

*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 № 327-21/11

Объект испытаний	Автоматизированная система одоризации газа (АСОГ), выпускаемая по ИЦФР.423314.001ТУ
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 «Научно-производственное объединение САРОВ-ВОЛГОГАЗ», 607188, Российская Федерация, Нижегородская обл., г. Саров, ш. Южное, д. 15, стр. 15.
Изготовитель	ООО «Научно-производственное объединение САРОВ-ВОЛГОГАЗ», 607188, Российская Федерация, Нижегородская обл., г. Саров, ш. Южное, д. 15, стр. 15.
Место проведения испытаний	Лабораторный корпус ЗАО НПЦ «Строймонтаж», Московская область, г. Лыткарино, ул. Парковая, д. 1
Дата проведения испытаний	24.11.2021
Результаты испытаний	См. Приложение 1

Руководитель испытательного центра
электротехнических изделий
«СТРОЙМОНТАЖ»



И.А. Панков

" 24 " ноября 2021 г.

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Автоматизированная система одоризации газа (АСОГ), выпускаемая по ИЦФР.423314.001ТУ, 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
Автоматизированной системы одоризации газа (АСОГ),
выпускаемой по ИЦФР.423314.001ТУ**



Содержание

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



1. Общие сведения

Испытание на сейсмическое воздействие Автоматизированной системы одоризации газа, выпускаемой по ИЦФР.423314.001ТУ (далее АСОГ) 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».

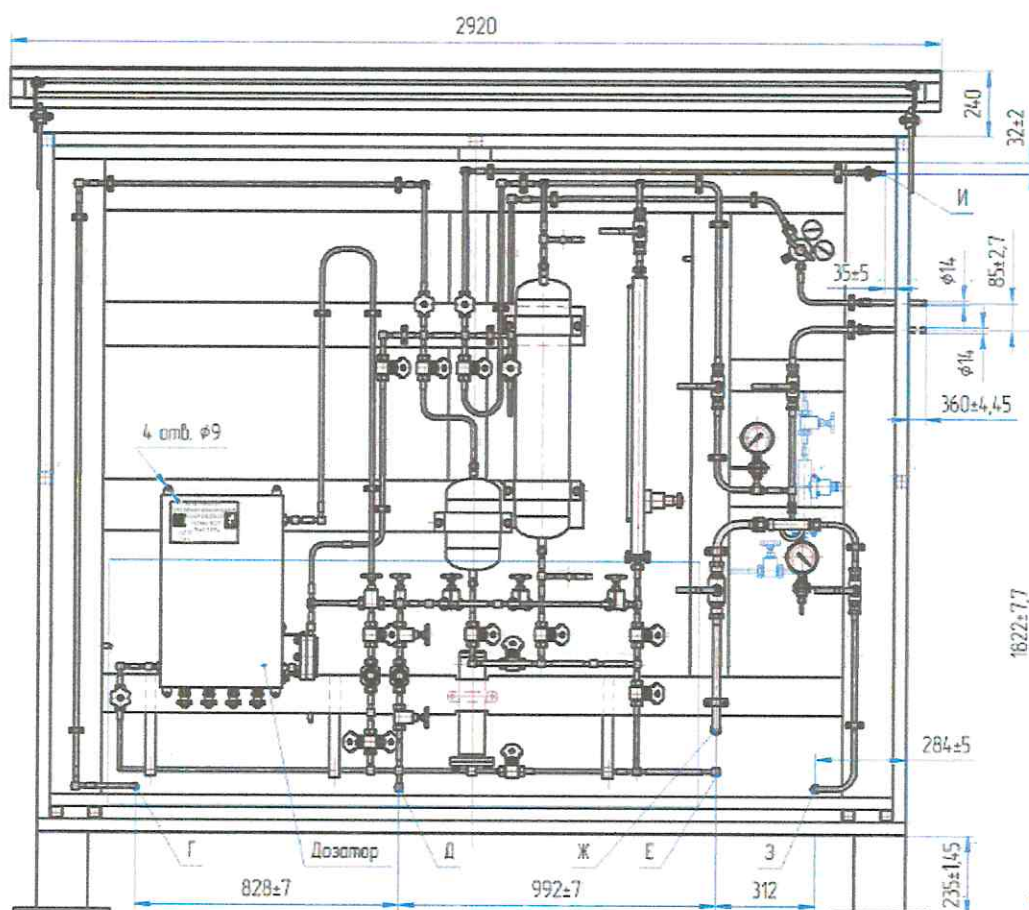


Рис. 1. Общий вид АСОГ

2. Нагрузки и воздействия, действующие на АСОГ

На основании технической документации, была смоделирована АСОГ.

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:

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

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 (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 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.



направления совпадают с направлениями соответствующих координатных осей. Деформации сдвига представляют собой инженерные деформации, а не компоненты тензора.

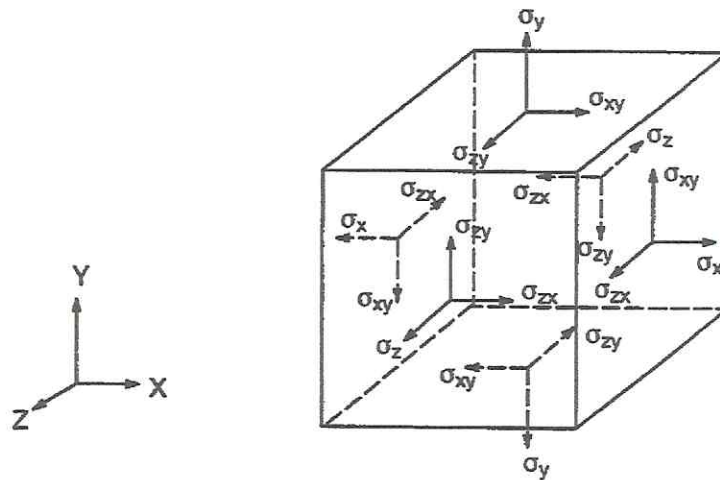


Рис. 2. Компоненты вектора напряжений

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:

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

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



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

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

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

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

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

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 АСОГ

Geometry

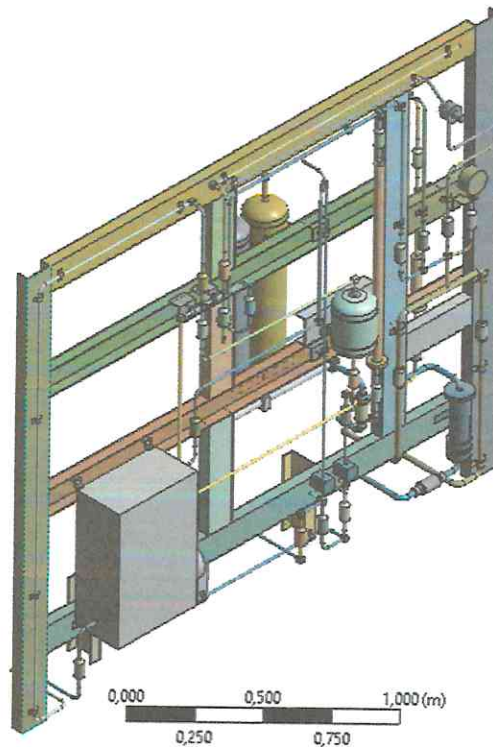


Рис. 3. Расчетная аппроксимированная модель



4.1. Определение собственных частот колебаний АСОГ

№ Рис.	Форма колебаний	Частота, Гц
5	1	6,5973
6	2	12,471
7	3	13,865
8	4	17,252
9	5	19,257
10	6	24,049

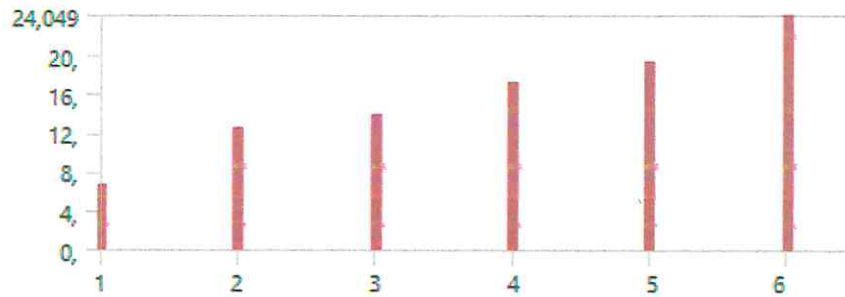


Рис. 4. Гистограмма собственных частот колебаний

B: Modal
Total Deformation
Type: Total Deformation
Frequency: 6,5973 Hz
Unit: m

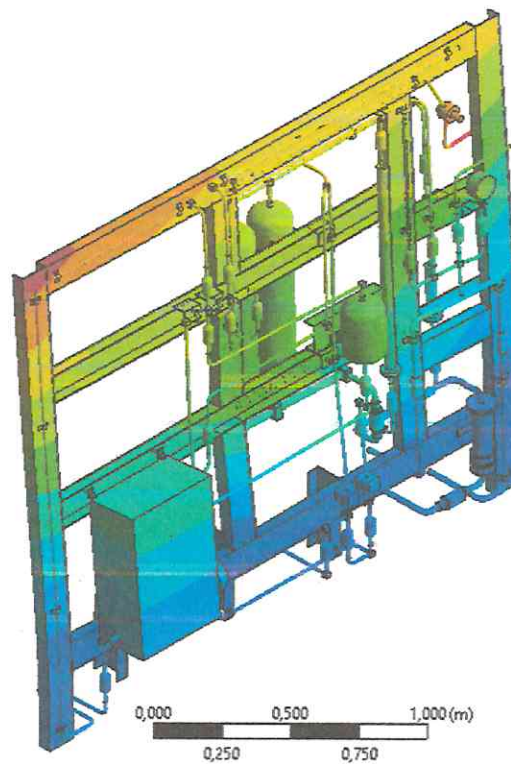
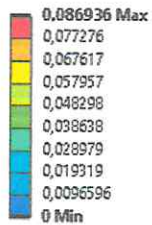


Рис. 5. Амплитуда при 1-й форме колебаний



B: Modal
Total Deformation 2
Type: Total Deformation
Frequency: 12,471 Hz
Unit: m

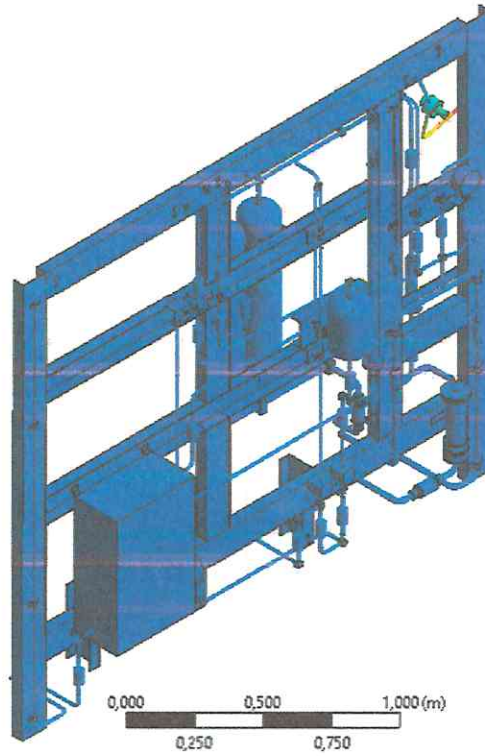
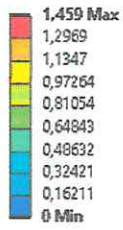


Рис. 6. Амплитуда при 2-й форме колебаний

B: Modal
Total Deformation 3
Type: Total Deformation
Frequency: 13,865 Hz
Unit: m

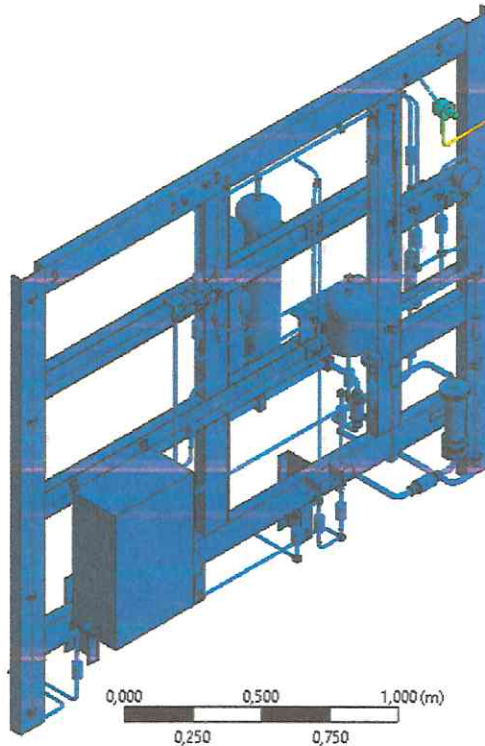
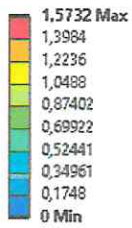


Рис. 7. Амплитуда при 3-й форме колебаний



B: Modal
Total Deformation 4
Type: Total Deformation
Frequency: 17,252 Hz
Unit: m

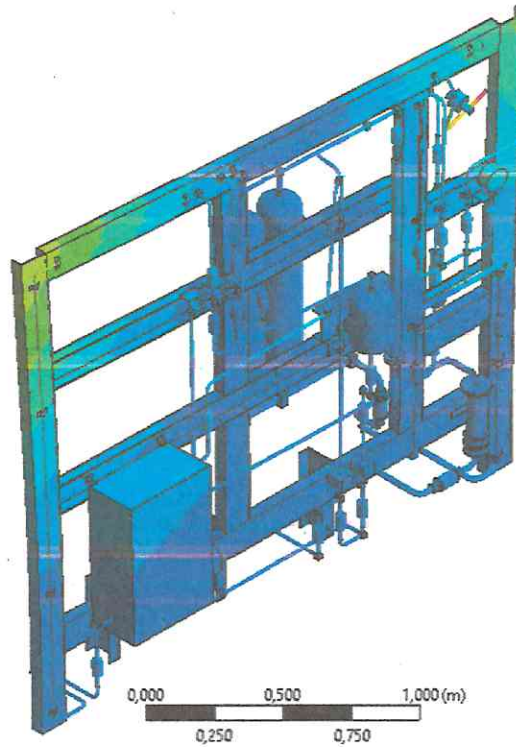
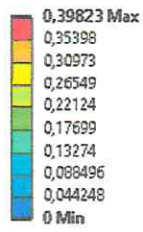


Рис. 8. Амплитуда при 4-й форме колебаний

B: Modal
Total Deformation 5
Type: Total Deformation
Frequency: 19,257 Hz
Unit: m

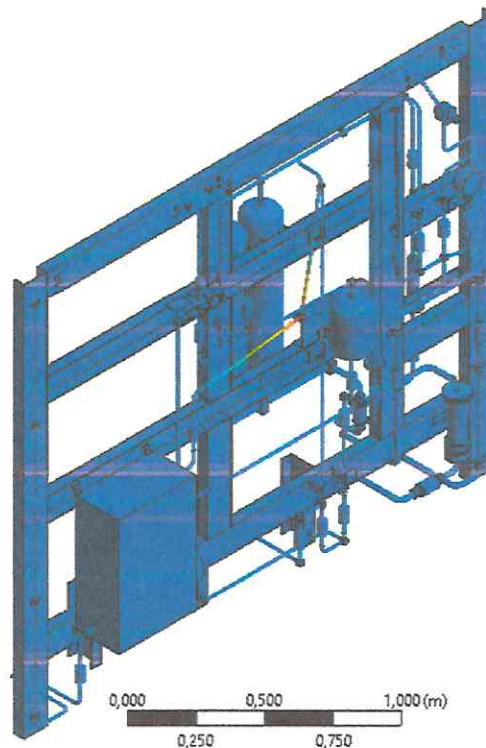
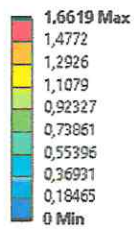


Рис. 9. Амплитуда при 5-й форме колебаний



B: Modal
 Total Deformation 6
 Type: Total Deformation
 Frequency: 24,049 Hz
 Unit: m

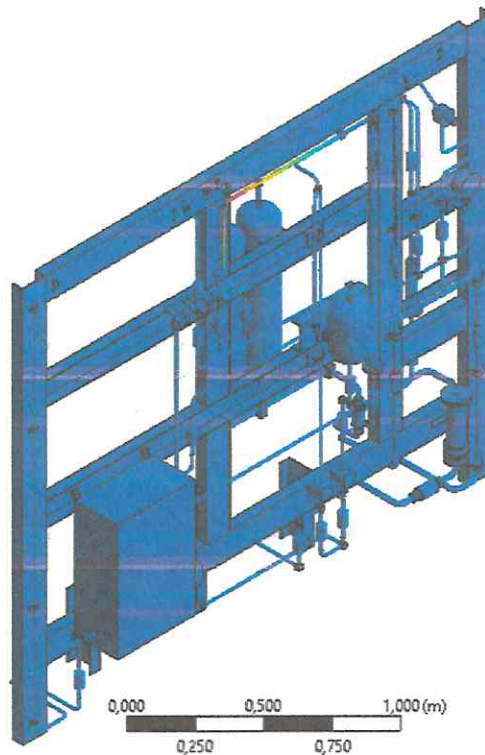
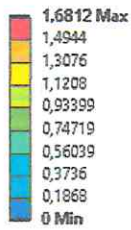


Рис. 10. Амплитуда при 6-й форме колебаний

4.2. Анализ сейсмического воздействия на АСОГ

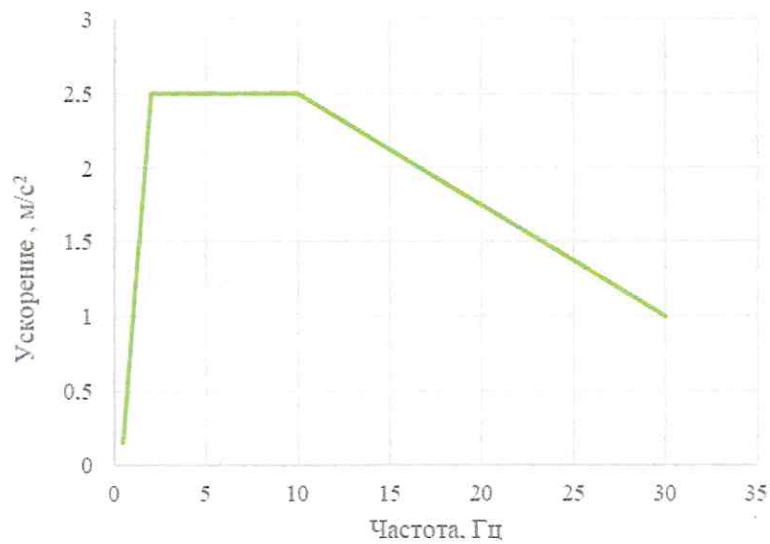


Рис. 11. График зависимости между максимальной амплитудой ускорения и частотой синусоидальной вибрации – расчетный спектр воздействия

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: m
 Solution Coordinate System
 Time: 0

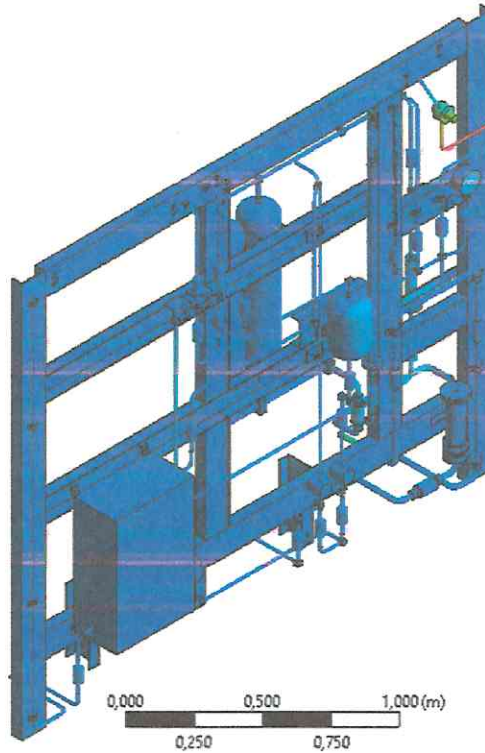
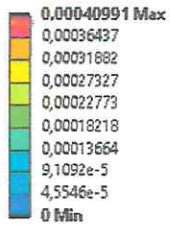


Рис. 12. Перемещения по оси X [м]

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

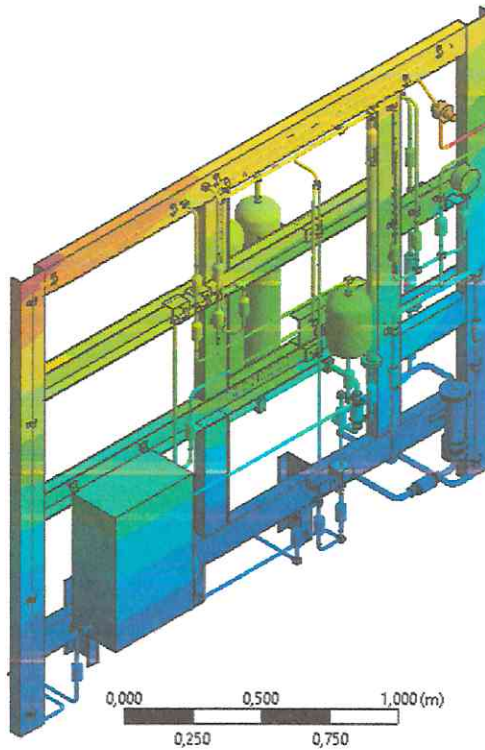
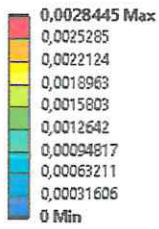


Рис. 13. Перемещения по оси Y [м]



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

0,00046421 Max
0,00041263
0,00036105
0,00030947
0,0002579
0,00020632
0,00015474
0,00010316
5,1579e-5
0 Min

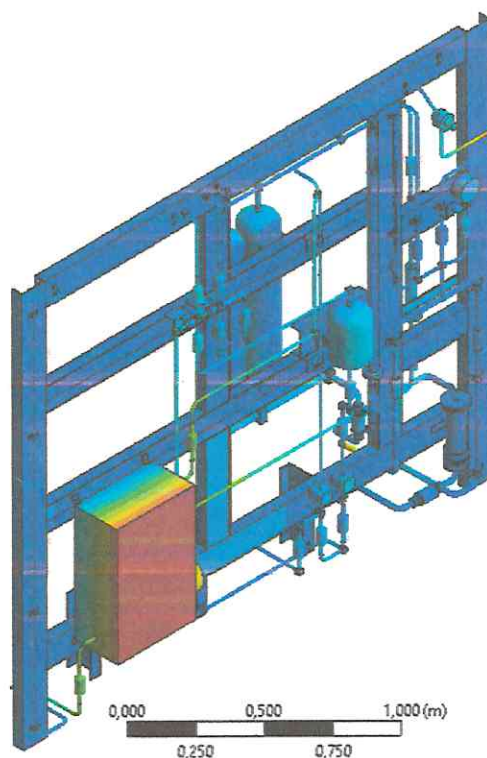


Рис. 14. Перемещения по оси Z [м]

C: Response Spectrum
Equivalent Stress
Type: Equivalent Stress
Unit: Pa
Time: 0

1,3134e8 Max
1,1675e8
1,0216e8
8,7562e7
7,2968e7
5,8375e7
4,3781e7
2,9187e7
1,4594e7
0,29977 Min

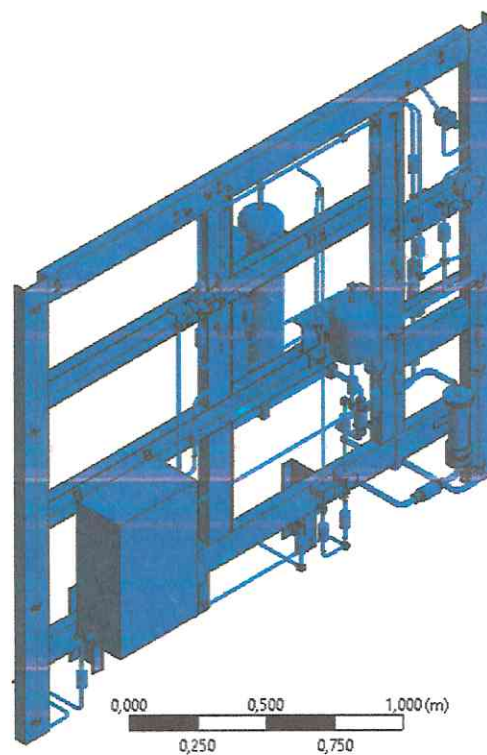


Рис. 15. Эквивалентные напряжения [Па]



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

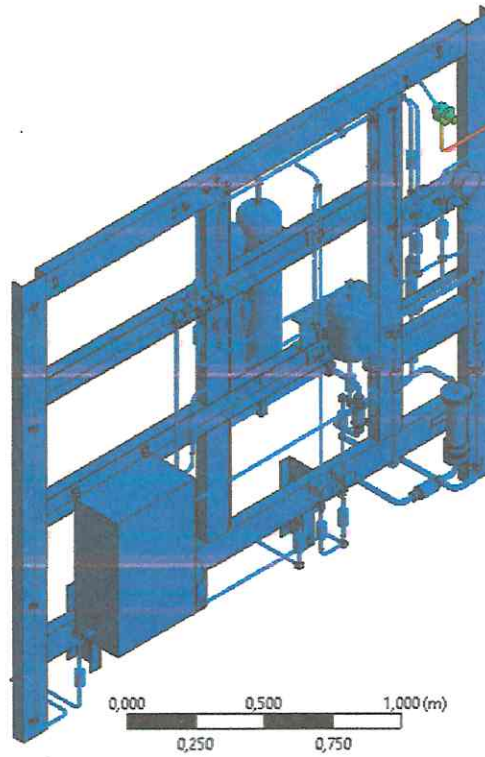
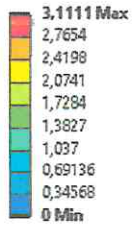


Рис. 16. Ускорение по оси X [m/s^2]

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

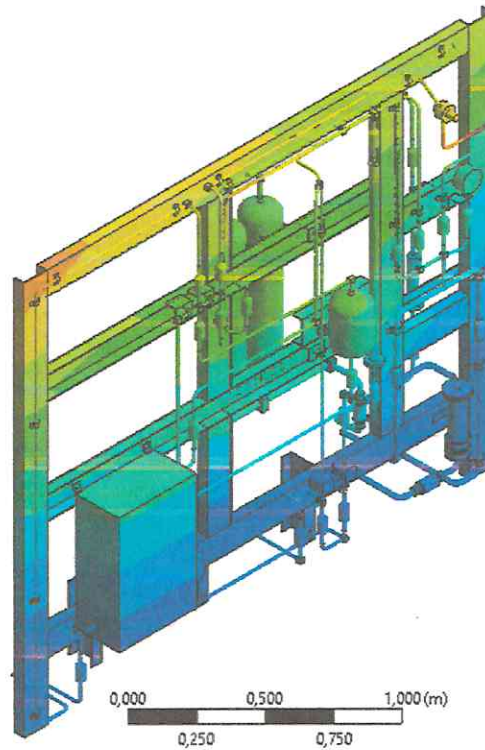
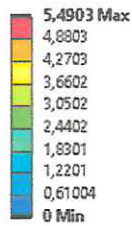


Рис. 17. Ускорение по оси Y [m/s^2]



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

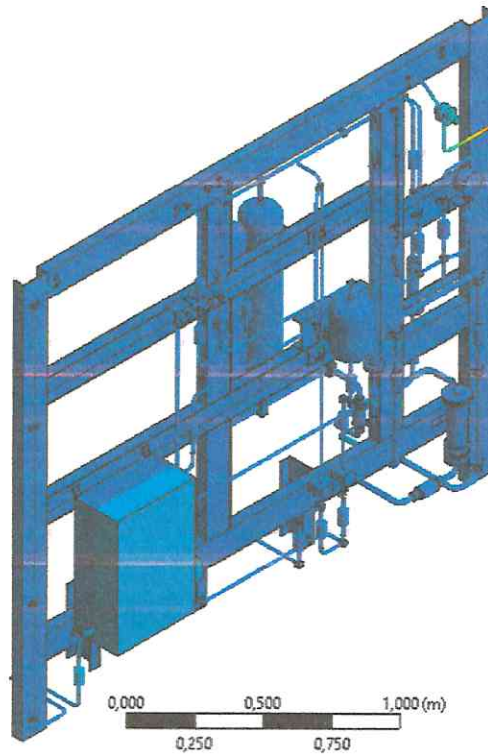
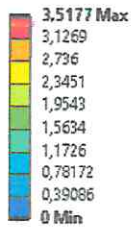


Рис. 18. Ускорение по оси Z [m/s^2]

4.3. Визуализация коэффициента запаса прочности от сейсмического воздействия

D: Transient Structural
 Safety Factor
 Type: Safety Factor

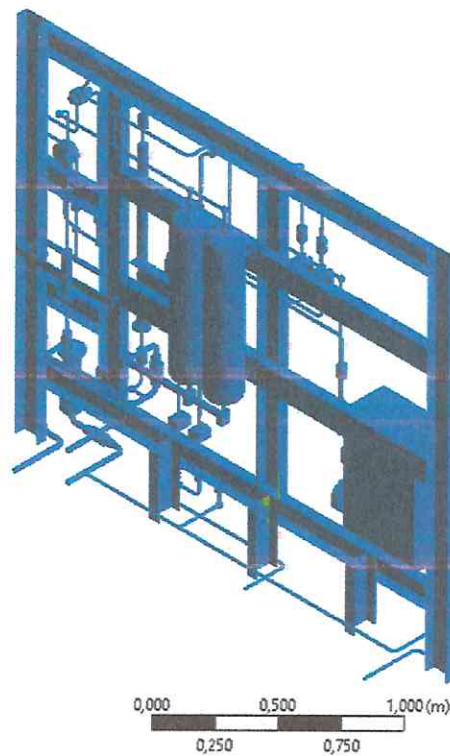


Рис. 19. Визуализация коэффициента запаса прочности



5. Общие выводы

1. Испытание на сейсмическое воздействие Автоматизированной системы одоризации газа (АСОГ), выпускаемой по ИЦФР.423314.001ТУ 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 АСОГ, сейсмическое воздействие на АСОГ, визуализация коэффициента запаса прочности;
3. На основании проведенного испытания можно сделать вывод, что прочность Автоматизированной системы одоризации газа (АСОГ), выпускаемой по ИЦФР.423314.001ТУ от сейсмического воздействия в 9 баллов по шкале MSK-64 обеспечена.

