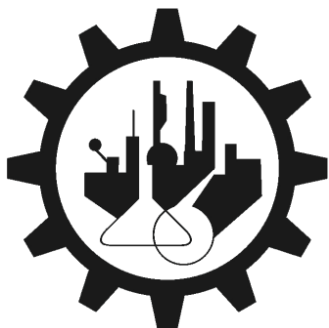




**СИСТЕМА ДОБРОВОЛЬНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ
ОРГАНОВ ПО СЕРТИФИКАЦИИ ПРОДУКЦИИ,
ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ И
СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА
«АБСОЛЮТ»**

Зарегистрирована в Едином реестре систем добровольной сертификации Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии Российской Федерации
№ РОСС RU.32094.04КСЖ0 от 30.05.2019

**ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ОБЩЕСТВА С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "АЛЬФА" (ИЛ ООО «АЛЬФА»)**

№ РОСС RU.32094.ИЛ.00003 действителен до 01.10.2023
109428, город Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5, строение 9

**ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ
№АЛ0055ПИ-39-ПТ/2020 от 16.10.2020**

Место проведения испытаний:	Испытательная лаборатория ООО «АЛЬФА»
Заявитель:	Общество с ограниченной ответственностью «ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ЗАВОД «ЭКОЛОС». Место нахождения и адрес места осуществления деятельности: 692519, РОССИЯ, Приморский край, г. Уссурийск, ул. Коммунальная, д. 5.
Наименование продукции:	Оборудование для коммунального хозяйства: модульные канализационные станции (КНС 18/9С/1,5-4,7/2,3 Канализационная насосная станция), марка: Экологос.
Изготовитель:	Общество с ограниченной ответственностью «ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ЗАВОД «ЭКОЛОС». Адрес: 692519, РОССИЯ, Приморский край, г. Уссурийск, ул. Коммунальная, д. 5.
Технический регламент:	СТО 00019258-001-2020, ГОСТ 17516-90 (ИСПОЛНЕНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ (9) БАЛЛОВ ПО ШКАЛЕ MSK-64), ГОСТ 30546.1-98, СП 14.13330.2018.
Испытано согласно требованиям:	СТО 00019258-001-2020, ГОСТ 17516-90 (ИСПОЛНЕНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ (9) БАЛЛОВ ПО ШКАЛЕ MSK-64), ГОСТ 30546.1-98, СП 14.13330.2018.

Содержание

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	3
2. НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ИЗДЕЛИЕ.....	4
3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА.....	4
4. РАСЧЕТ ИЗДЕЛИЯ.....	8
5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	17

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Испытание на сейсмическое воздействие канализационной насосной станции КНС- 18/9С/1,5-4,7/2,3 (далее – «изделие»), 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 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», ГОСТ 17516-90 «Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам», СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81», СТО 00019258-001-2020.

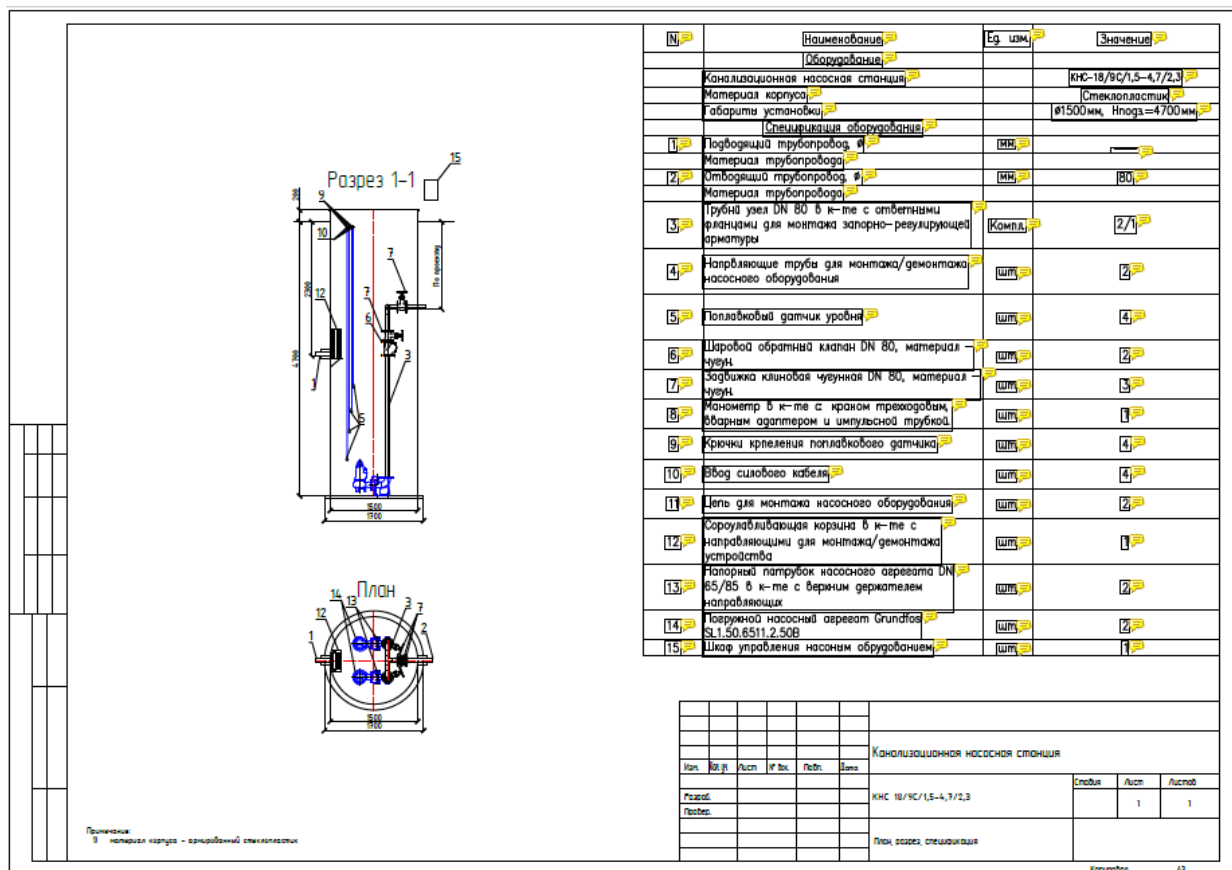


Рис. 1 Общий вид.

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.

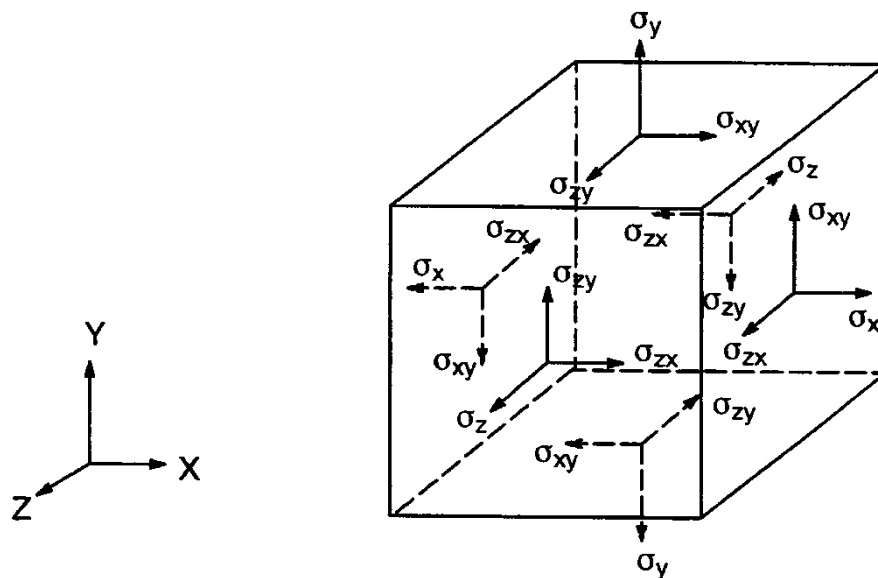


Рис. 2. Компоненты вектора напряжений

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:

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

При использовании нормализация по строкам, матрица записывается следующим образом:

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

Для записи элементов этих матриц используются обозначения:

E_x – модуль Юнга в направлении оси x ,

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:

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

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

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

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

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

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

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

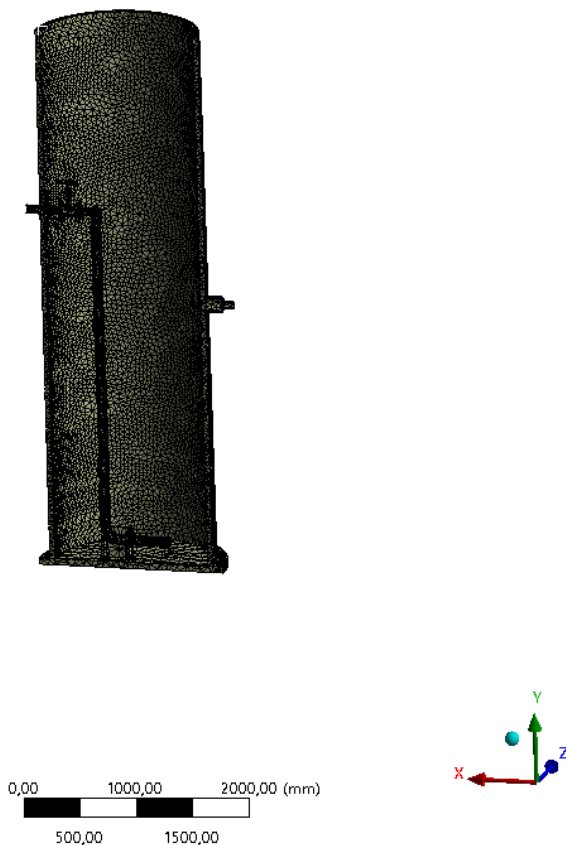


Рис. 3. Расчетная аппроксимированная модель
Определение собственных частот колебаний изделия:

№ рис.	Форма колебаний	Частота, Гц
5	1	46,1
6	2	51
7	3	52,5
8	4	52,6
9	5	57,1
10	6	57,1

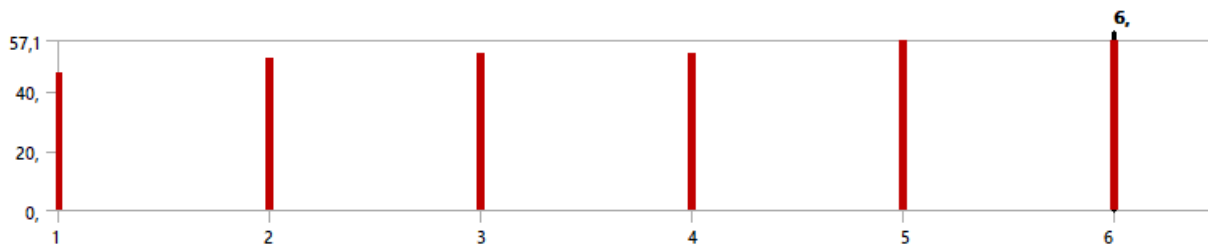


Рис. 4. Гистограмма собственных частот колебаний

B: Modal

Total Deformation

Type: Total Deformation

Frequency: 46,1 Hz

Unit: mm

Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)

15.02.2021 23:57

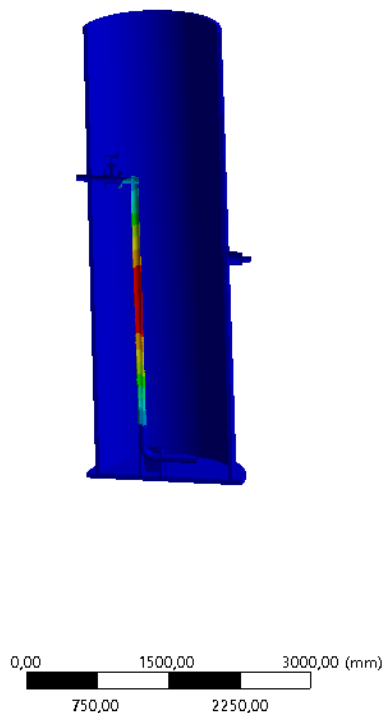
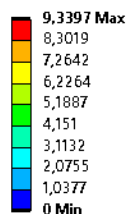


Рис. 5. Амплитуда при 1-й форме колебаний [мм]

B: Modal

Total Deformation 2

Type: Total Deformation

Frequency: 51, Hz

Unit: mm

Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)

15.02.2021 23:58

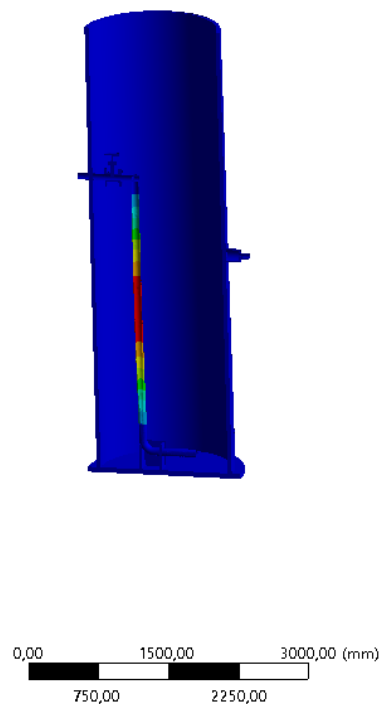
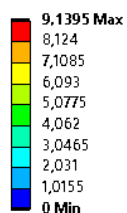


Рис. 6. Амплитуда при 2-й форме колебаний [мм]

B: Modal

Total Deformation 3

Type: Total Deformation

Frequency: 52,5 Hz

Unit: mm

Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)

15.02.2021 23:58

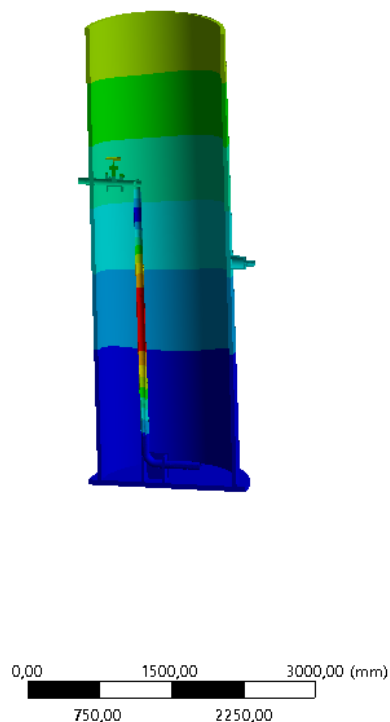
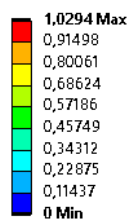


Рис. 7. Амплитуда при 3-й форме колебаний [мм]

B: Modal

Total Deformation 4

Type: Total Deformation

Frequency: 52,6 Hz

Unit: mm

Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)

15.02.2021 23:58

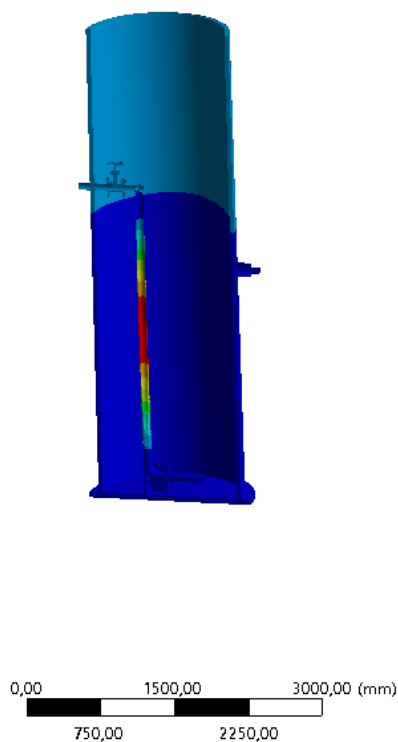
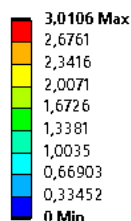


Рис. 8. Амплитуда при 4-й форме колебаний [мм]

B: Modal

Total Deformation 5
Type: Total Deformation
Frequency: 57,1 Hz
Unit: mm
Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)
15.02.2021 23:58

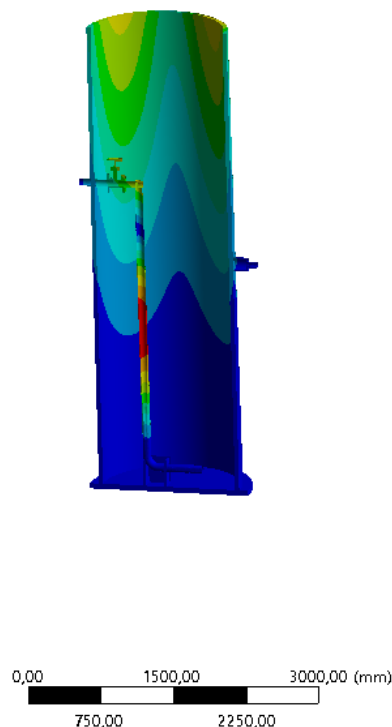
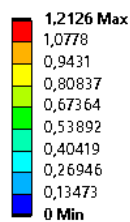


Рис. 9. Амплитуда при 5-й форме колебаний [мм]

B: Modal

Total Deformation 6
Type: Total Deformation
Frequency: 57,1 Hz
Unit: mm
Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)
15.02.2021 23:58

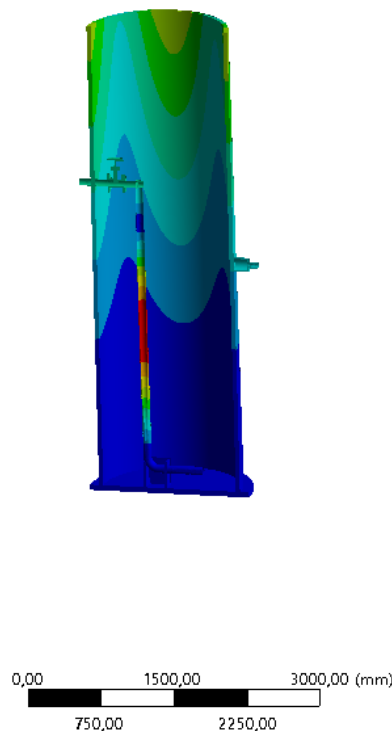
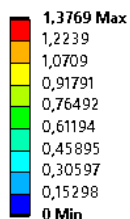


Рис. 10. Амплитуда при 6-й форме колебаний [мм]

Анализ сейсмического воздействия на изделие:

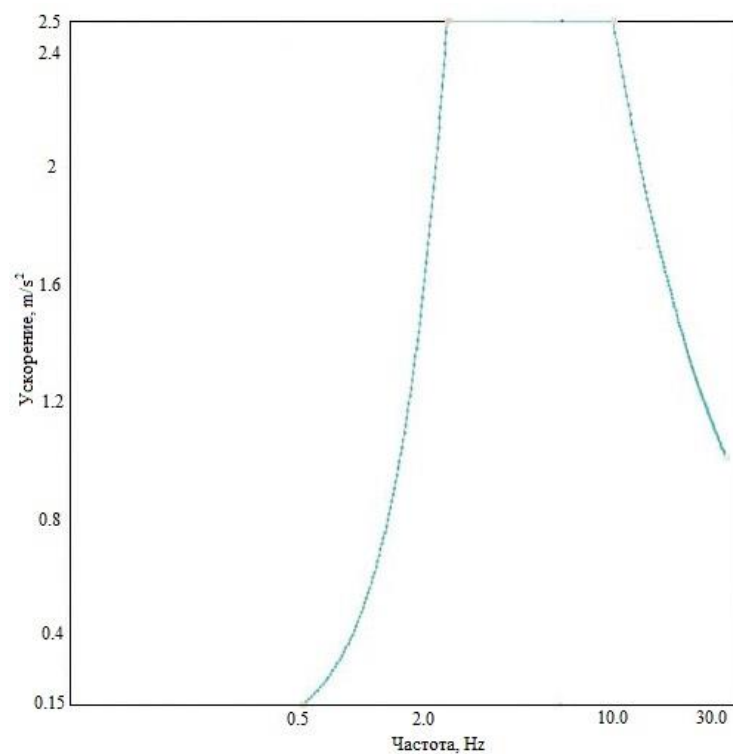


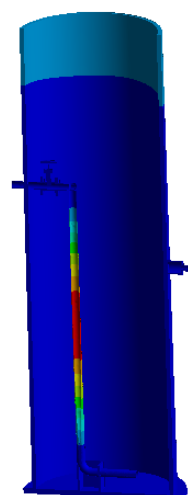
Рис. 11. График зависимости между максимальной амплитуды ускорения и частотой синусоидальной вибрации – расчетный спектр воздействия

Значение частот и ускорений для характеристических точек по рисунку 11

Частота [Hz]	Ускорение [m/s ²]
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
 15.02.2021 23:58

92,349 Max
 82,088
 71,827
 61,566
 51,305
 41,044
 30,783
 20,522
 10,261
 0 Min



0 1e+06 2e+06 (um)
 5e+05 1,5e+06

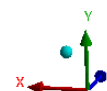
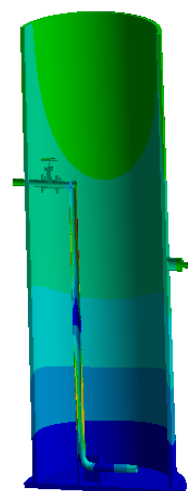


Рис. 12. Деформации по оси X [мкм]

C: Response Spectrum
 Directional Deformation 2
 Type: Directional Deformation(Y Axis)
 Unit: μm
 Solution Coordinate System
 Time: 0
 15.02.2021 23:59

4,6909 Max
 4,1697
 3,6485
 3,1273
 2,6061
 2,0849
 1,5636
 1,0424
 0,52121
 0 Min



0 1e+06 2e+06 (um)
 5e+05 1,5e+06

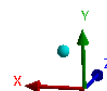
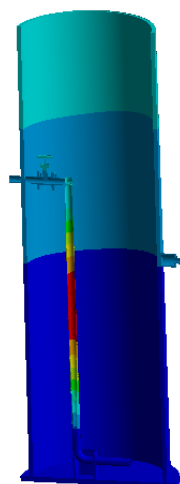


Рис. 13. Деформации по оси Y [мкм]

C: Response Spectrum
 Directional Deformation 3
 Type: Directional Deformation(Z Axis)
 Unit: μm
 Solution Coordinate System
 Time: 0
 15.02.2021 23:59

44,401 Max
 39,468
 34,534
 29,601
 24,667
 19,734
 14,8
 9,867
 4,9335
0 Min

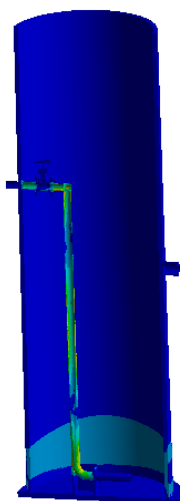


0 1e+06 2e+06 (μm)
 5e+05 1,5e+06

Рис. 14. Деформации по оси Z [$\mu\text{м}$]

C: Response Spectrum
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent Stress
 Unit: MPa
 Time: 0
 15.02.2021 23:59

1,8402 Max
 1,6358
 1,4313
 1,2268
 1,0224
 0,8179
 0,61343
 0,40896
 0,20449
2,5787e-5 Min



0 1e+06 2e+06 (μm)
 5e+05 1,5e+06

Рис. 15. Эквивалентные напряжения [МПа]

Настоящий протокол испытаний распространяется только на образцы, подвергнутые испытаниям
 Протокол не может быть воспроизведен полностью или частично без письменного разрешения ИЛ

C: Response Spectrum
 Directional Acceleration
 Type: Directional Acceleration
 Unit: m/s^2
 Solution Coordinate System
 Time: 0
 15.02.2021 23:59

9,7343 Max
 8,6527
 7,5711
 6,4895
 5,4079
 4,3263
 3,2448
 2,1632
 1,0816
 0 Min

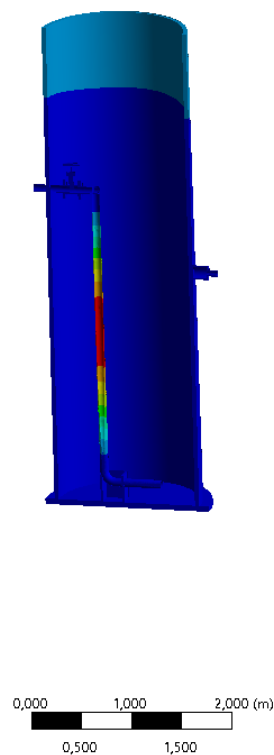


Рис. 16. Ускорения по оси X [m/s^2]

C: Response Spectrum
 Directional Acceleration 2
 Type: Directional Acceleration
 Unit: m/s^2
 Solution Coordinate System
 Time: 0
 15.02.2021 23:59

0,49581 Max
 0,44072
 0,38563
 0,33054
 0,27545
 0,22036
 0,16527
 0,11018
 0,055089
 0 Min

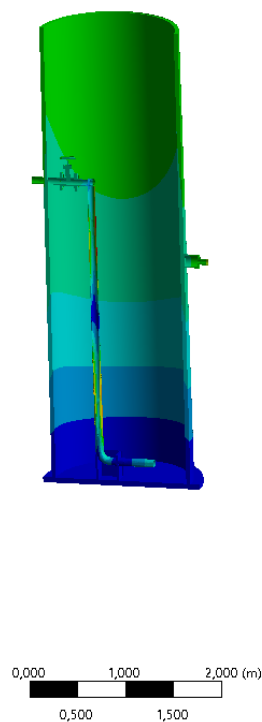
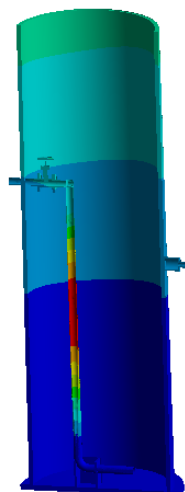


Рис. 17. Ускорения по оси Y [m/s^2]

C: Response Spectrum
 Directional Acceleration 3
 Type: Directional Acceleration
 Unit: m/s^2
 Solution Coordinate System
 Time: 0
 15.02.2021 23:59

3,9948 Max
 3,5509
 3,1071
 2,6632
 2,2193
 1,7755
 1,3316
 0,88774
 0,44387
 0 Min



0,000 1,000 2,000 (m)
 0,500 1,500

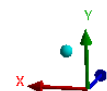
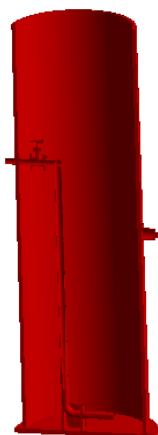


Рис. 18. Ускорения по оси Z [м/с^2]

Визуализация коэффициента запаса прочности:

D: Transient Structural
 Safety Factor
 Type: Safety Factor
 Time: 1
 Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)
 16.02.2021 0:00

15 Max
 15 Min
 0



0,000 1,500 3,000 (m)
 0,750 2,250

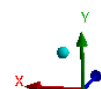


Рис. 19. Визуальный коэффициент запаса прочности

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», ГОСТ 17516-90 «Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам», СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81», СТО 00019258-001-2020. В испытании представлены собственные частоты колебаний изделия, сейсмическое воздействие, визуализация коэффициента запаса прочности;

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.

Испытатель

Е.Л. Осин

Руководитель ИЛ

А.О. Гаврилов

