

**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 № 16-21/09

Объект испытаний	Емкостное оборудование вертикального и горизонтального типов из полипропилена и армированного стеклопластика «BloPlast», выпускаемое по ТУ 22.23.13-010-20187688-2020.
Регистрационные данные ИЦ Документ, на соответствие которому проводились испытания	№ РОСС RU.31297.04ЖТУ0.004 от 01.07.2020 г. 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	Общество с ограниченной ответственностью «Блорэй». Адрес: 350075, Россия, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Селезнева 88/1.
Изготовитель	Общество с ограниченной ответственностью «Блорэй». Адрес: 350075, Россия, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Селезнева 88/1.
Место проведения испытаний	Лабораторный корпус ЗАО НПЦ «Строймонтаж», Московская область, г. Лыткарино, ул. Парковая, д. 1
Дата проведения испытаний	03.09.2021
Результаты испытаний	См. Приложение 1

Руководитель испытательного центра электротехнических изделий «СТРОЙМОНТАЖ»



И.А. Панков
03 сентября 2021 г.

Запрещается передача и частичная перепечатка протокола без разрешения испытательного центра. Протокол испытаний распространяется только на образцы, подвергнутые испытаниям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Емкостное оборудование вертикального и горизонтального типов из полипропилена и армированного стеклопластика «VloPlast», выпускаемое по ТУ 22.23.13-010-20187688-2020., соответствует 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
Емкостное оборудование вертикального и
горизонтального типов из полипропилена и
армированного стеклопластика «BloPlast»**



Содержание

1. Общие сведения	3
2. Нагрузки и воздействия, действующие на резервуар.....	4
3. Методика расчета.....	4
4. Расчет резервуара.....	8
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.....	14
5. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	15

1. Общие сведения

Испытание на сейсмическое воздействие Емкостное оборудование вертикального и горизонтального типов из полипропилена и армированного стеклопластика «ВлоPlast» (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».

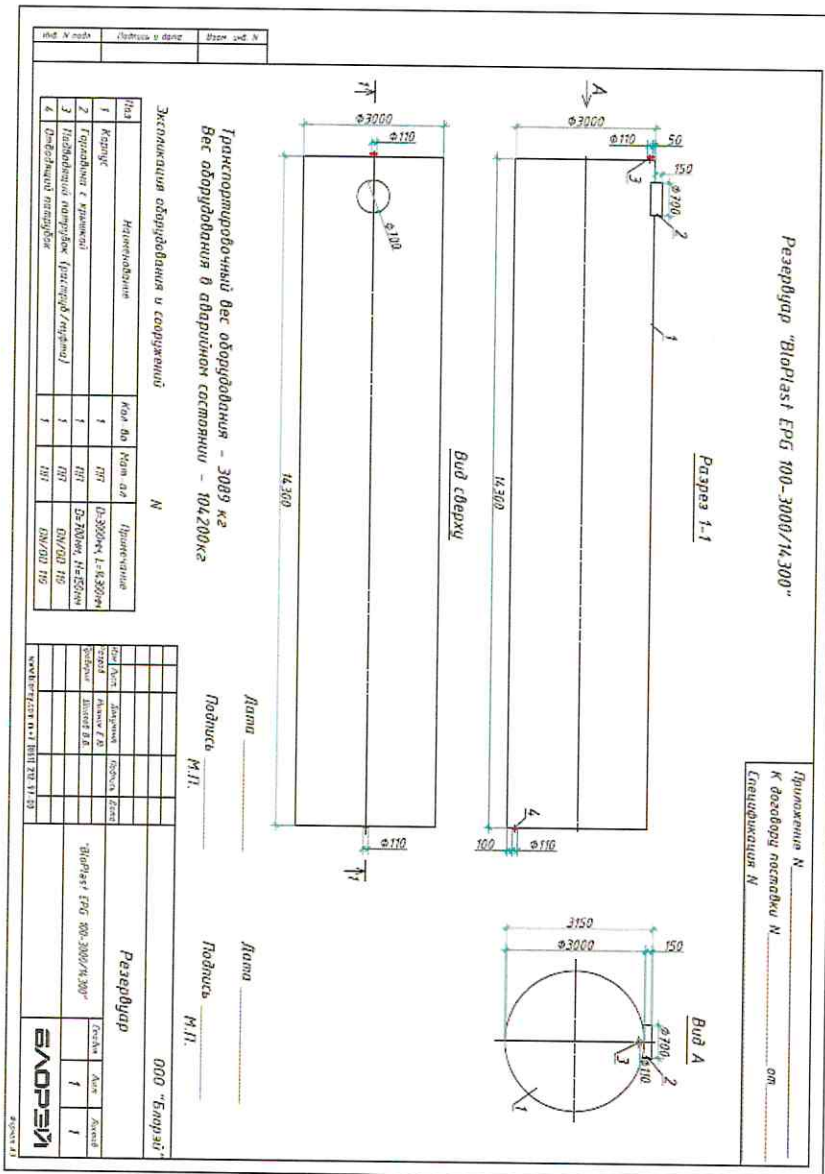


Рис.1. Резервуар лаз ПС-6491.00.000 СБ Резервуар-лаз Л-Л-ЗКБ(М) ГИИС 1420(32К60)x500-10,0-0,66-УХЛ-43



2. Нагрузки и воздействия, действующие на резервуар

На основании технической документации, было смоделировано резервуар.

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

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:

$$\{\sigma\} = [D] \{\epsilon e\},$$

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.

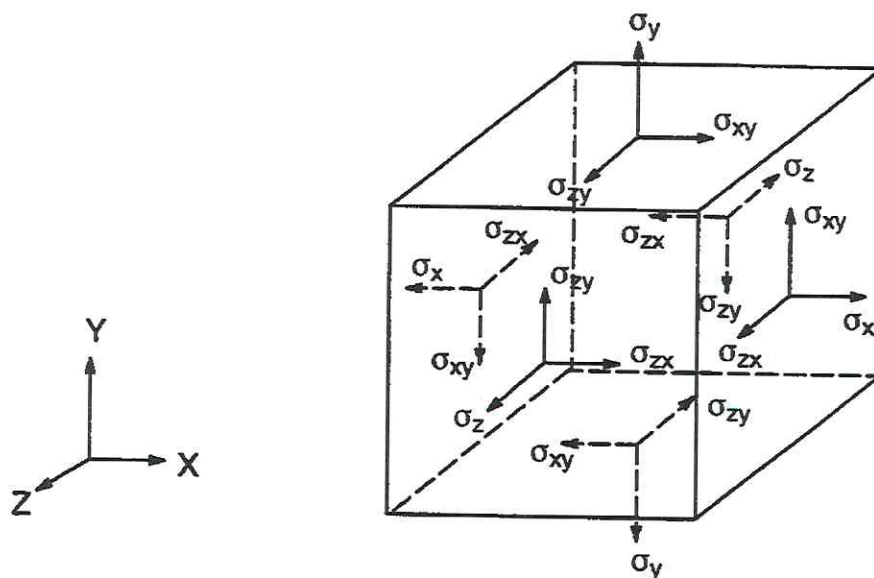


Рис. 2. - Компоненты вектора напряжений

Уравнение (1) может быть обращено следующим образом:

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

Матрица [D]⁻¹, нормализованная по столбцам, имеет вид:

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



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

При использовании нормализация по строкам, матрица записывается следующим образом:

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

Для записи элементов этих матриц используются обозначения:

E_x – модуль Юнга в направлении оси x ,

v_{xy} – минимальный коэффициент Пуассона,

v^*_{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:

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

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

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

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) и также (5) ... (7), получаем шесть уравнений:

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

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



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

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

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

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

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:

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

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

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

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

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

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

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

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 резервуара

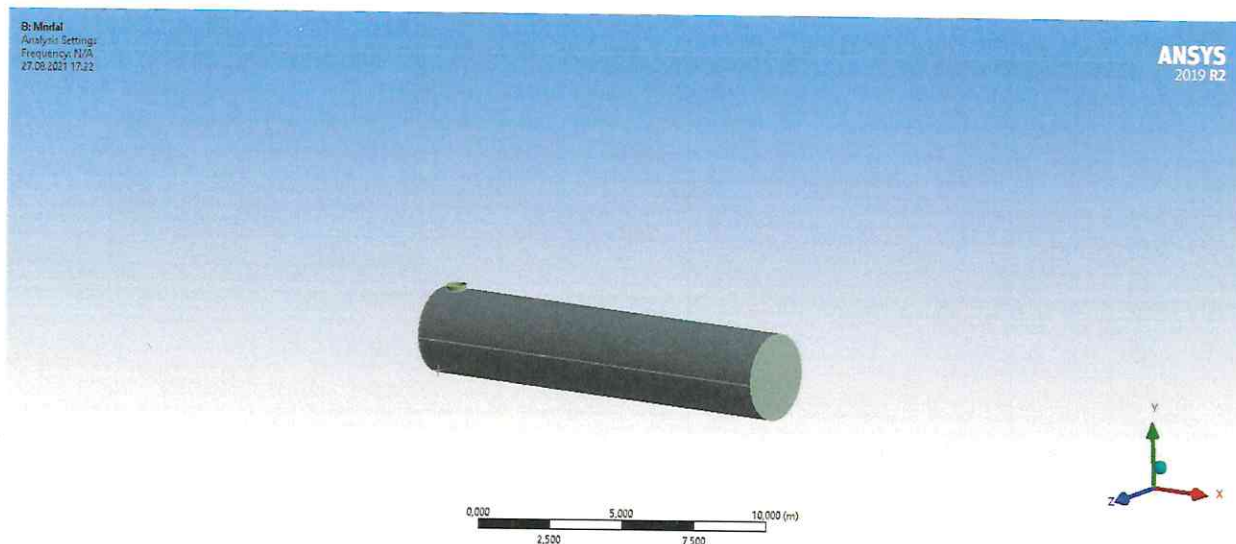


Рис. 2 Расчетная аппроксимированная модель

4.1 Определение собственных частот колебаний резервуара:

№ Рис.	Форма колебаний	Частота , Гц
4	1	14,815
5	2	14,822
6	3	19,579
7	4	20,402
8	5	31,135
9	6	31,601



Рис. 3 Гистограмма собственных частот колебаний



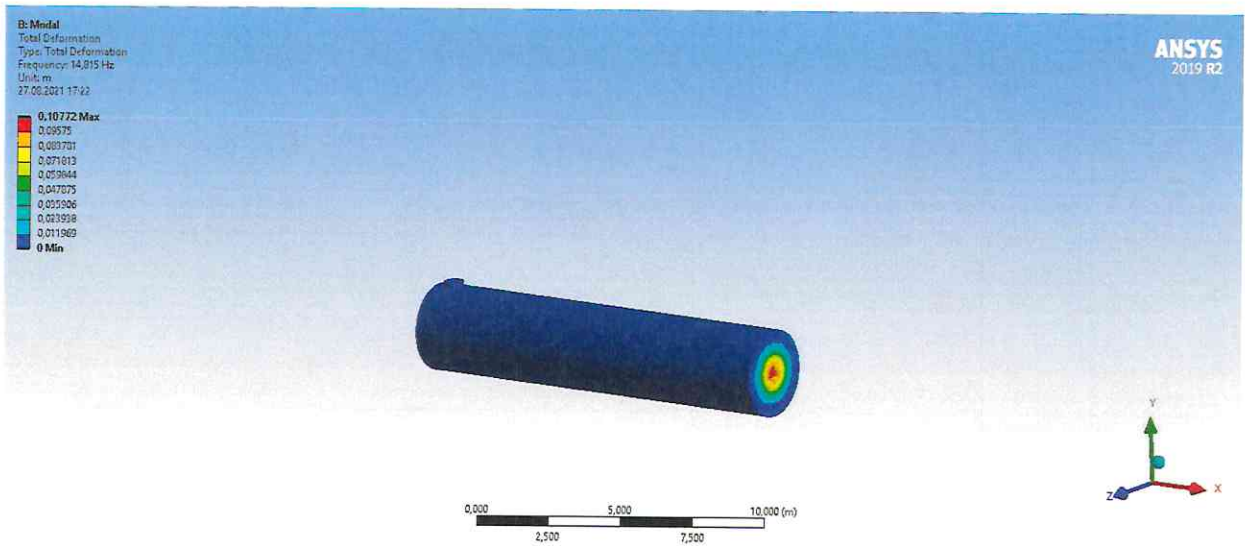


Рис. 4 Амплитуда при 1-й форме колебаний [м]

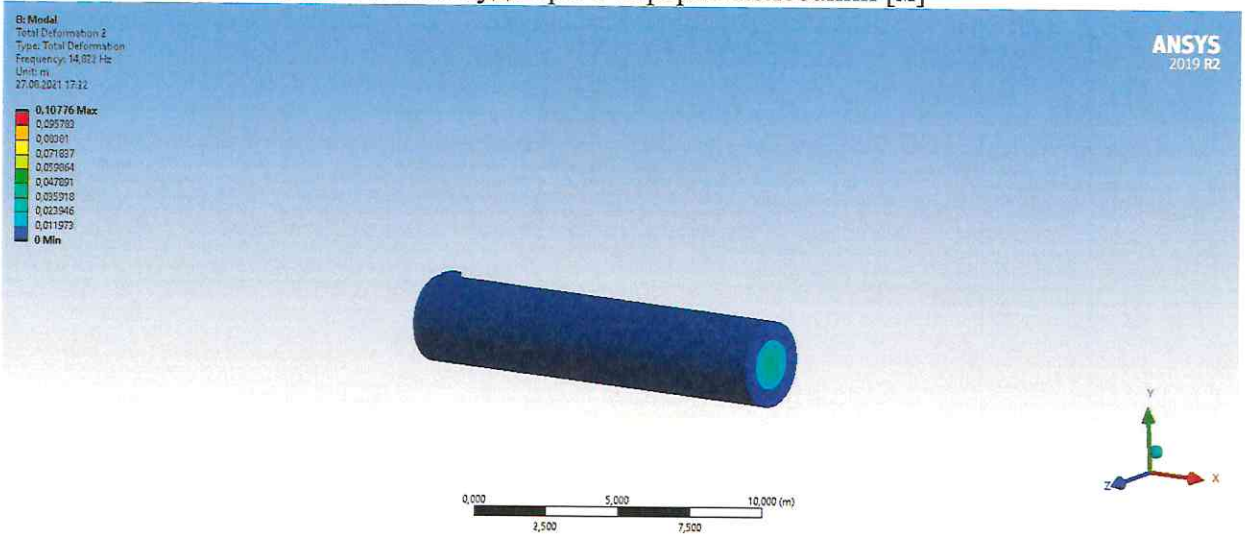


Рис. 5 Амплитуда при 2-й форме колебаний [м]

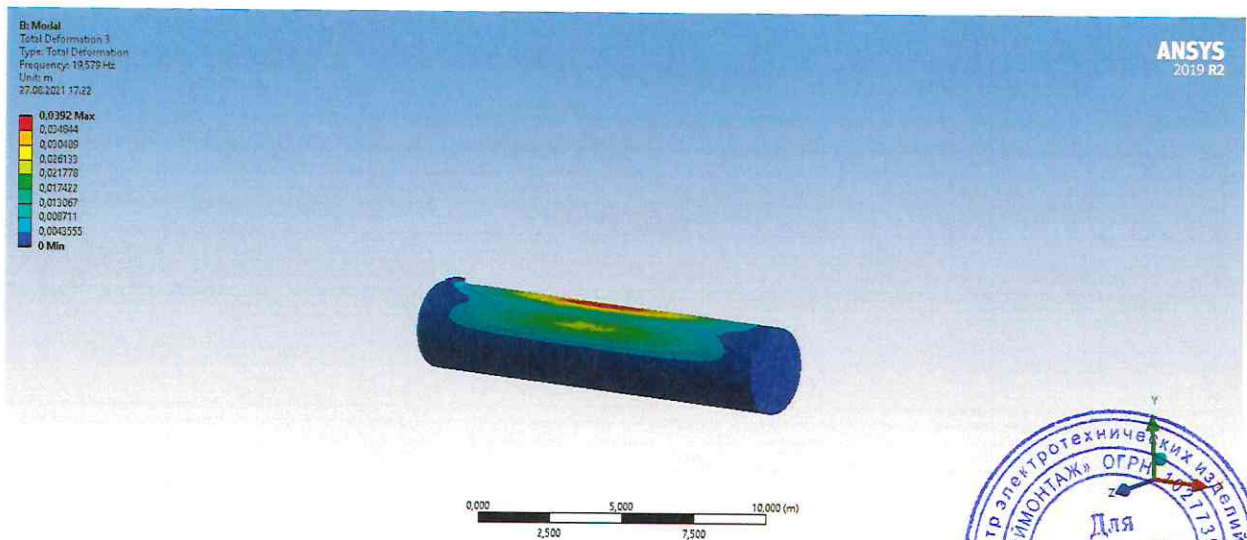


Рис. 6 Амплитуда при 3-й форме колебаний [м]



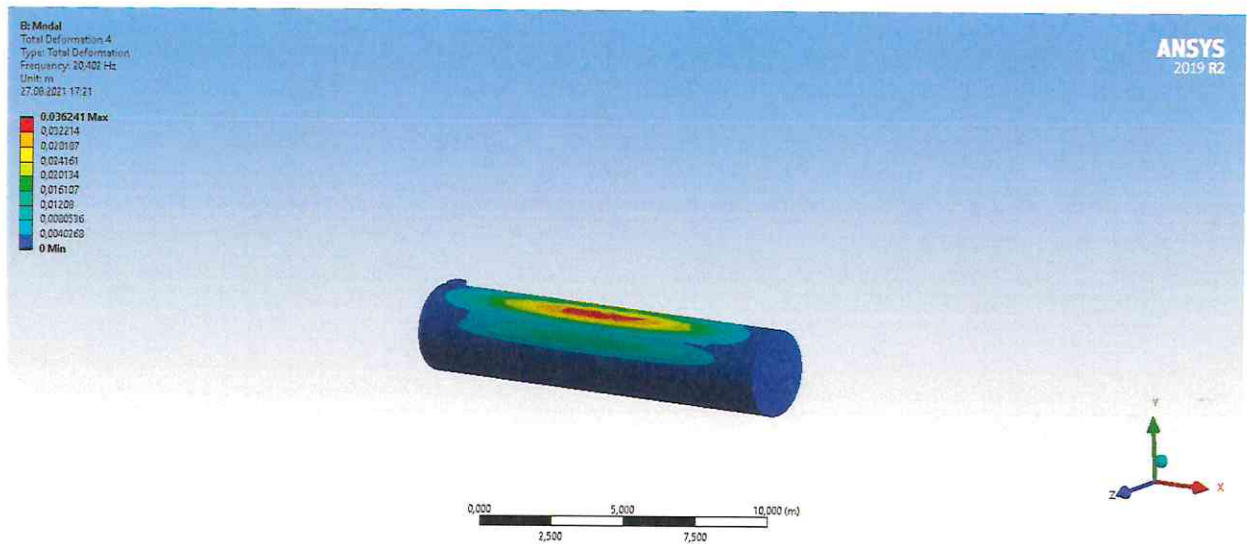


Рис. 7 Амплитуда при 4-й форме колебаний [м]

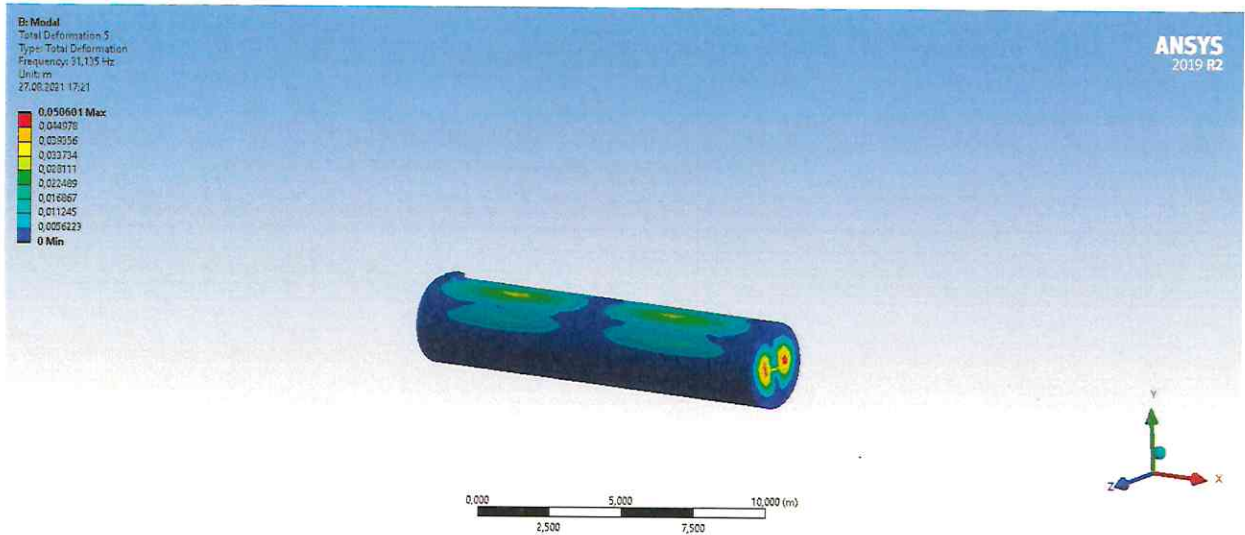


Рис. 8 Амплитуда при 5-й форме колебаний [м]

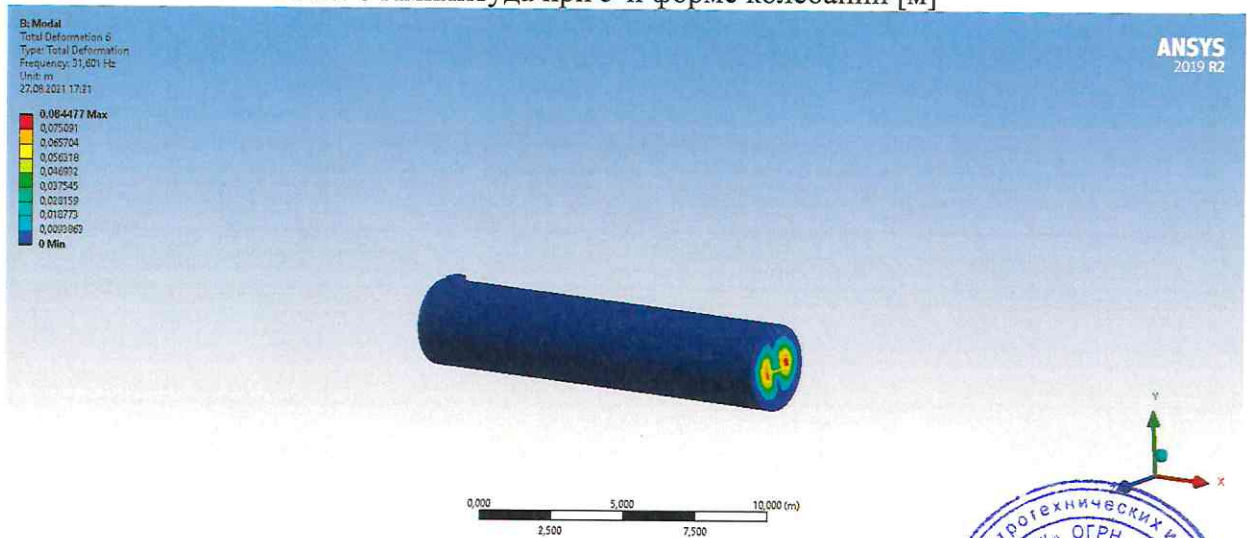


Рис. 9 Амплитуда при 6-й форме колебаний [м]



4.2 Анализ сейсмического воздействия на резервуар:

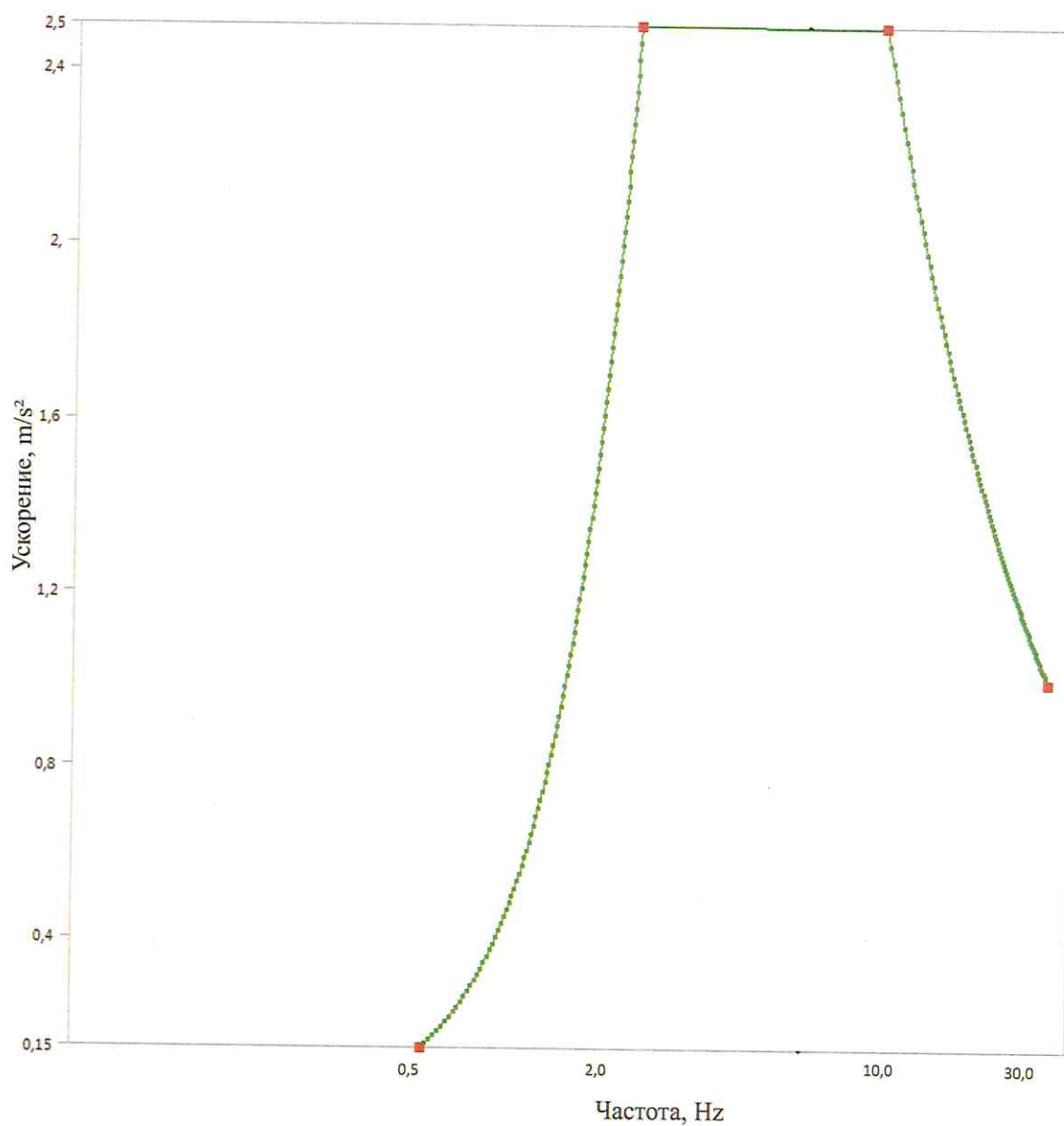


Рис.10 График зависимости между максимальной амплитуды ускорения и частотой синусоидальной вибрации – расчетный спектр воздействия

Частота [Hz]	Ускорение [(m/s^2)]
0,5	0,15
2,	2,5
10,	2,5
30,	1,0



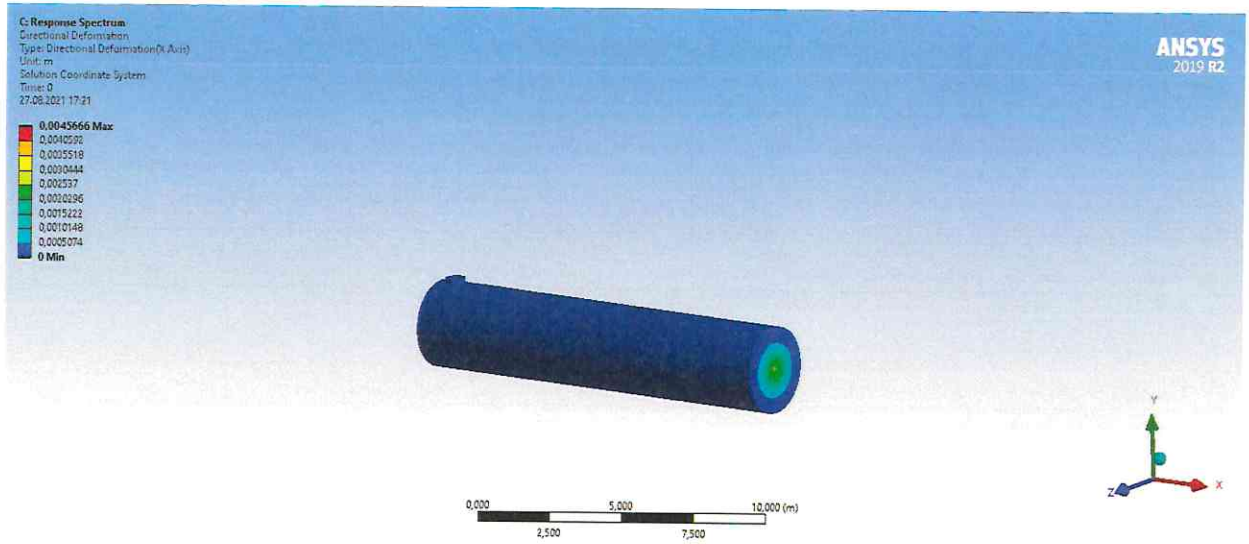


Рис. 11 Перемещения по оси X [м]

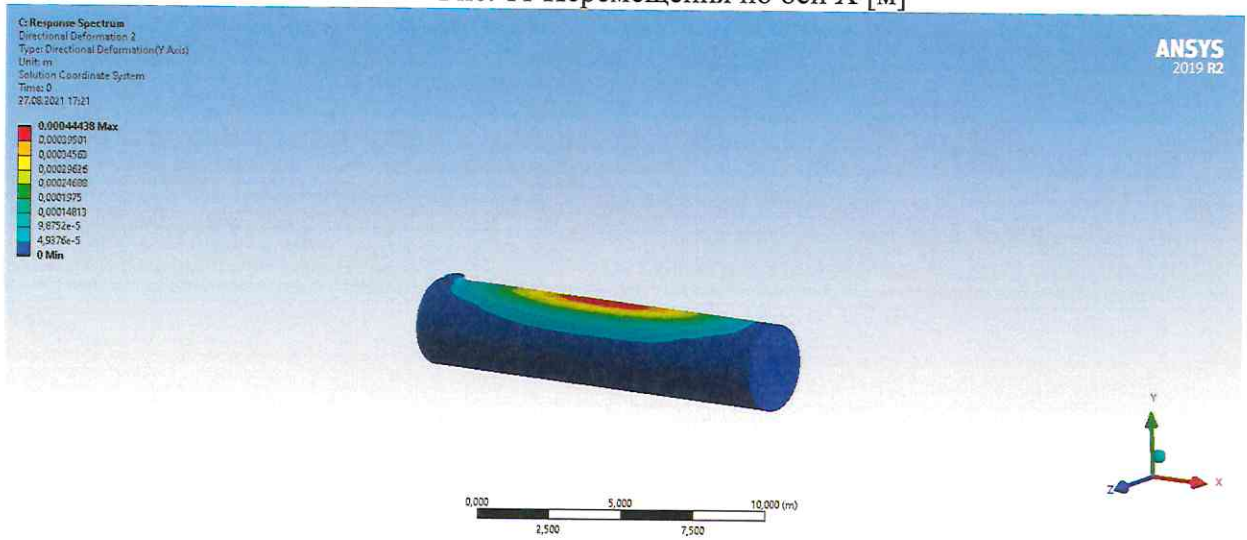


Рис. 12 Перемещения по оси Y [м]

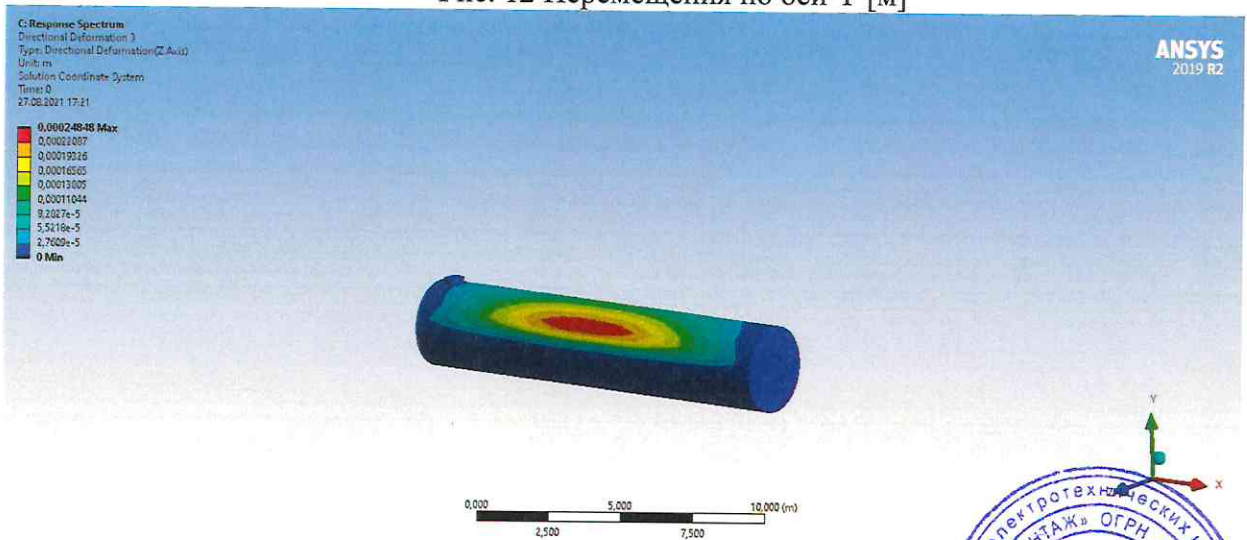


Рис. 13 Перемещения по оси Z [м]



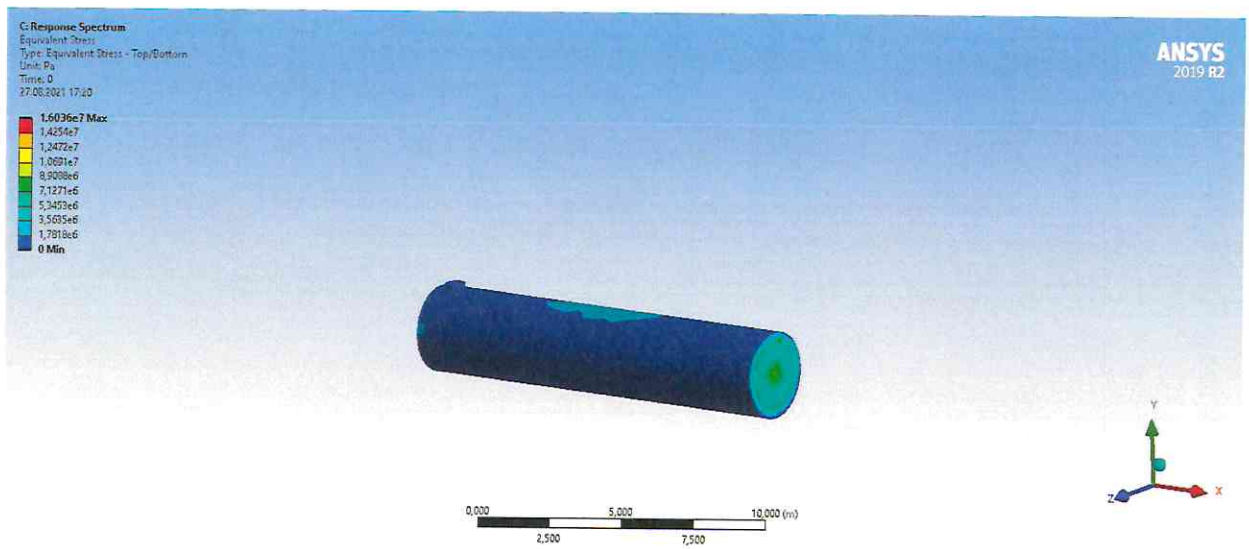


Рис. 14 Эквивалентные напряжения [Па]



Рис. 15 Ускорение по оси X [м/с²]

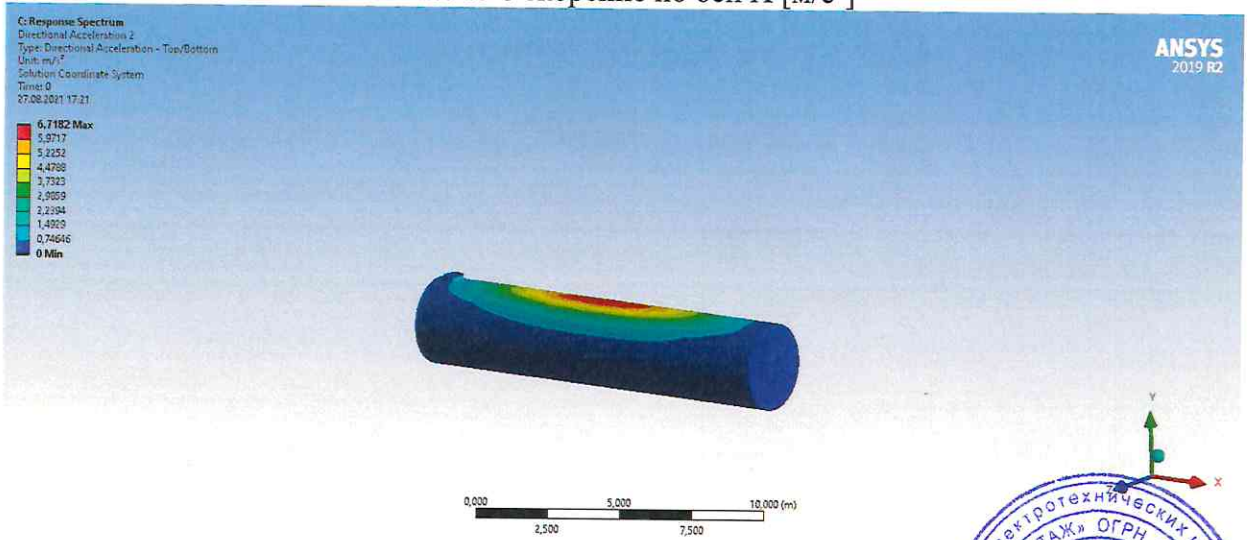


Рис. 16 Ускорение по оси Y [м/с²]



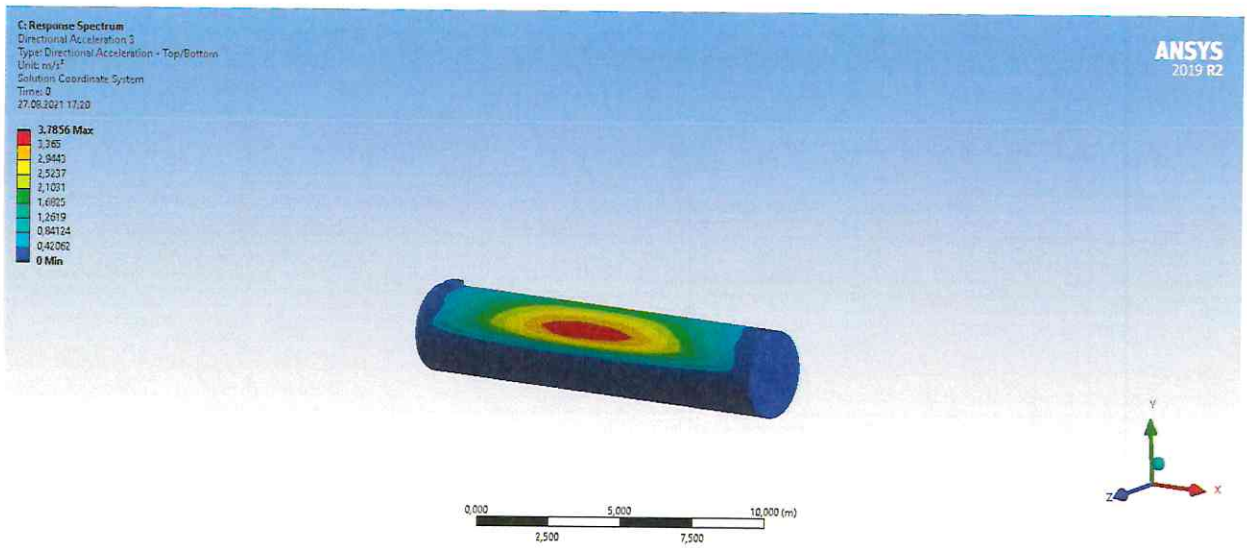


Рис. 17 Ускорение по оси Z [м/с²]

4.3 Визуализация коэффициента запаса прочности от сейсмического воздействия

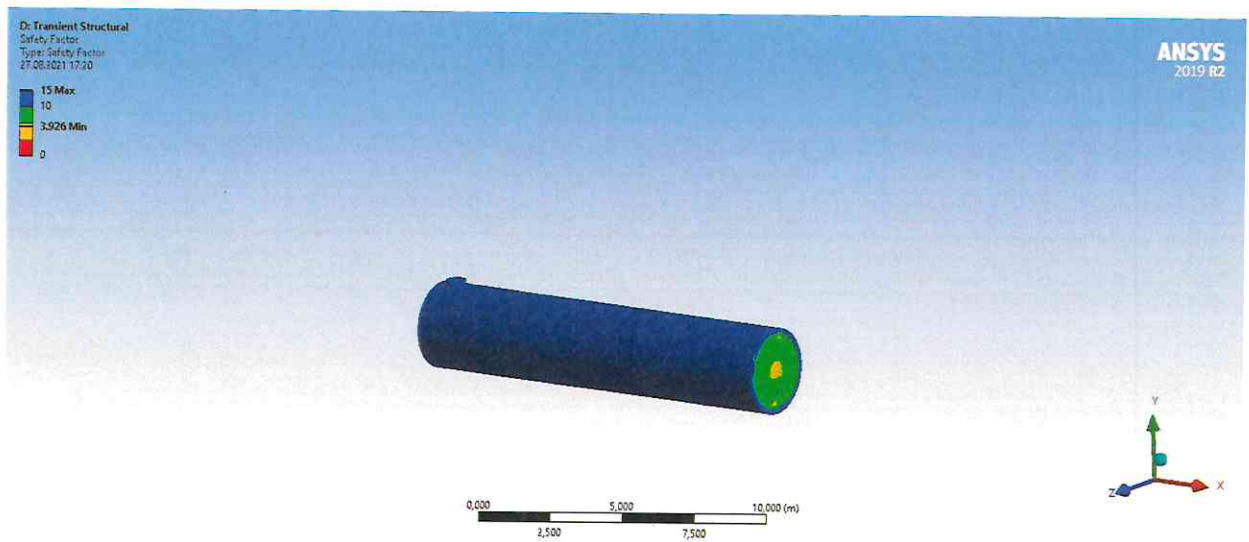


Рис.18 Визуализация коэффициента запаса прочности



5. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Испытание на сейсмическое воздействие Емкостное оборудование вертикального и горизонтального типов из полипропилена и армированного стеклопластика «BloPlast» 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 Емкостное оборудование вертикального и горизонтального типов из полипропилена и армированного стеклопластика «BloPlast» от сейсмического воздействия в 9 баллов по шкале MSK-64 обеспечена.

