

**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 № 13-22/02

Объект испытаний	Здания и помещения цельноперевозимые, модульного типа и сборно-разборные, выпускаемые по ТУ 5363-002-61085812-2021
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 «ТДЭ». Адрес: 690091, Приморский край, г. Владивосток, ул. Фонтанная, д. 40, оф. 302
Изготовитель	Общество с ограниченной ответственностью «ТДЭ». Адрес: 690091, Приморский край, г. Владивосток, ул. Фонтанная, д. 40, оф. 302
Место проведения испытаний	Лабораторный корпус ЗАО НПЦ «Строймонтаж», Московская область, г. Лыткарино, ул. Парковая, д. 1
Дата проведения испытаний	02.02.2022
Результаты испытаний	См. Приложение 1

Руководитель испытательного центра
электротехнических изделий
«СТРОЙМОНТАЖ»



И.А. Панков
2022 г.

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

Здания и помещения цельноперевозимые, модульного типа и сборно-разборные выпускаемые по ТУ 5363-002-61085812-2021, 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

**Здания и помещения цельноперевозимые, модульного
типа и сборно-разборные , выпускаемые по ТУ 5363-
002-61085812-2021**



Содержание

1. Общие сведения.....	3
2. Нагрузки и воздействия, действующие на здание	4
3. Методика расчета	4
4. Расчет здания	8
4.1 Определение собственных частот колебаний осования:	8
4.2 Анализ сейсмического воздействия на здание:	11
4.3 Визуализация коэффициента запаса прочности от сейсмического воздействия	14
5. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	15



1. Общие сведения

Расчет на прочность Здания и помещения цельноперевозимые, модульного типа и сборно-разборные , выпускаемые по ТУ 5363-002-61085812-2021 (далее здание) выполнено на основании технической документации.

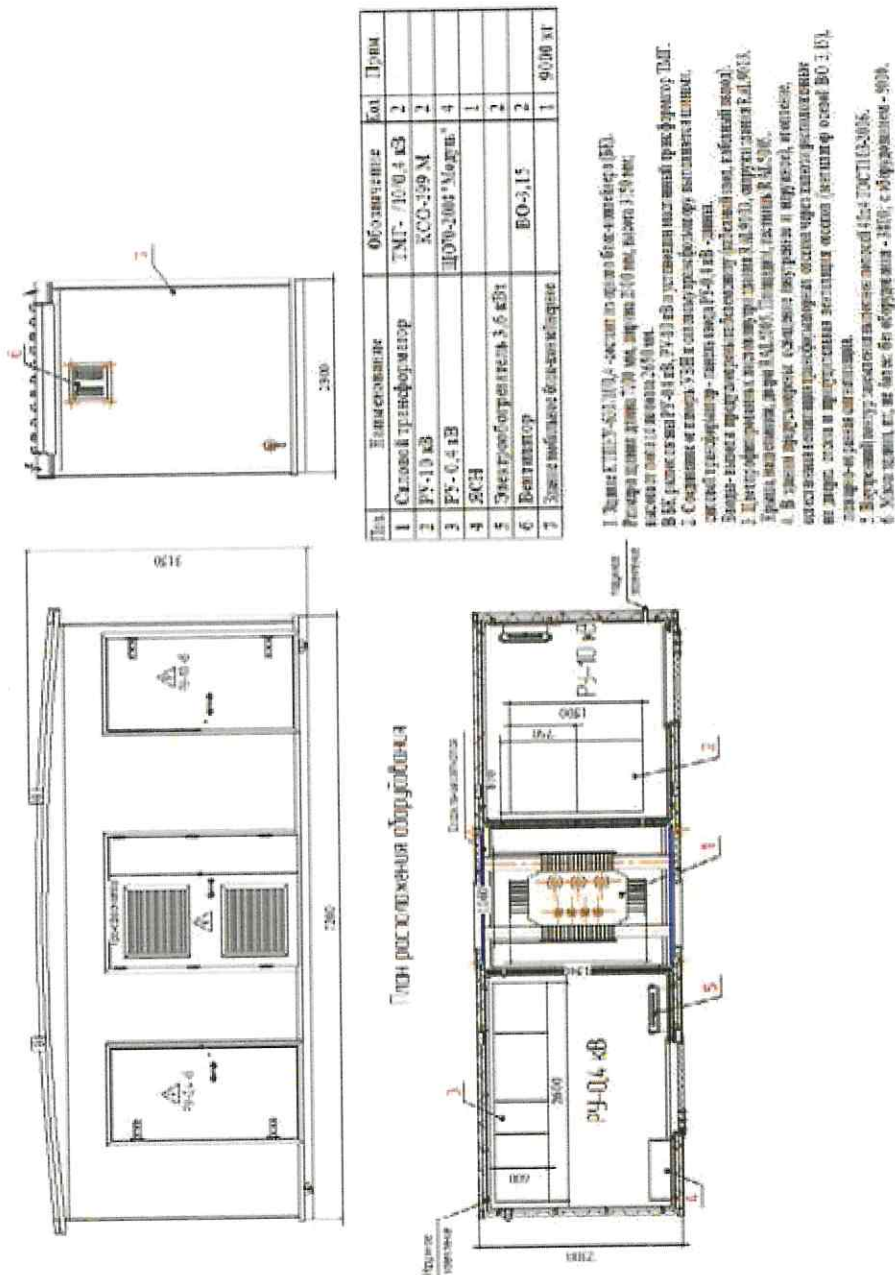


Рис. 1 Металлоконструкции здания



2. Нагрузки и воздействия, действующие на здание

На основании технической документации, было смоделировано здание.

В качестве статических нагрузок были приняты следующие типы нагрузок:

1. собственный вес с коэффициентом – 1,1
2. Сейсмическое воздействие

3. Методика расчета

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

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:

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

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);

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

$\{\varepsilon\} = [\varepsilon_x \ \varepsilon_y \ \varepsilon_z \ \varepsilon_{xy} \ \varepsilon_{xz} \ \varepsilon_{yz}]^T$ - 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.

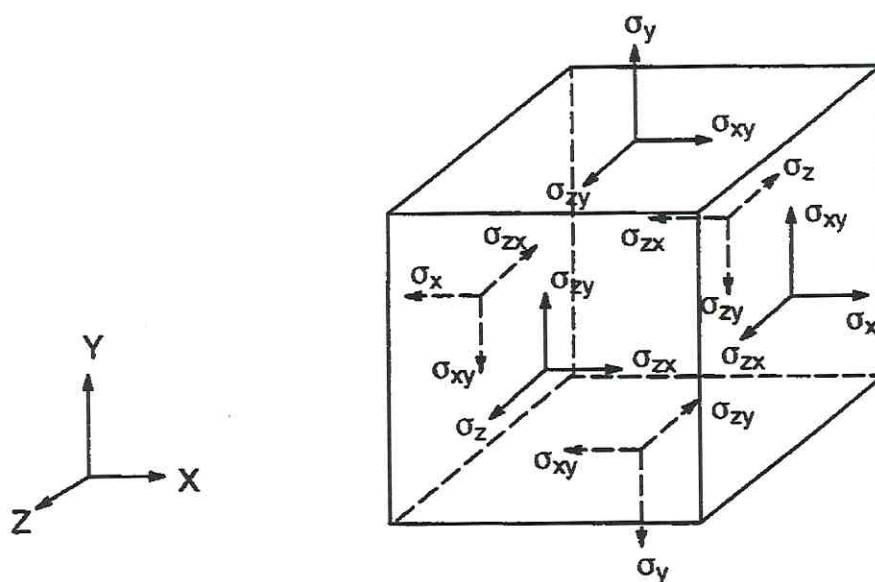


Рис. 2. - Компоненты вектора напряжений

Уравнение (1) может быть обращено следующим образом:

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

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

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

При использовании нормализация 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:

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

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

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

или

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

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

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

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

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

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

$$\varepsilon_z = \alpha_z \Delta T + \sigma_z / E_z - \nu_{zx} \sigma_x / E_x - \nu_{zy} \sigma_y / E_y \quad (13)$$

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

$$\varepsilon_{yz} = \sigma_{yz} / G_{yz}$$

$$\varepsilon_{xz} = \sigma_{xz} / G_{xz},$$



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:

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

$$\sigma_y = E_x/h [v_{xy} + v_{xz}v_{yz} E_y/E_z] (\epsilon_x - \alpha_x \Delta T) + E_y/h [1 - (v_{xz})^2 E_x/E_z] (\epsilon_y - \alpha_y \Delta T) + E_y/h [v_{yz} + v_{xz}v_{xy} E_x/E_y] (\epsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad (18)$$

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

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

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

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

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 здания

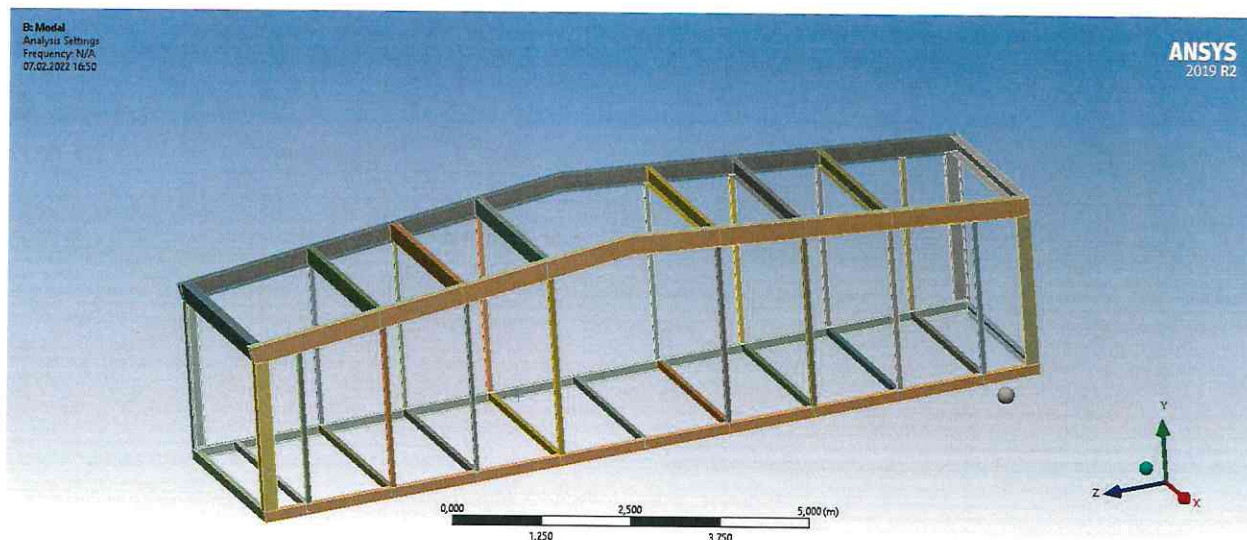


Рис. 3 Расчетная аппроксимированная модель

4.1 Определение собственных частот колебаний основания:

№ Рис.	Форма колебаний	Частота , Гц
5	1	7,343
6	2	10,162
7	3	14,107
8	4	18,438
9	5	21,855
10	6	25,486

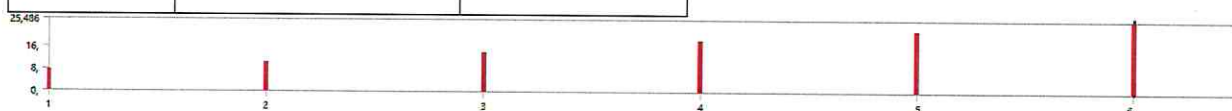


Рис. 4 Гистограмма собственных частот колебаний



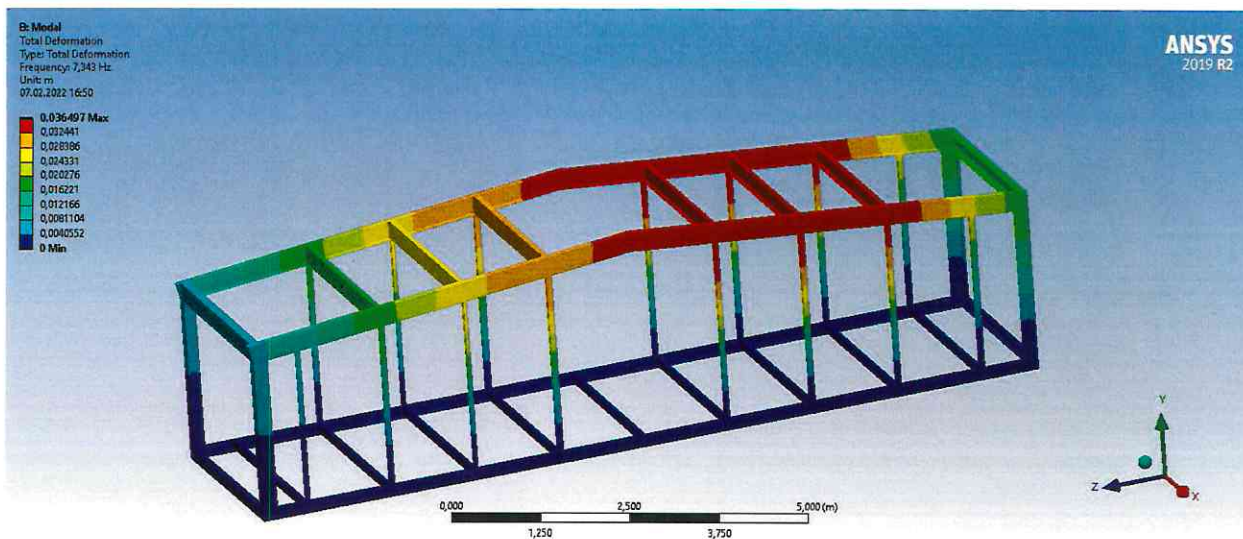


Рис. 5 Амплитуда при 1-й форме колебаний [м]

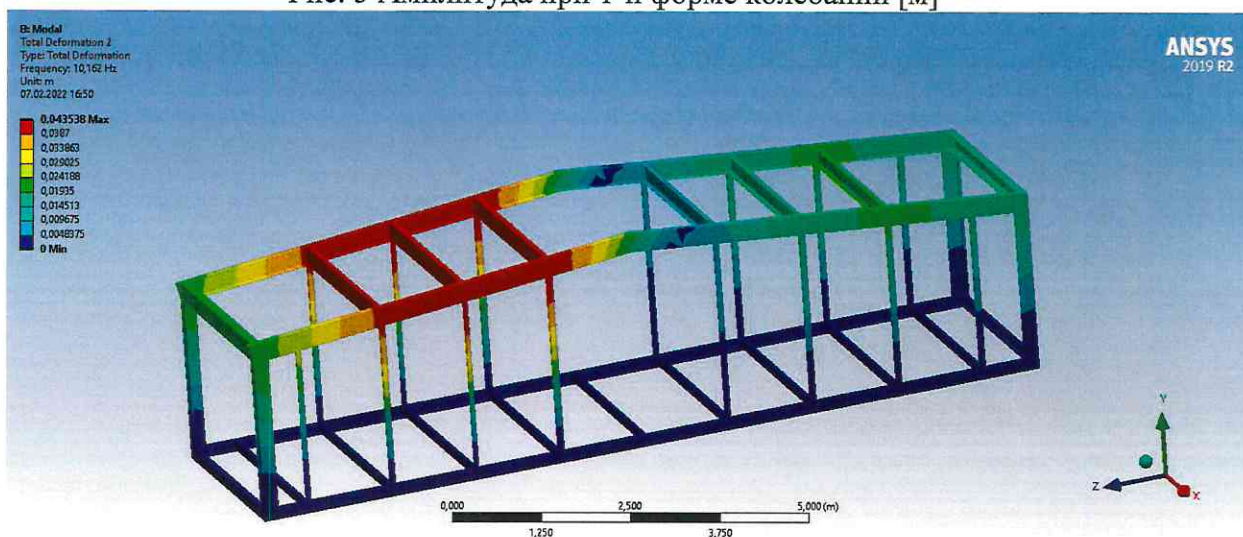


Рис. 6 Амплитуда при 2-й форме колебаний [м]

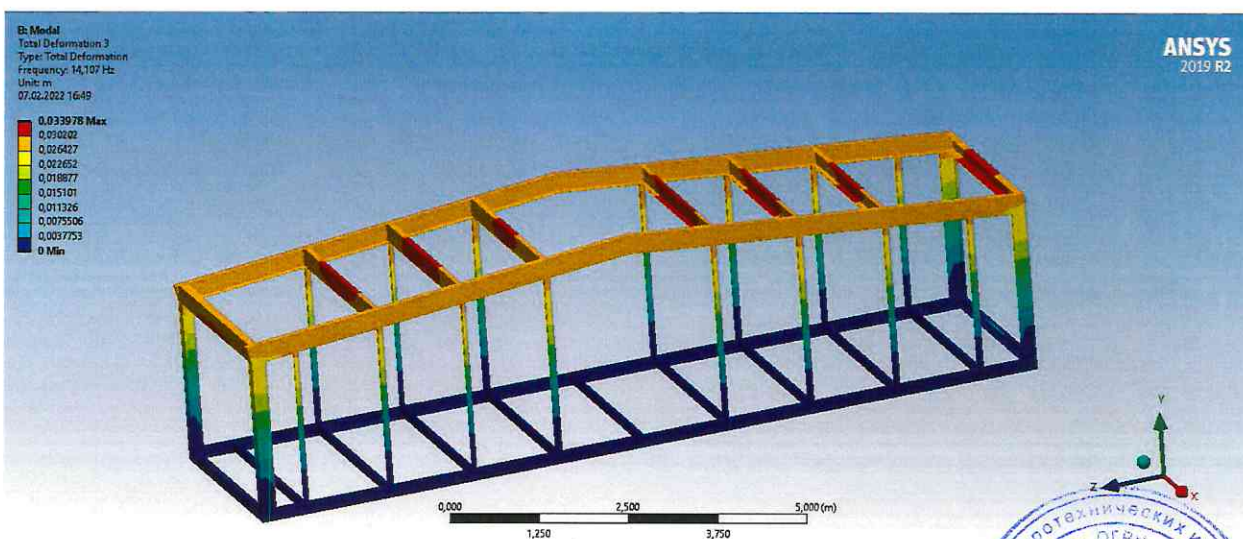


Рис. 7 Амплитуда при 3-й форме колебаний [м]



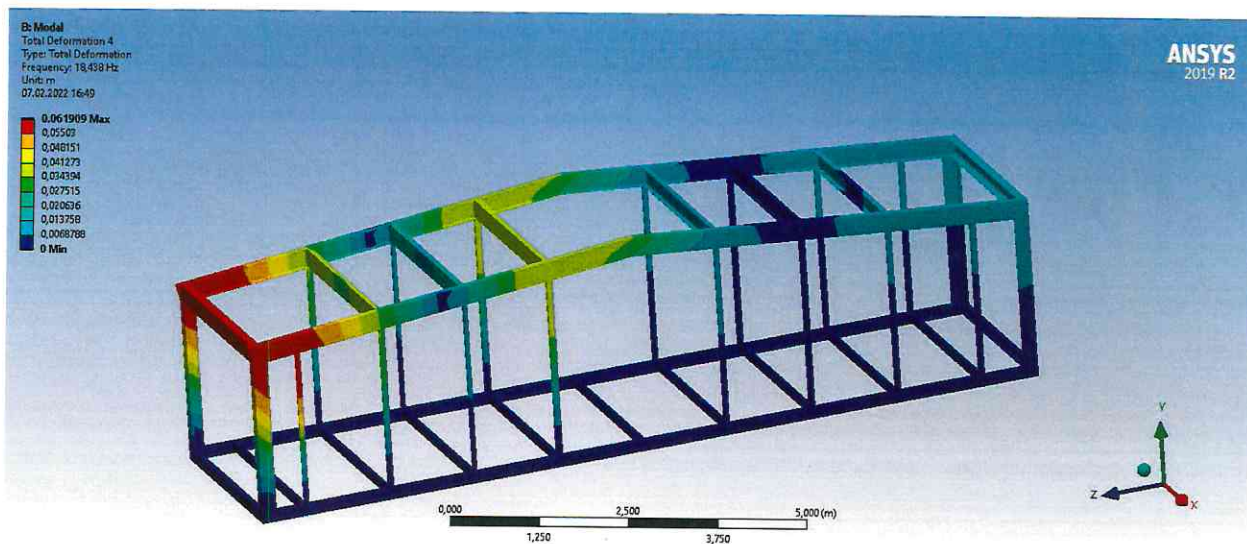


Рис. 8 Амплитуда при 4-й форме колебаний [м]

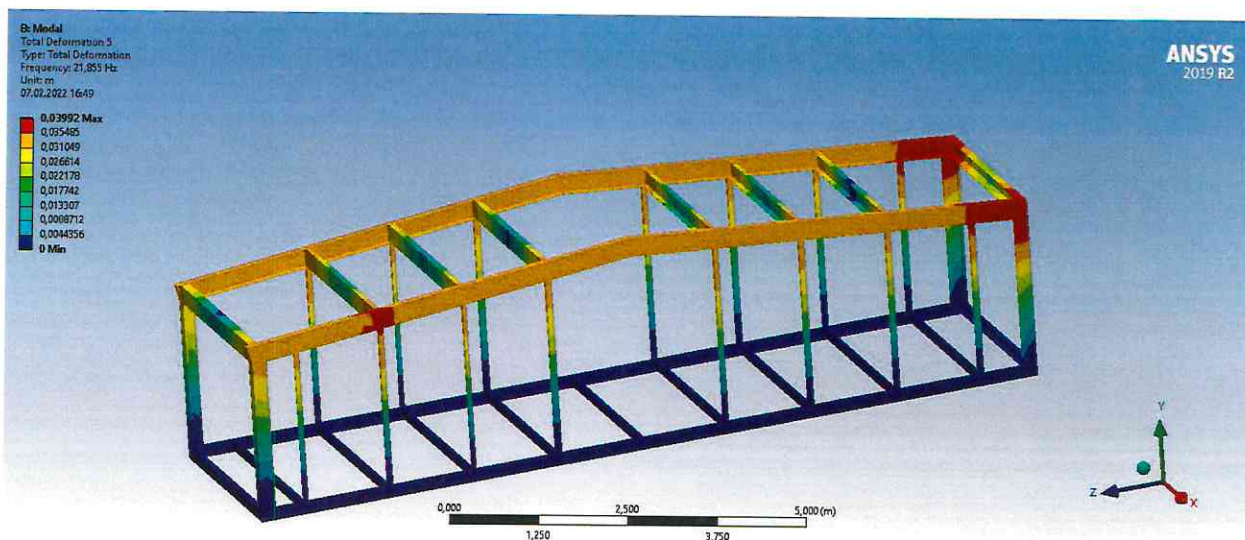


Рис. 9 Амплитуда при 5-й форме колебаний [м]

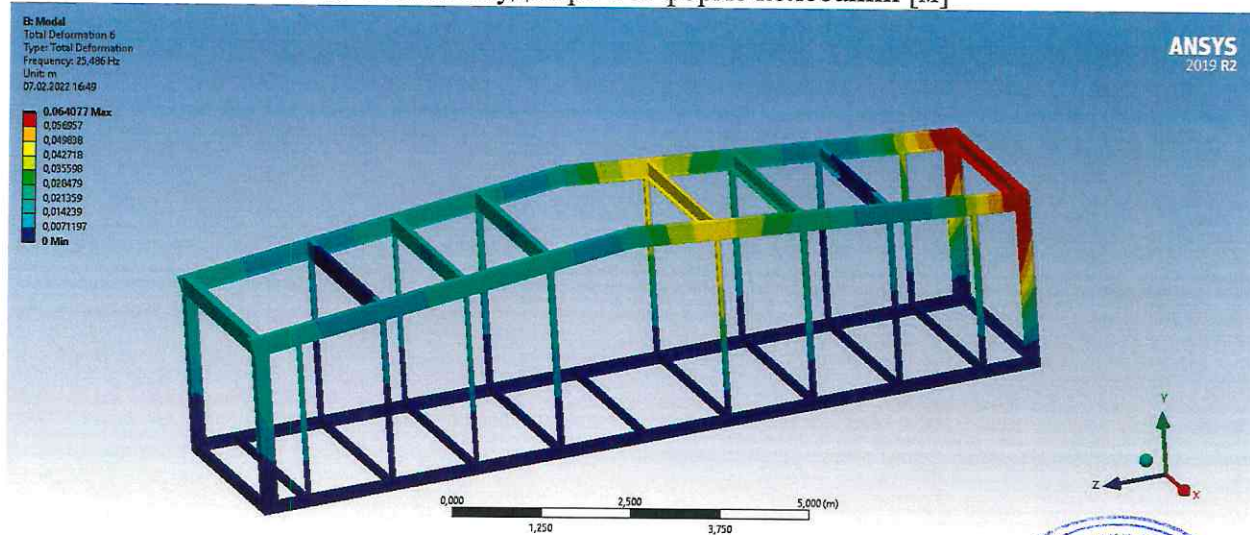


Рис. 10 Амплитуда при 6-й форме колебаний [м]



4.2 Анализ сейсмического воздействия на здание:

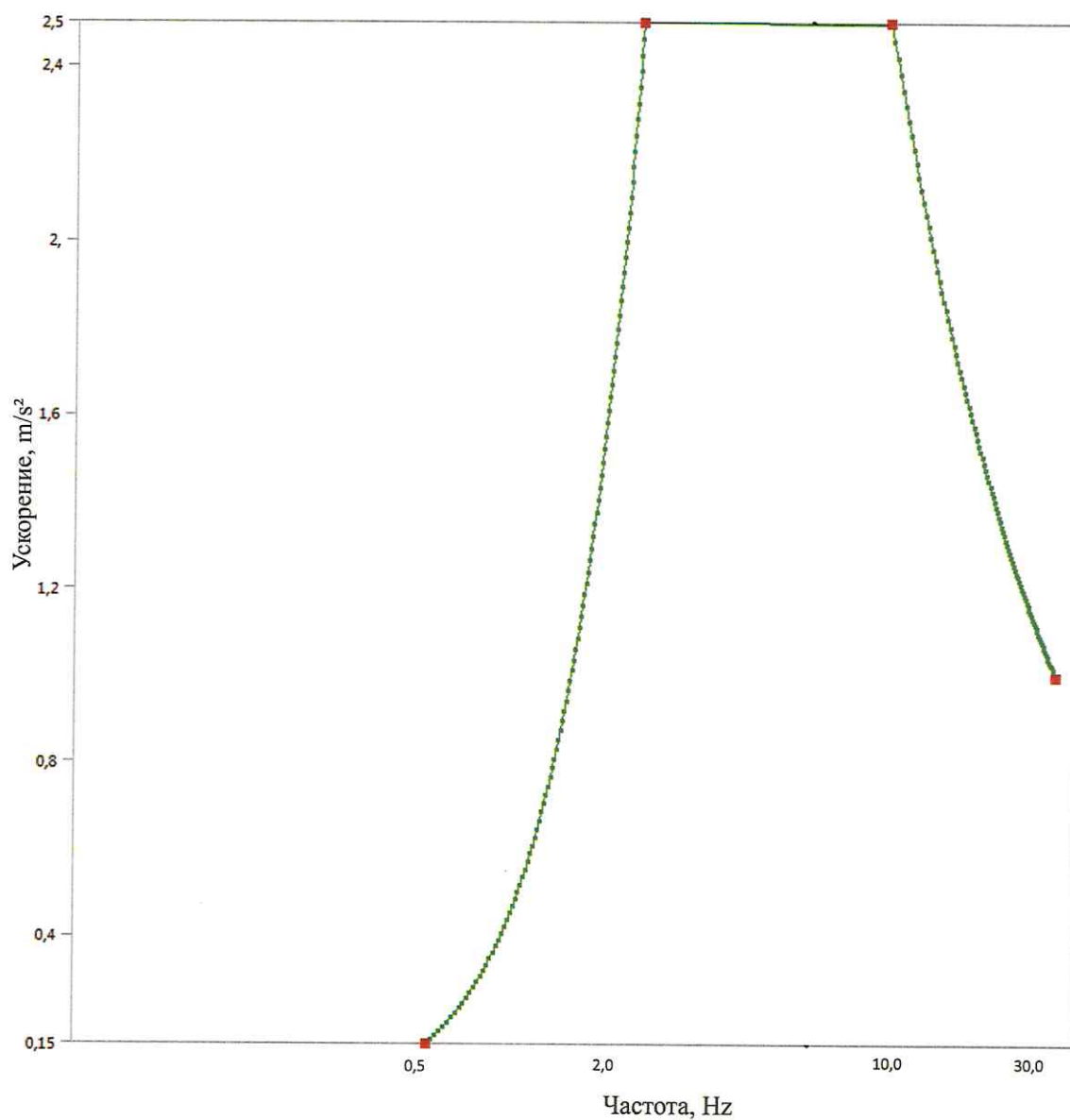


Рис.11 График зависимости между максимальной амплитудой ускорения и частотой синусоидальной вибрации – расчетный спектр воздействия

Частота [Hz]	Ускорение [m/s^2]
0,5	0,015
2,	2,5
10,	
30,	1,0



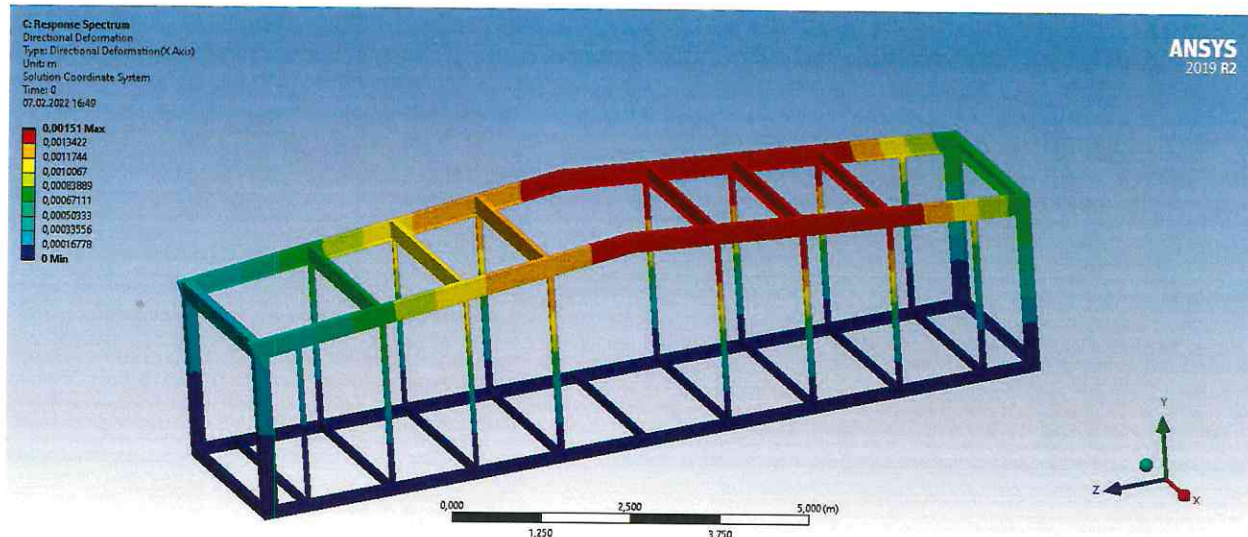


Рис. 12 Перемещения по оси X [м]

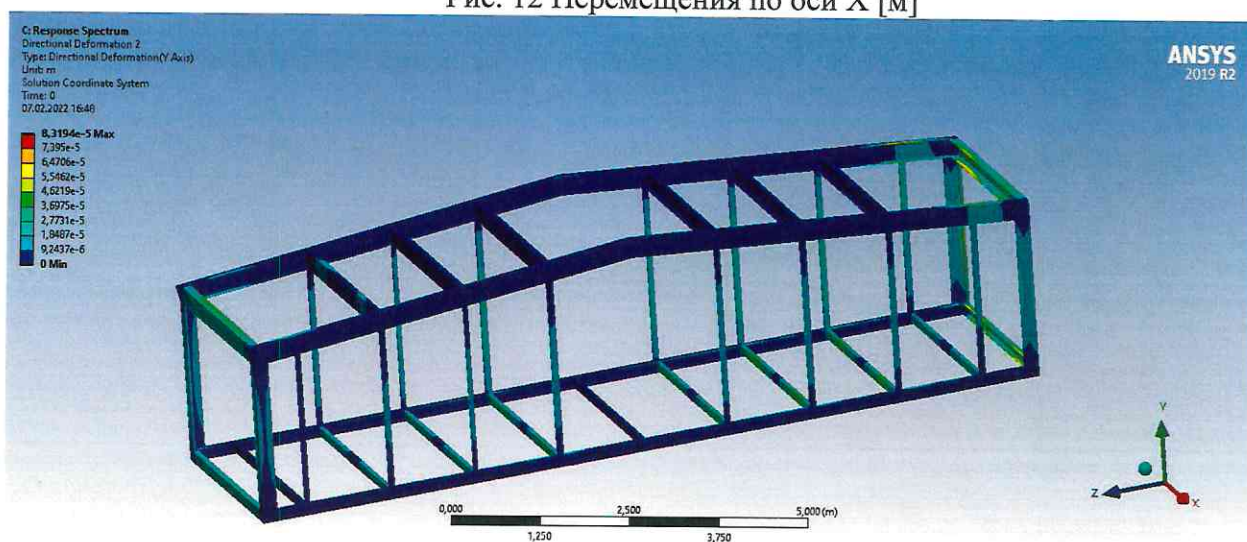


Рис. 13 Перемещения по оси Y [м]

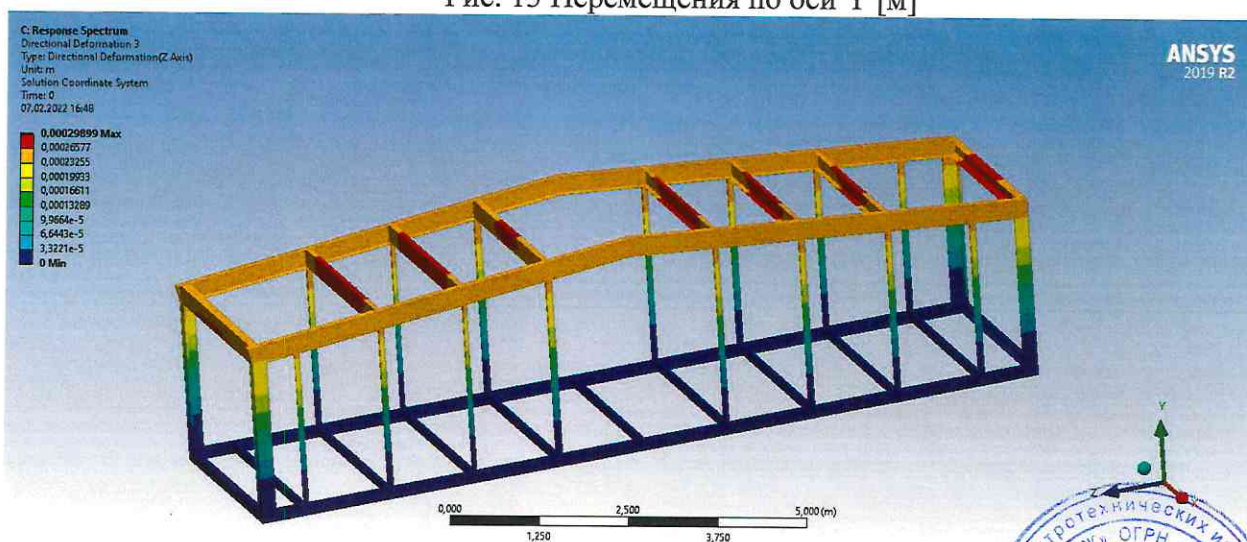


Рис. 14 Перемещения по оси Z [м]



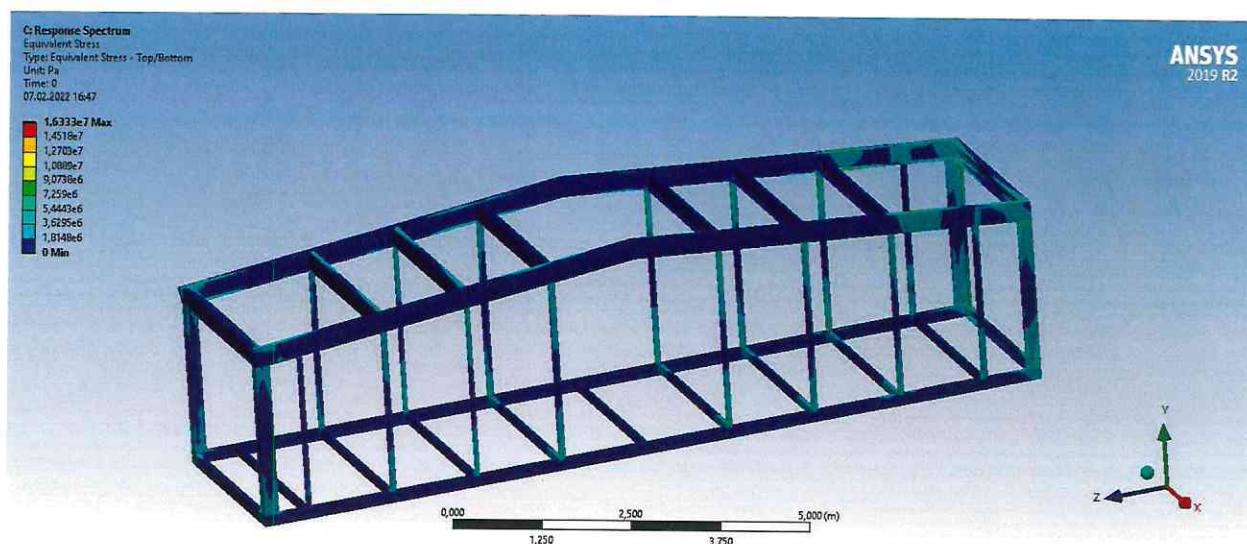


Рис. 15 Эквивалентные напряжения [Па]

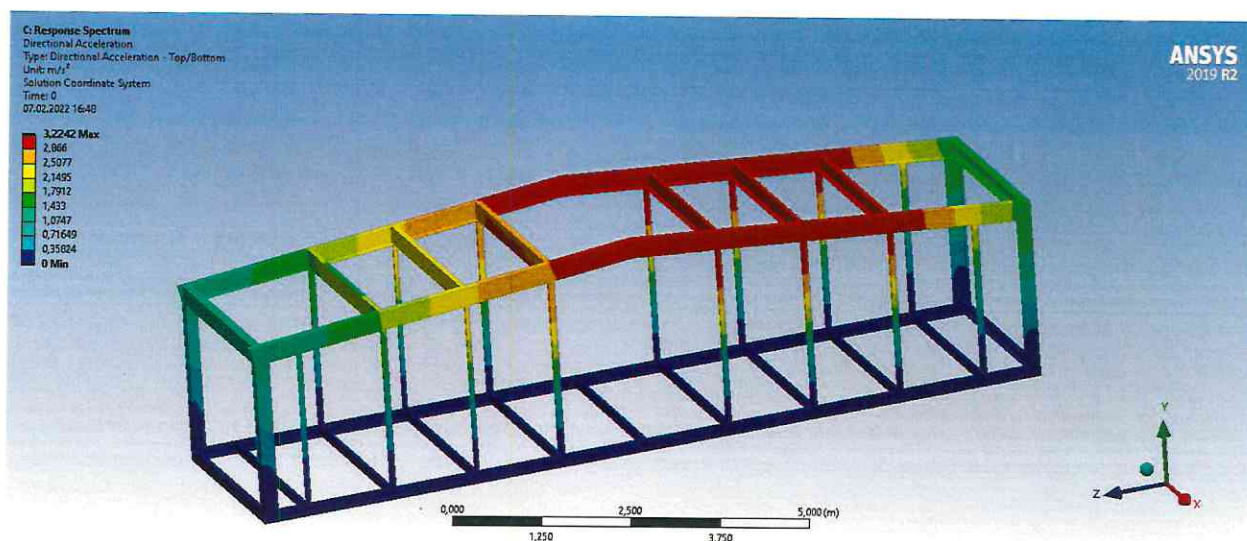


Рис. 16 Ускорение по оси X [м/с²]

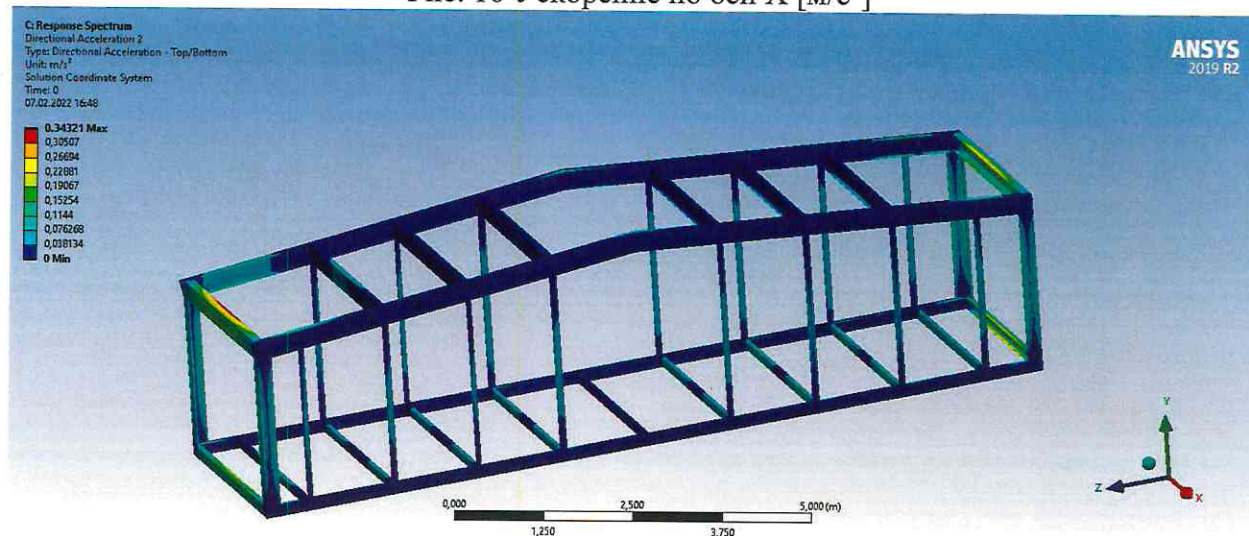


Рис. 17 Ускорение по оси Y [м/с²]



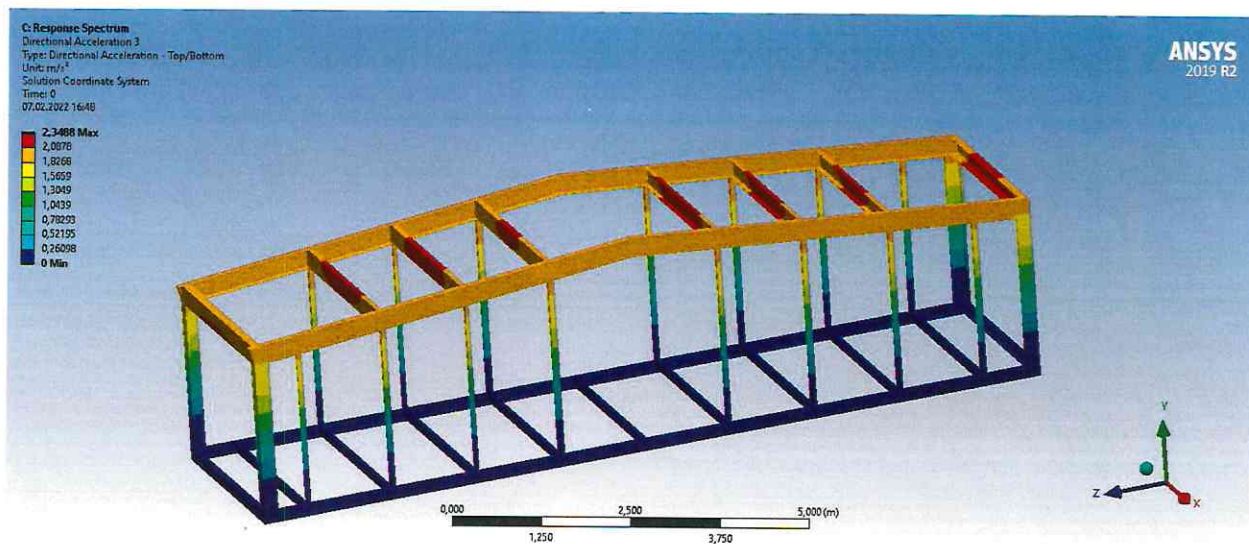


Рис. 18 Ускорение по оси Z [м/с²]

4.3 Визуализация коэффициента запаса прочности от сейсмического воздействия

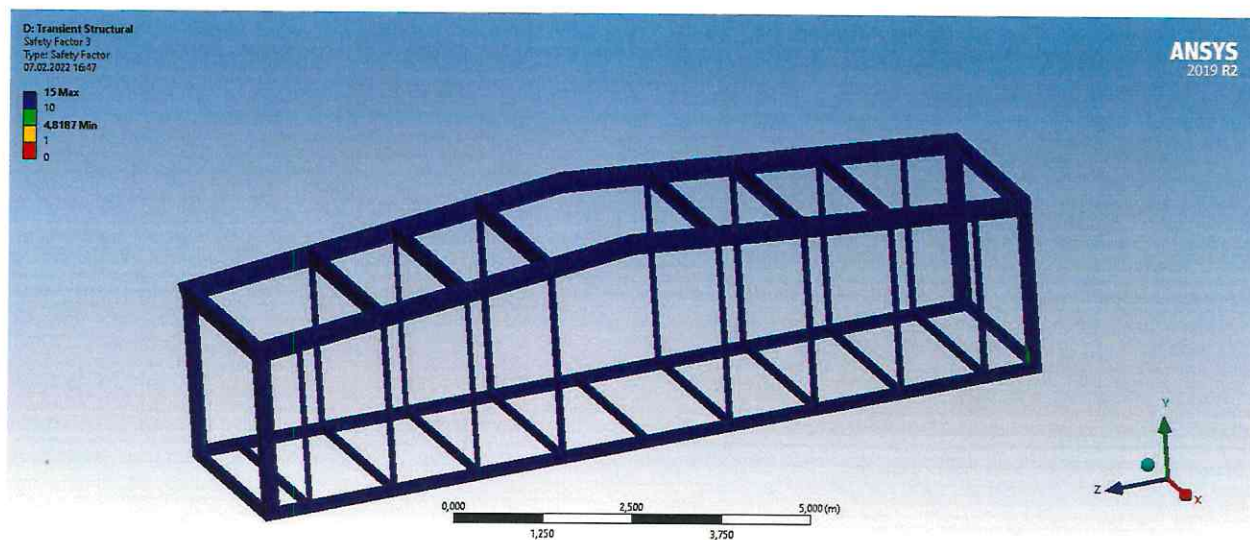


Рис.19 Визуализация коэффициента запаса прочности



5. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Испытание на сейсмическое воздействие Здания и помещения цельноперевозимые, модульного типа и сборно-разборные, выпускаемые по ТУ 5363-002-61085812-2021 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 здания, сейсмическое воздействие на здание, визуализация коэффициента запаса прочности;
3. На основании проведенного испытания можно сделать вывод, что прочность Зданий и помещений цельноперевозимых, модульного типа и сборно-разборных от сейсмического воздействия в 9 баллов по шкале MSK-64 обеспечена.

