

Приложение №1
к протоколу № 040-03-25-Д-ВТ



**Испытание на сейсмическое воздействие
Колодца из полимерных и композитных материалов
торговой марки «НИС», выпускаемого по
ТУ 2291–001–18118274–2018 «Колодцы из полимерных и
композитных материалов торговой марки «НИС»»**

Содержание

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

1. Общие сведения

Испытание на сейсмическое воздействие колодца из полимерных и композитных материалов торговой марки «НИС», выпускаемого по ТУ 2291–001–18118274–2018 «Колодцы из полимерных и композитных материалов торговой марки «НИС»» (далее колодец) 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».

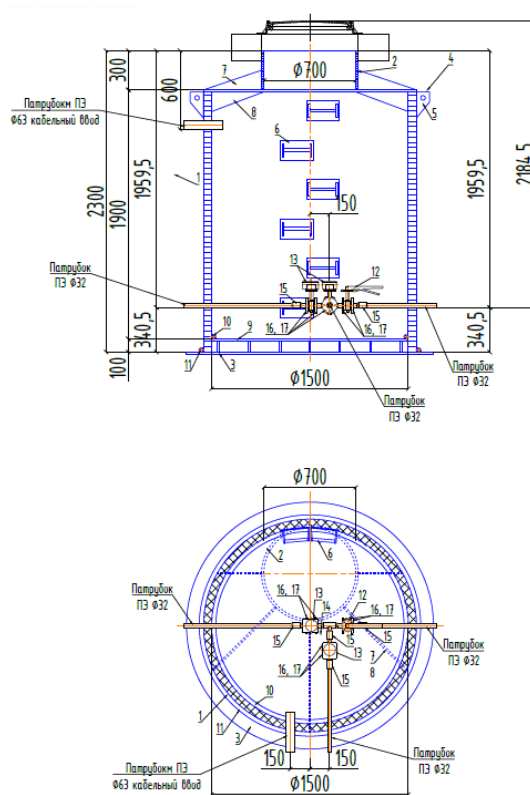


Рис. 1. Общий вид колодца

2. Нагрузки и воздействия, действующие на колодец

На основании технической документации, был смоделирован колодец.

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:

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

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);

$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon\} - \{\varepsilon_{th}\}$ – выходной массив;

$\{\varepsilon\} = [\varepsilon_x \ \varepsilon_y \ \varepsilon_z \ \varepsilon_{xy} \ \varepsilon_{xz} \ \varepsilon_{yz}]^T$ - вектор полной (суммарной) деформации;

$\{\varepsilon_{th}\}$ – 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.

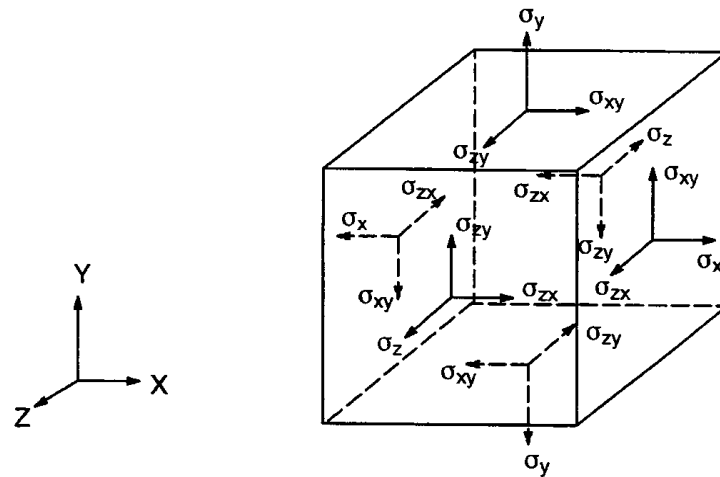


Рис. 2. Компоненты вектора напряжений

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

где 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:

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

$$\sigma_y = E_x/h [v_{xy} + v_{xz} v_{yz} E_y/E_z] (\epsilon_x - \alpha_x \Delta T) + E_y/h [1 - \quad (18)$$

$$- (v_{xz})^2 * E_x / E_z] (\epsilon_y - \alpha_y * \Delta T) + E_y / h [v_{yz} + v_{xz} * v_{xy} * E_x / E_y] (\epsilon_z - \alpha_z * \Delta T),$$

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

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

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

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

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

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 колодца

Model

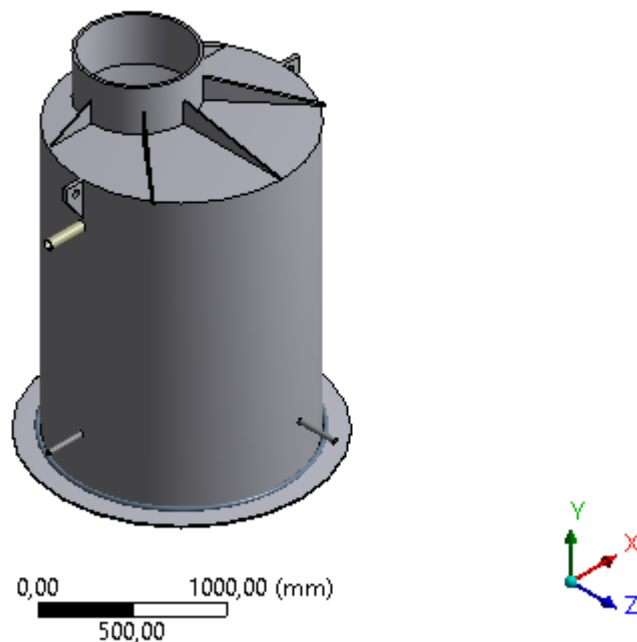


Рис. 3. Расчетная аппроксимированная модель

4.1. Определение собственных частот колебаний колодца

№ Рис.	Форма колебаний	Частота, Гц
5	1	40,49
6	2	45,491
7	3	56,403
8	4	75,124
9	5	84,312
10	6	94,877

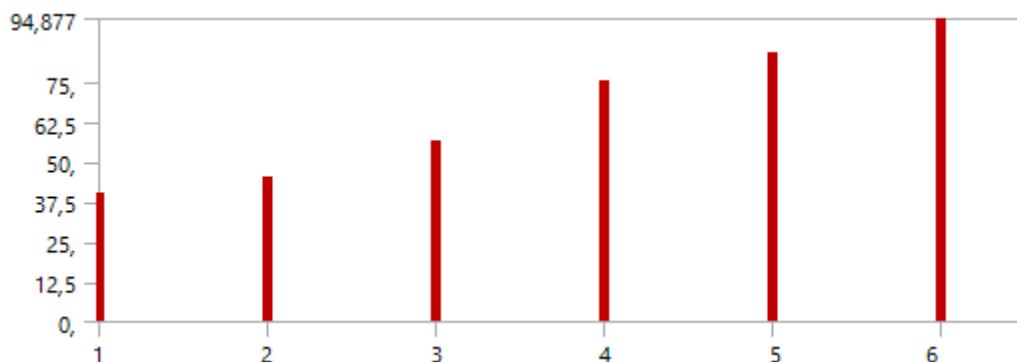


Рис. 4. Гистограмма собственных частот колебаний

B: Modal
Total Deformation
Type: Total Deformation
Frequency: 40,49 Hz
Unit: mm

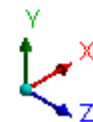
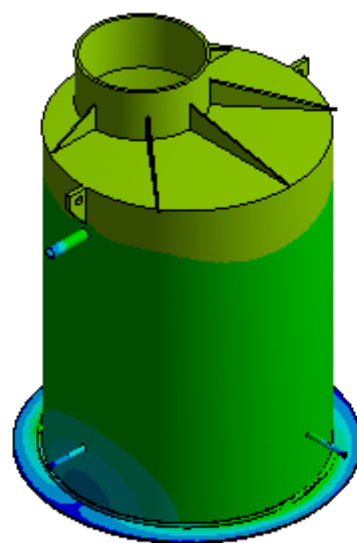
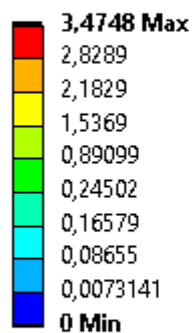


Рис. 5. Амплитуда при 1-й форме колебаний

B: Modal
Total Deformation 2
Type: Total Deformation
Frequency: 45,491 Hz
Unit: mm

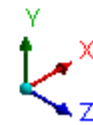
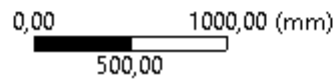
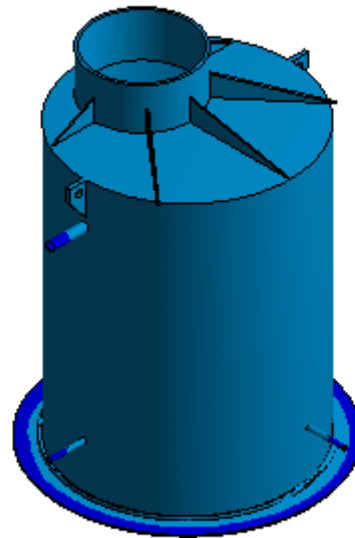
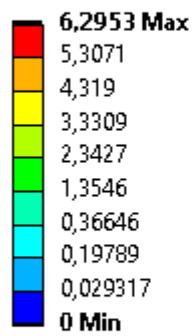


Рис. 6. Амплитуда при 2-й форме колебаний

B: Modal
Total Deformation 3
Type: Total Deformation
Frequency: 56,403 Hz
Unit: mm

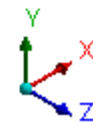
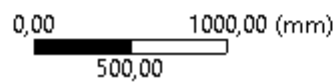
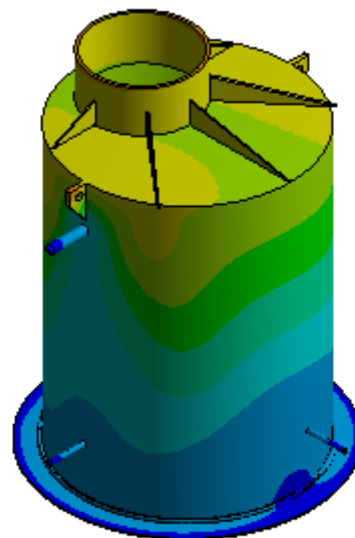
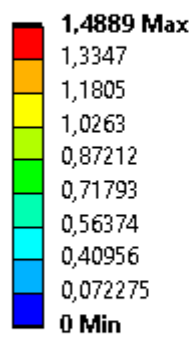


Рис. 7. Амплитуда при 3-й форме колебаний

B: Modal
Total Deformation 4
Type: Total Deformation
Frequency: 75,124 Hz
Unit: mm

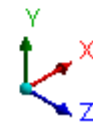
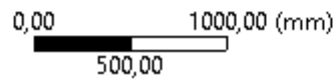
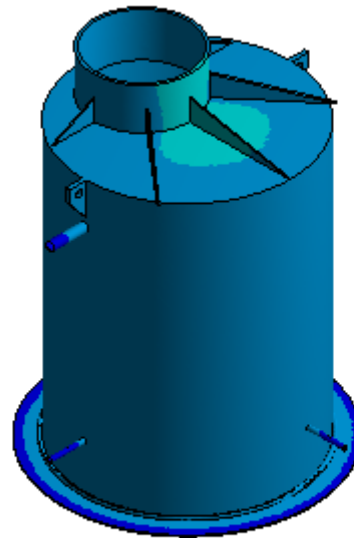
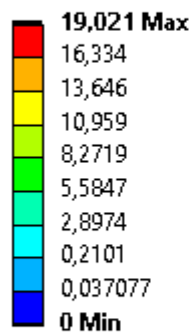


Рис. 8. Амплитуда при 4-й форме колебаний

B: Modal
Total Deformation 5
Type: Total Deformation
Frequency: 84,312 Hz
Unit: mm

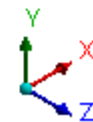
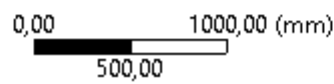
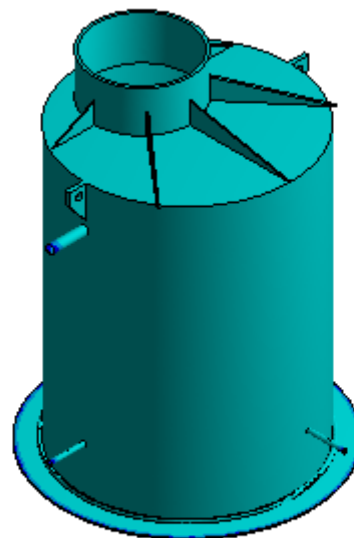
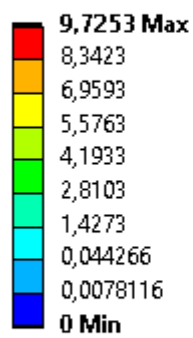


Рис. 9. Амплитуда при 5-й форме колебаний

B: Modal
 Total Deformation 6
 Type: Total Deformation
 Frequency: 94,877 Hz
 Unit: mm

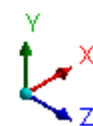
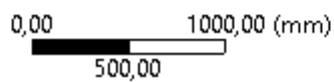
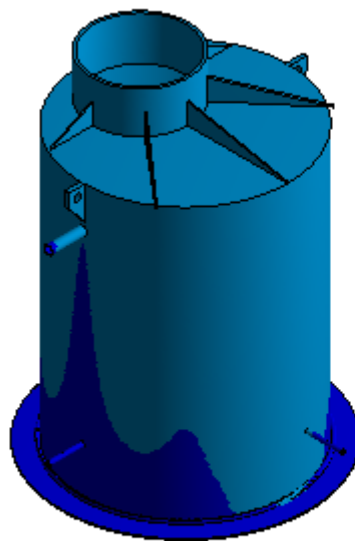
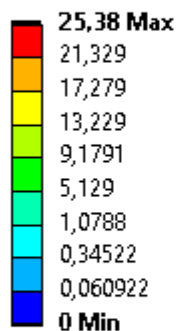


Рис. 10. Амплитуда при 6-й форме колебаний

4.2. Анализ сейсмического воздействия на колодец

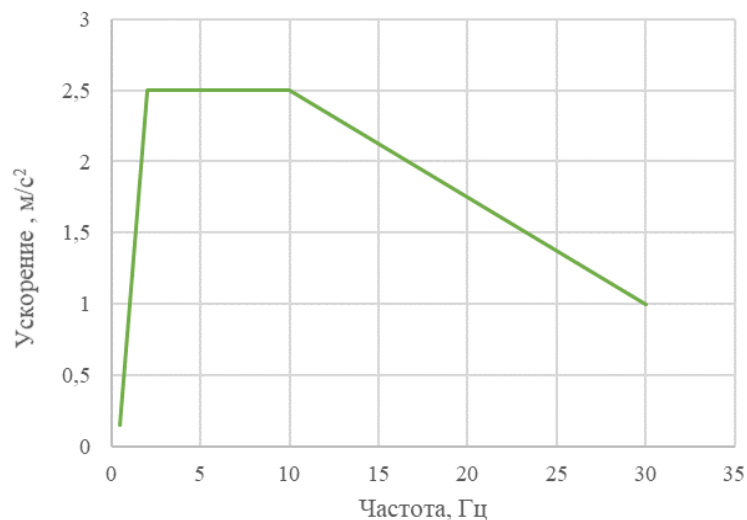


Рис. 11. График зависимости между максимальной амплитудой ускорения и частотой синусоидальной вибрации – расчетный спектр воздействия

Частота [Hz]	Ускорение [(m/s ²)]
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: mm

Solution Coordinate System

Time: 0

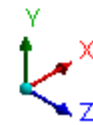
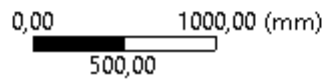
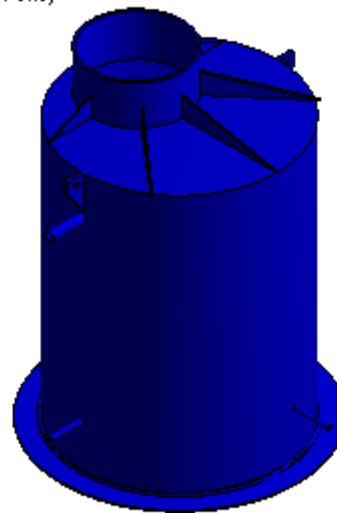
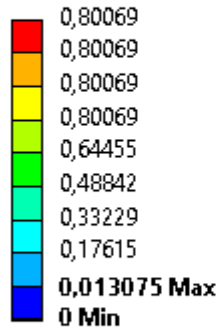


Рис. 12. Перемещения по оси X [мм]

C: Response Spectrum

Directional Deformation 2

Type: Directional Deformation(Y Axis)

Unit: mm

Solution Coordinate System

Time: 0

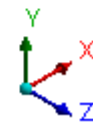
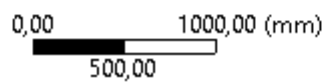
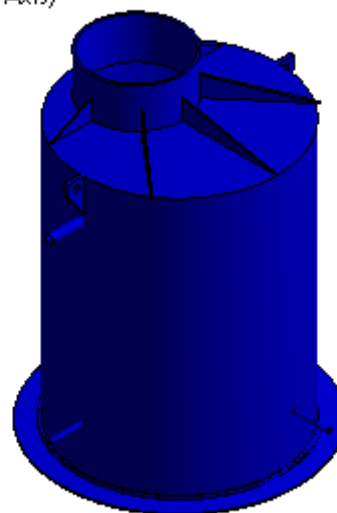
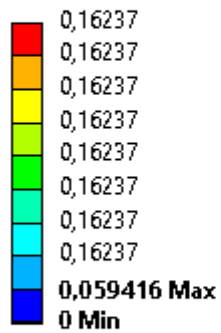


Рис. 13. Перемещения по оси Y [мм]

C: Response Spectrum

Directional Deformation 3
Type: Directional Deformation(Z Axis)
Unit: mm
Solution Coordinate System
Time: 0

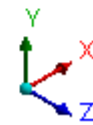
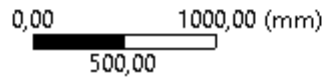
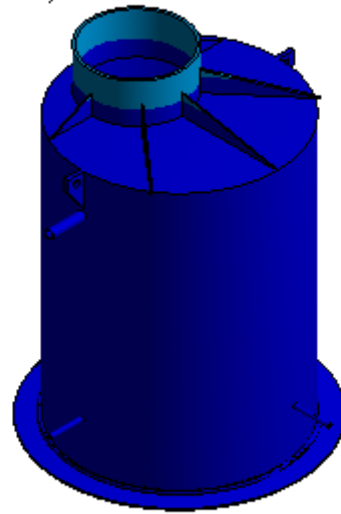
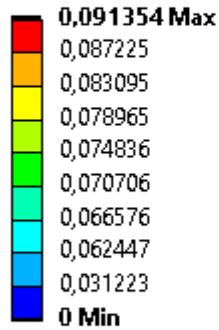


Рис. 14. Перемещения по оси Z [мм]

C: Response Spectrum

Equivalent Stress
Type: Equivalent Stress
Unit: MPa
Time: 0

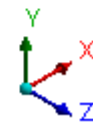
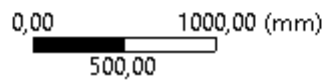
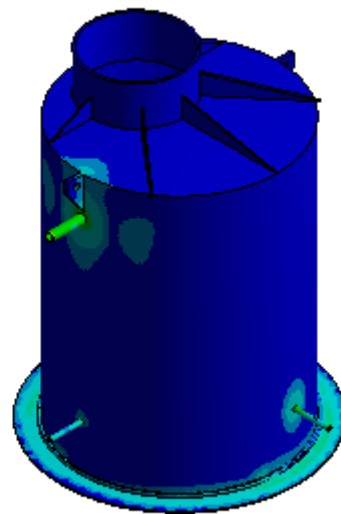
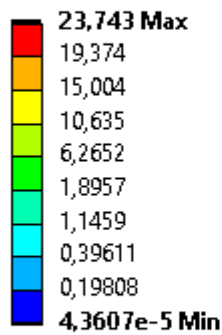


Рис. 15. Эквивалентные напряжения [МПа]

C: Response Spectrum

Directional Acceleration
Type: Directional Acceleration
Unit: mm/s²
Solution Coordinate System
Time: 0

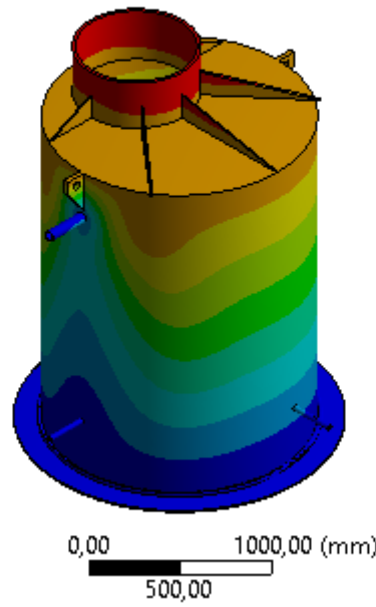
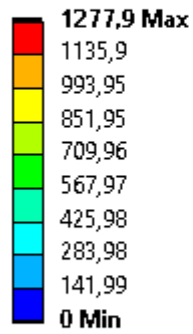


Рис. 16. Ускорение по оси X [мм/с²]

C: Response Spectrum

Directional Acceleration 2
Type: Directional Acceleration
Unit: mm/s²
Solution Coordinate System
Time: 0

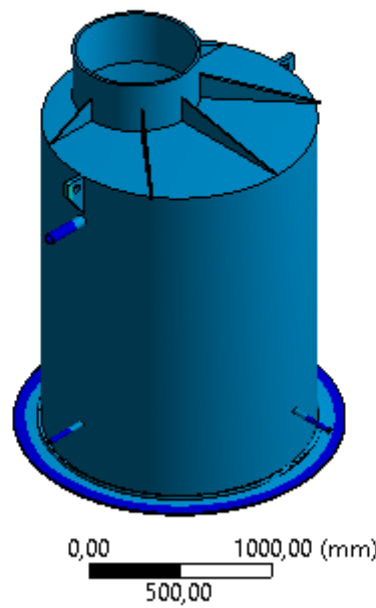
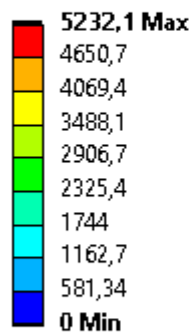


Рис. 17. Ускорение по оси Y [мм/с²]

C: Response Spectrum
Directional Acceleration 3
Type: Directional Acceleration
Unit: mm/s^2
Solution Coordinate System
Time: 0

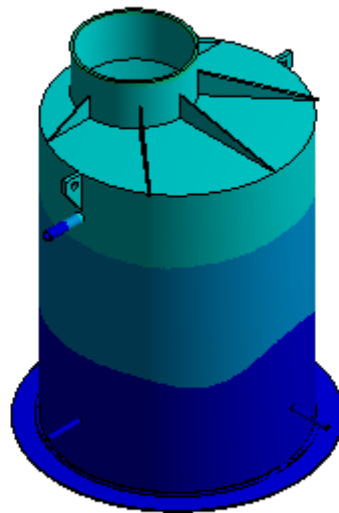
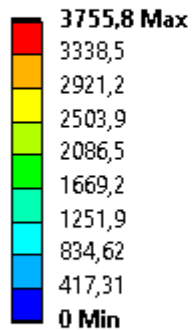


Рис. 18. Ускорение по оси Z [mm/s^2]

4.3. Визуализация коэффициента запаса прочности от сейсмического воздействия

D: Transient Structural
Safety Factor
Type: Safety Factor

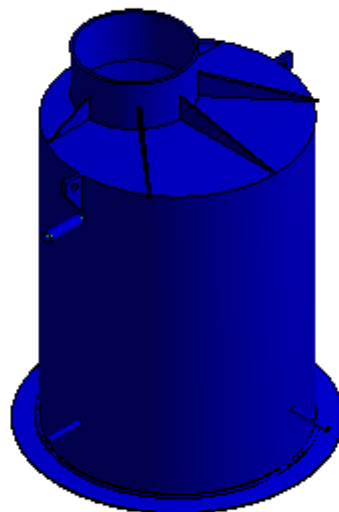
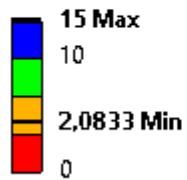


Рис. 19. Визуализация коэффициента запаса прочности

5. Общие выводы

1. Испытание на сейсмическое воздействие колодца из полимерных и композитных материалов торговой марки «НИС», выпускаемого по ТУ 2291–001–18118274–2018 «Колодцы из полимерных и композитных материалов торговой марки «НИС»», 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 колодца, сейсмическое воздействие на колодец, визуализация коэффициента запаса прочности;
3. На основании проведенного испытания можно сделать вывод, что прочность колодца из полимерных и композитных материалов торговой марки «НИС», выпускаемого по ТУ 2291–001–18118274–2018 «Колодцы из полимерных и композитных материалов торговой марки «НИС»» от сейсмического воздействия в 9 баллов по шкале MSK-64 обеспечена.