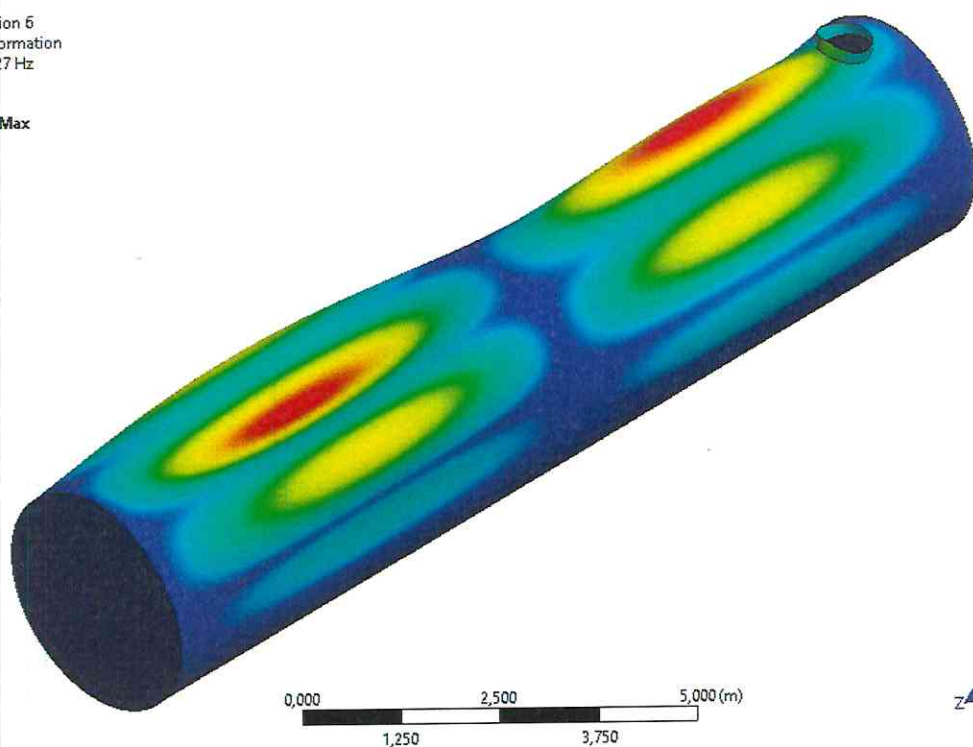


Рис. 10. Амплитуда при 6-й форме колебаний

4.2. Анализ сейсмического воздействия на резервуар

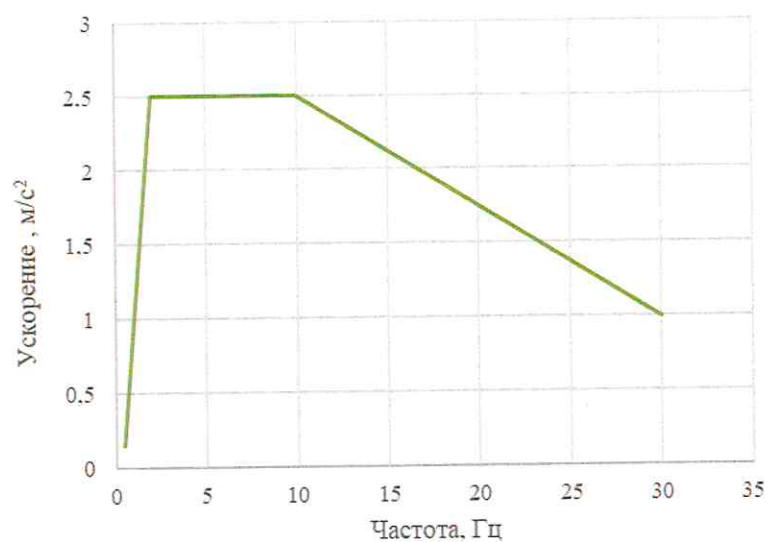


Рис. 11. График зависимости между максимальной амплитудой ускорения и частотой синусоидальной вибрации – расчетный спектр воздействия

Частота [Hz]	Ускорение [(m/s²)]
0.5	0.15
2.0	2.5
10.0	
30.0	1.0



C: Response Spectrum
 Directional Deformation
 Type: Directional Deformation(X Axis)
 Unit: m
 Solution Coordinate System
 Time: 0

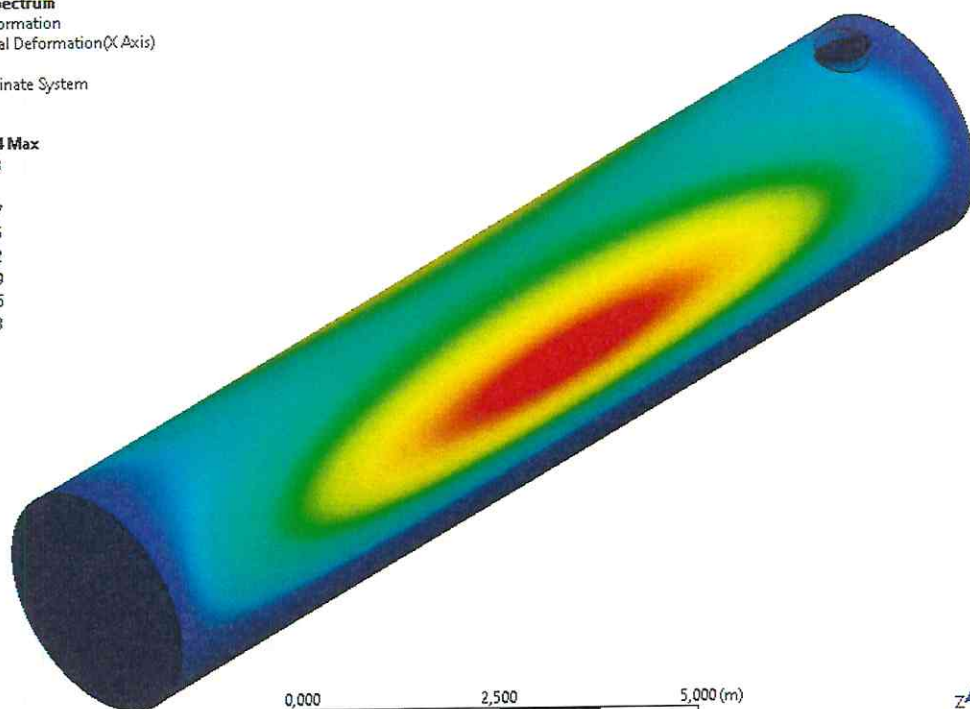
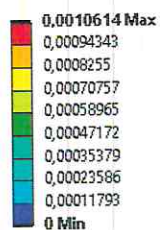


Рис. 12. Перемещения по оси X [м]

C: Response Spectrum
 Directional Deformation 2
 Type: Directional Deformation(Y Axis)
 Unit: m
 Solution Coordinate System
 Time: 0

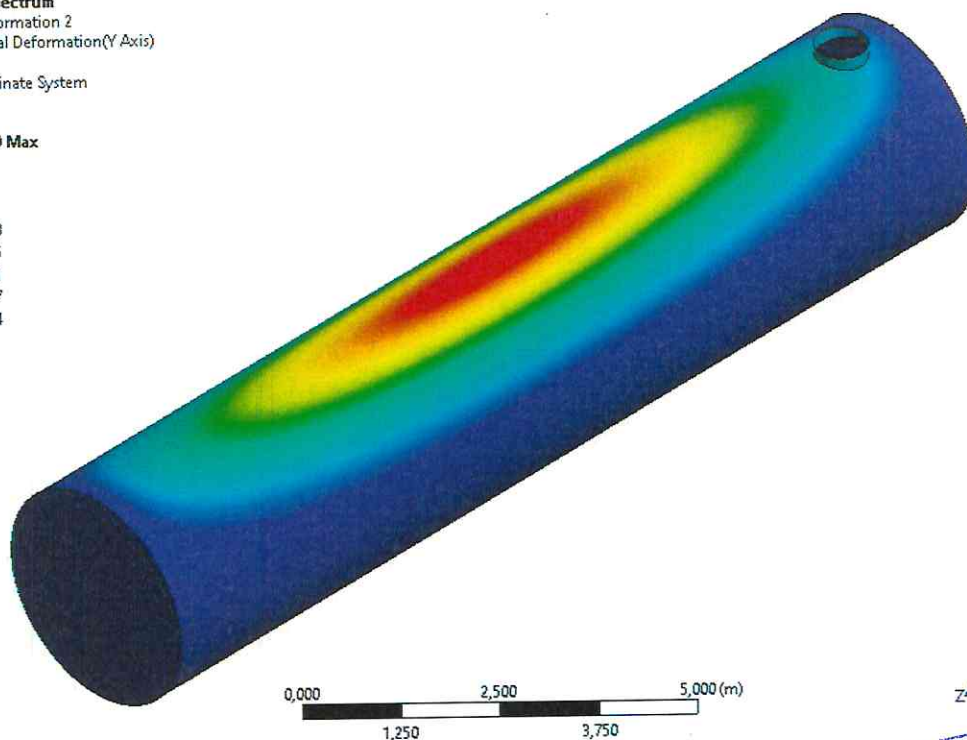
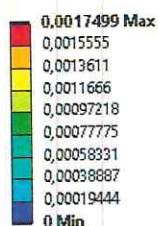


Рис. 13. Перемещения по оси Y [м]



C: Response Spectrum
 Directional Deformation 3
 Type: Directional Deformation(Z Axis)
 Unit: m
 Solution Coordinate System
 Time: 0

0,0038034 Max
 0,0033808
 0,0029582
 0,0025356
 0,002113
 0,0016904
 0,0012678
 0,0008452
 0,0004226
 0 Min



Рис. 14. Перемещения по оси Z [м]

C: Response Spectrum
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent Stress - Top/Bottom
 Unit: Pa
 Time: 0

2,4164e5 Max
 2e5
 1,75e5
 1,5e5
 1,25e5
 1e5
 75000
 50000
 25000
 0 Min

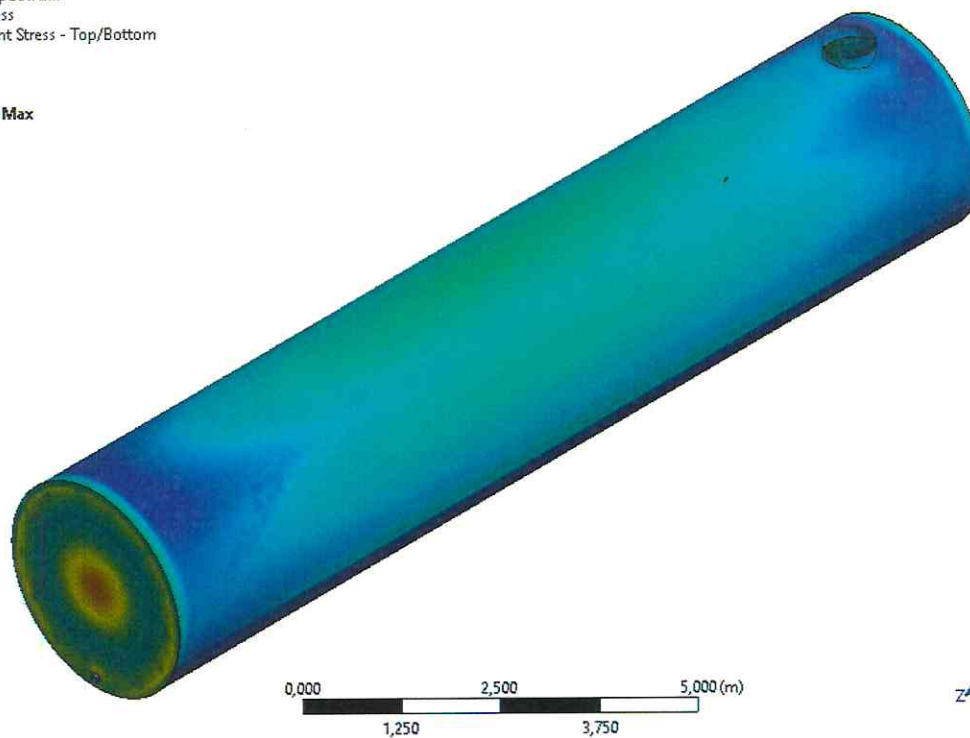


Рис. 15. Эквивалентные напряжения [Па]



C: Response Spectrum
 Directional Acceleration
 Type: Directional Acceleration - Top/Bottom
 Unit: m/s^2
 Solution Coordinate System
 Time: 0

1,403 Max
 1,2471
 1,0912
 0,93532
 0,77944
 0,62355
 0,46766
 0,31177
 0,15589
 0 Min

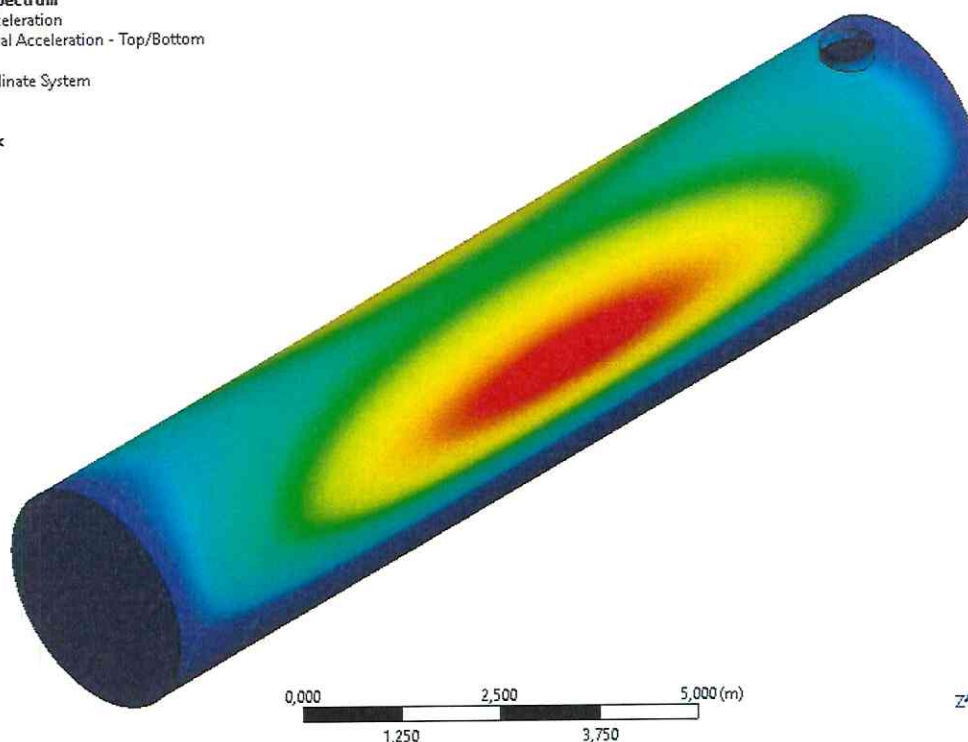


Рис. 16. Ускорение по оси X [м/с^2]

C: Response Spectrum
 Directional Acceleration 2
 Type: Directional Acceleration - Top/Bottom
 Unit: m/s^2
 Solution Coordinate System
 Time: 0

2,3119 Max
 2,055
 1,7981
 1,5413
 1,2844
 1,0275
 0,77063
 0,51375
 0,25688
 0 Min

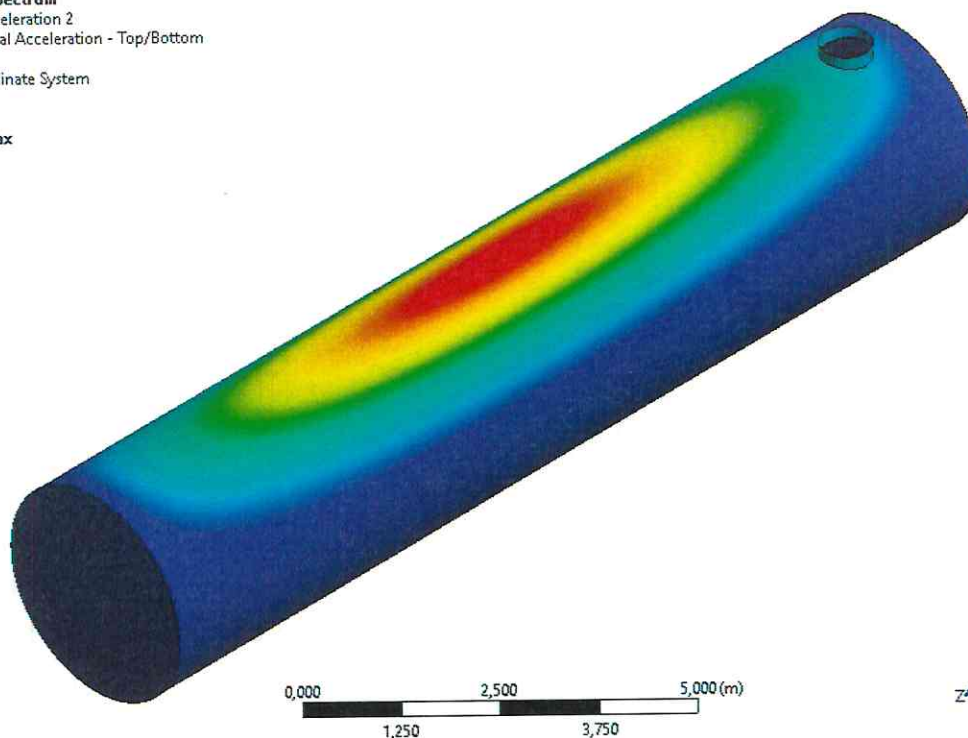


Рис. 17. Ускорение по оси Y [м/с^2]



C: Response Spectrum
 Directional Acceleration 3
 Type: Directional Acceleration - Top/Bottom
 Unit: m/s^2
 Solution Coordinate System
 Time: 0

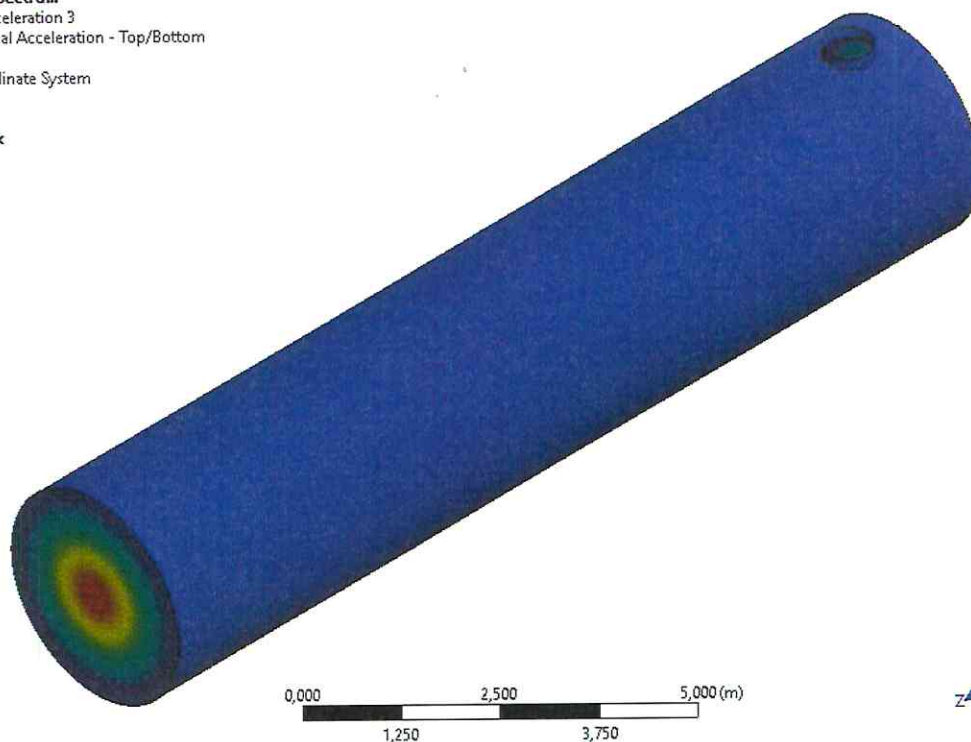
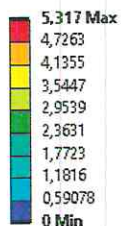


Рис. 18. Ускорение по оси Z [m/s^2]

4.3. Визуализация коэффициента запаса прочности от сейсмического воздействия

D: Transient Structural
 Safety Factor
 Type: Safety Factor



Рис. 19. Визуализация коэффициента запаса прочности



5. Общие выводы

1. Испытание на сейсмическое воздействие Ливневого очистного сооружения «BloPlast», выпускаемого по ТУ 28.29.12-009-20187688-2020 выполнено 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 30631-99 «Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам при эксплуатации», СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах»;
2. В испытании представлены: собственные частоты колебаний резервуара, сейсмическое воздействие на резервуар, визуализация коэффициента запаса прочности;
3. На основании проведенного испытания можно сделать вывод, что прочность Ливневого очистного сооружения «BloPlast», выпускаемого по ТУ 28.29.12-009-20187688-2020 от сейсмического воздействия в 9 баллов по шкале MSK-64 обеспечена.

