



ЦЕНТР ПРОФЭКС

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ ЦЕНТР «ПРОФЭКС»

Адрес места нахождения: 119501, г. Москва, ул. Веерная, дом 4, корпус 2, этаж п,
помещение I комната 27,
тел. +7 (495) 506-78-36, e-mail: info@profeks.ru

Испытательная лаборатория ООО Центр «ПрофЭкс»

Адрес места осуществления деятельности: 142111, Московская область, г. Подольск, ул.
Окружная д. 2В



УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ИЛ

А.Д. Карташова
14.07.2020

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 109/1-2020 от 14.07.2020

Полное или частичное копирование и распространение протокола без письменного разрешения
ООО Центр «ПрофЭкс» не допускается.

Результаты испытаний, зафиксированные в этом протоколе, распространяются только на
образцы, подвергнутые испытаниям.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Таблица № 1.1.

Объект, поступивший на испытания (тип/модель, заводской номер, другая уникальная идентифицирующая информация)	Устройства распределительные низковольтные (не укомплектованные аппаратурой), серии: SPS, MKM, MPS, MPV, MPD, MPM
Кол-во образцов (шт)	1
Заказчик	Общество с ограниченной ответственностью «Провенто»
Адрес заказчика	607630, Российская Федерация, Нижегородская обл., Богородский р-н, Кудьма Сельский п, Кудьминская Промзона 1
Изготовитель	Общество с ограниченной ответственностью «Провенто»
Адрес изготовителя	607630, Российская Федерация, Нижегородская обл., Богородский р-н, Кудьма Сельский п, Кудьминская Промзона 1
Дата поступления образца	02.07.2020
Даты начала и окончания испытаний	14.07.2020
Цель проведения испытаний	НА СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ ГОСТ 30546.1-98, ГОСТ 30546.2-98, ГОСТ 30546.3-98 (исполнение сейсмостойкости 8 баллов по шкале MSK-64)
Направление на испытания	
Документы, устанавливающие методы (методики) испытаний	ГОСТ 30546.1-98, ГОСТ 30546.2-98, ГОСТ 30546.3-98
Метод проведения испытаний	Собственный вес конструкции распределяется между узлами конечно-элементной модели пропорционально примыкающим площадям. Собственный вес оборудования сосредоточен в узлах закрепления (используются конечные элементы «сосредоточенная масса»). Напряженно-деформированное состояние несущих конструкций от сейсмического воздействия определено линейно-спектральным методом. Компоненты X, Y, Z в запас прочности складываются по абсолютной величине.

3. УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Параметр	Значение
Температура, °С	22,0
Влажность, %	71,0
Атмосферное давление, кПа	98,94

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Устройства распределительные низковольтные (не укомплектованные аппаратурой), серии: SPS, MKM, MPS, MPV, MPD, MPM выпускаемые, изготовителем Общество с ограниченной ответственностью «Провенто», соответствуют:

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», (исполнение сейсмостойкости 8 баллов по шкале MSK-64);

Указанные Устройства распределительные низковольтные (не укомплектованные аппаратурой), серии: SPS, MKM, MPS, MPV, MPD, MPM могут быть применены в районах с сейсмичностью до 8 баллов по шкале MSK-64, без конструктивных доработок.

Испытания проведены

Ф.И.О.	Подписи
Голубев А.О	

-----Конец документа-----

Приложение №1

к протоколу № 109/1-2020

от 14.07.2020

Испытание на сейсмическое воздействие

**Устройства распределительные низковольтные (не
укомплектованные аппаратурой), серии: SPS, MKM,
MPS, MPV, MPD, MPM**



Содержание

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



1. Общие сведения

Испытание на сейсмическое воздействие Устройства распределительные низковольтные (не укомплектованные аппаратурой), серии: SPS, MKM, MPS, MPV, MPD, MPM (далее шкафы) 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».

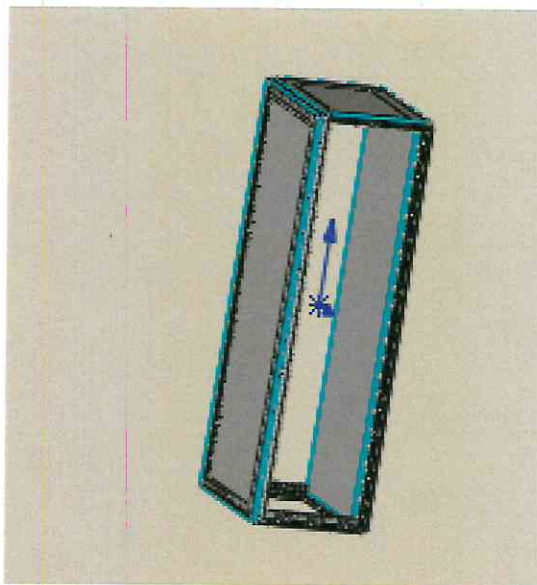


Рис.1 Устройства распределительные низковольтные (не укомплектованные аппаратурой), серии: SPS, MKM, MPS, MPV, MPD, MPM



2. Нагрузки и воздействия, действующие на шкафы

На основании технической документации, был смоделирован шкаф.

В качестве статических и динамических нагрузок были приняты следующие типы нагрузок:

1. собственный вес с коэффициентом – 1,1;
2. сейсмическое воздействие в 8 баллов по шкале MSK-64;
3. внутреннее давление.

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:

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



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);

$\{\epsilon\} = \{\epsilon\} - \{\epsilon_{th}\}$ - 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.

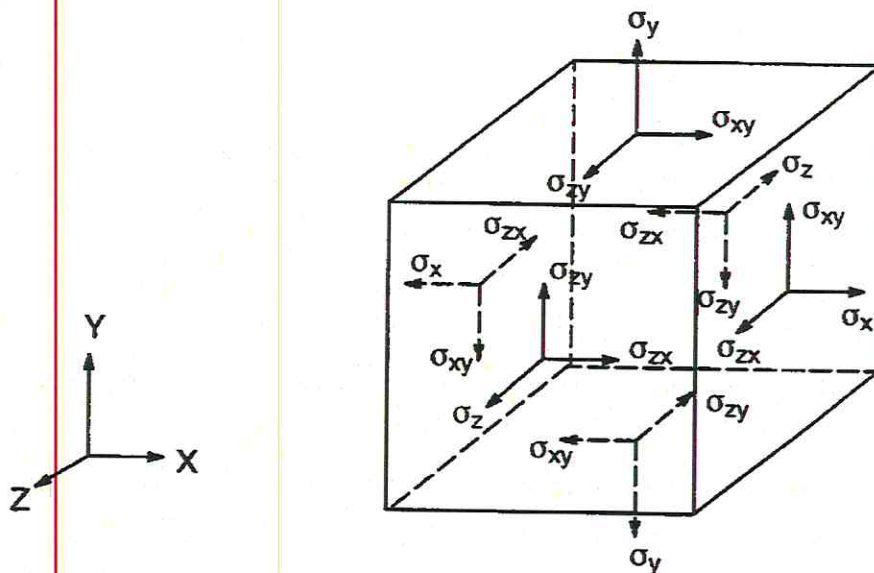


Рис. 2.2 - Компоненты вектора напряжений

Уравнение (1) может быть обращено следующим образом:

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

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

$$\begin{bmatrix} 1/E_x & -\nu_{xy}/E_y & -\nu_{xz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{yx}/E_x & 1/E_y & -\nu_{yz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{yz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{xz} \end{bmatrix}$$



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

При использовании нормализация по строкам, матрица записывается следующим образом:

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

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

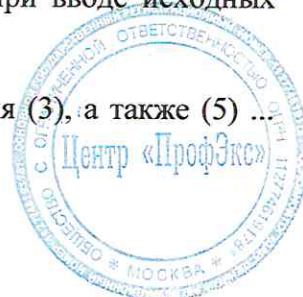
$$v^*_{yx}/E_y = v^*_{xy}/E_x \quad (8)$$

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

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

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

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

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

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 шкафа

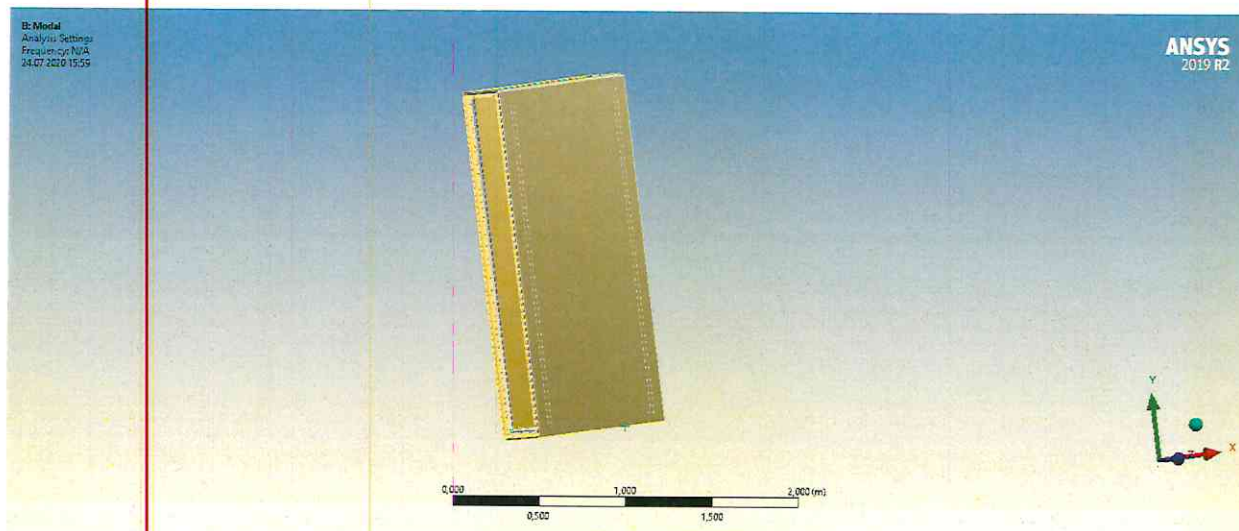


Рис. 2 Расчетная аппроксимированная модель

4.1 Определение собственных частот колебаний шкафа:

№ Рис.	Форма колебаний	Частота , Гц
4	1	2,039
5	2	6,5117
6	3	6,5585
7	4	12,63
8	5	17,669
9	6	25,631

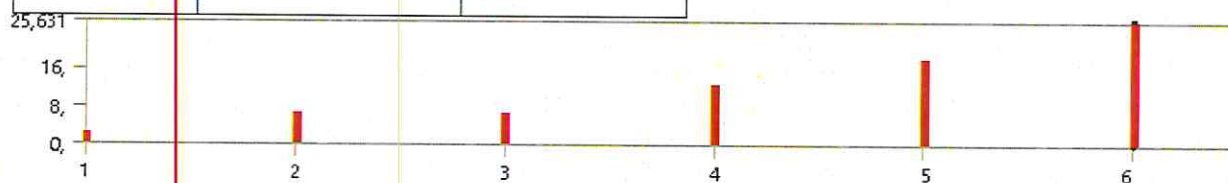


Рис. 3 Гистограмма собственных частот колебаний



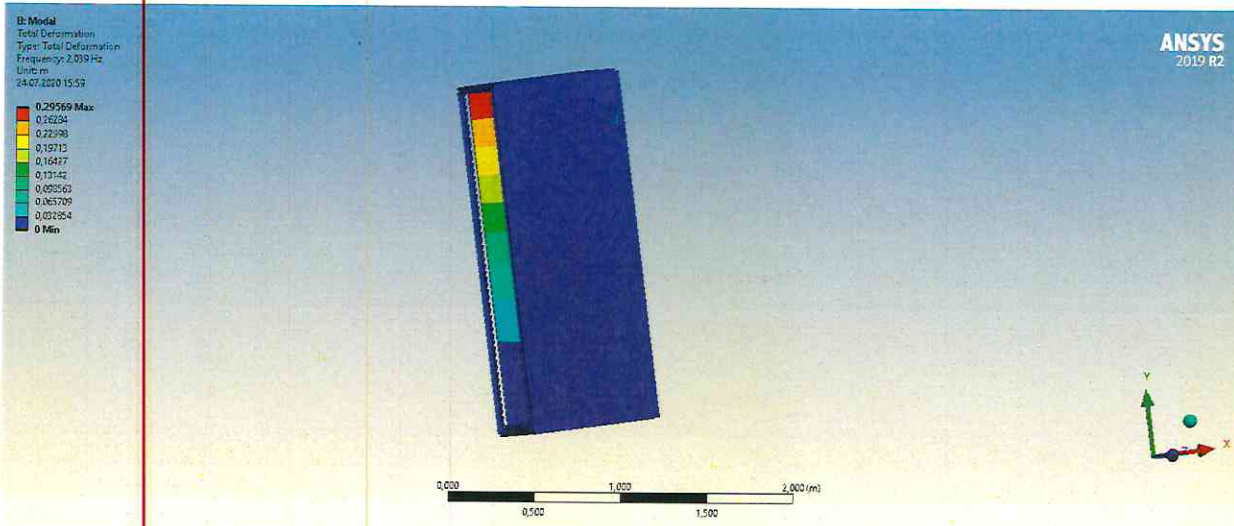


Рис. 4 Амплитуда при 1-й форме колебаний [м]

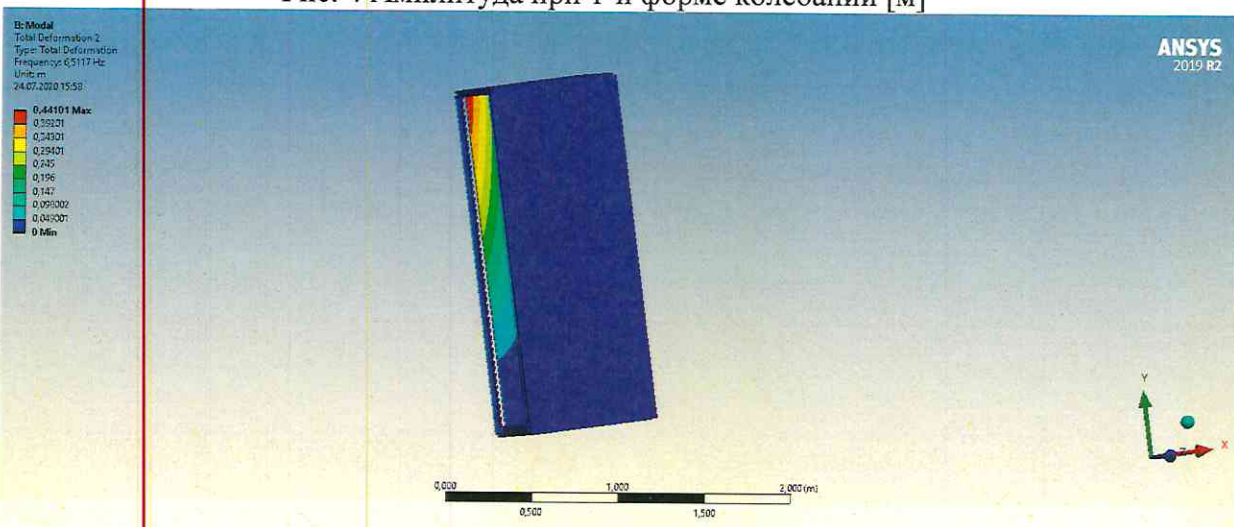


Рис. 5 Амплитуда при 2-й форме колебаний [м]

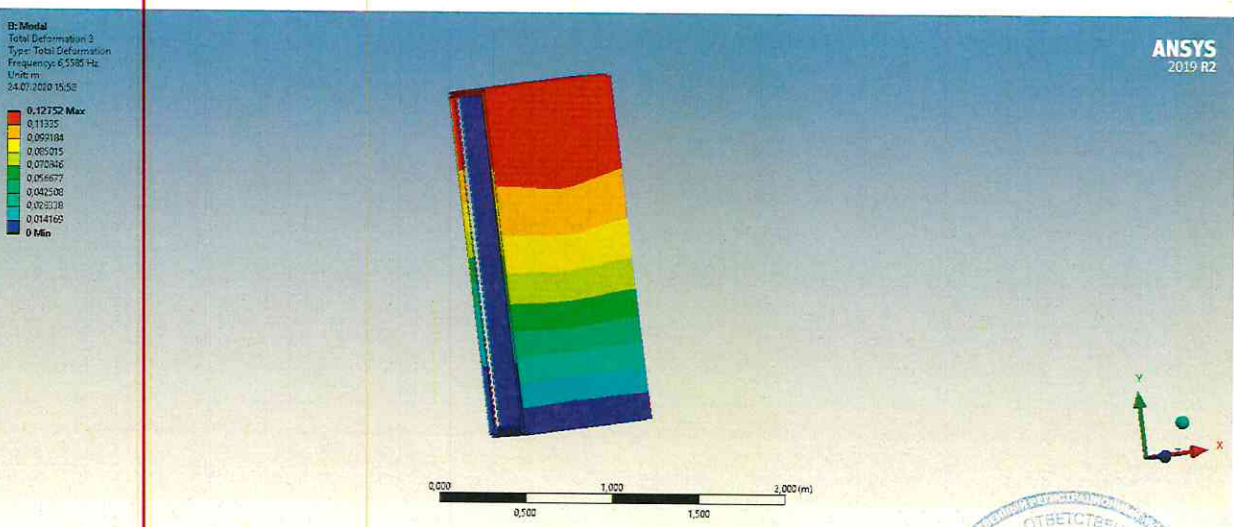


Рис. 6 Амплитуда при 3-й форме колебаний [м]



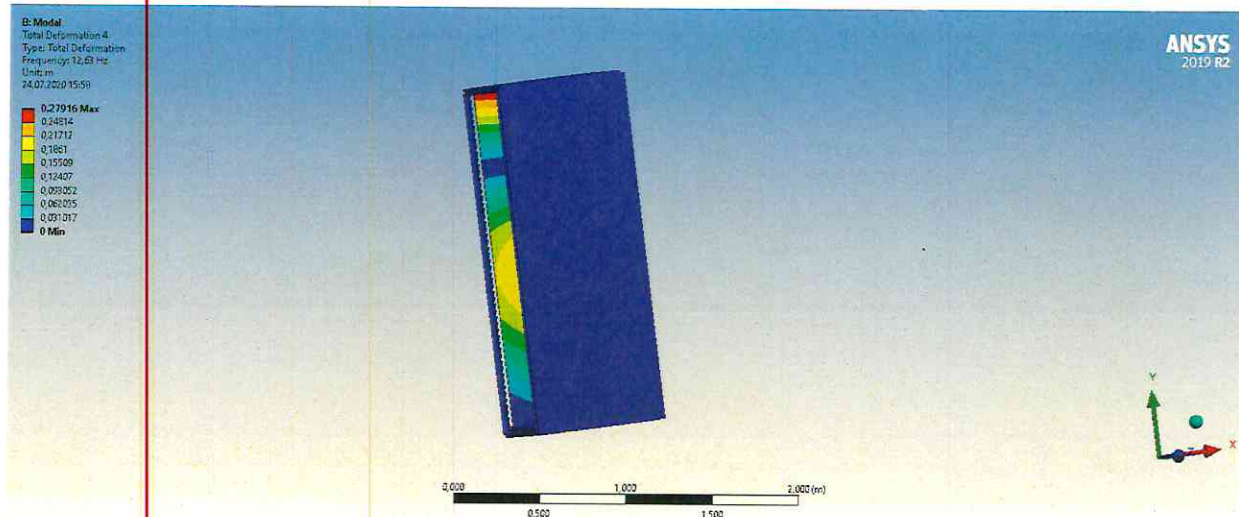


Рис. 7 Амплитуда при 4-й форме колебаний [м]

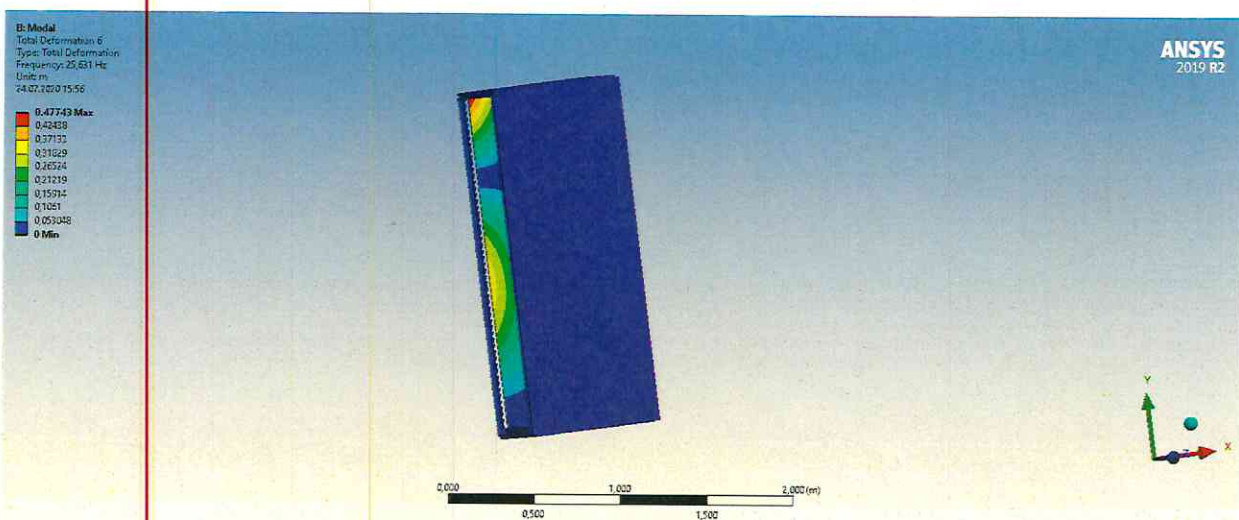


Рис. 8 Амплитуда при 5-й форме колебаний [м]

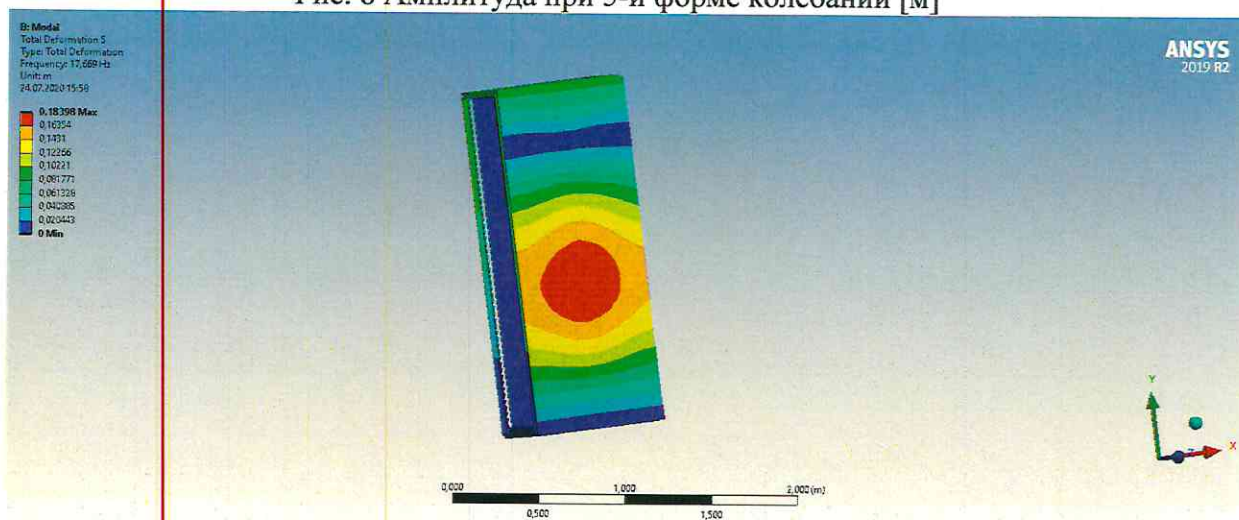


Рис. 9 Амплитуда при 6-й форме колебаний [м]



4. 2 Анализ сейсмического воздействия на шкаф:

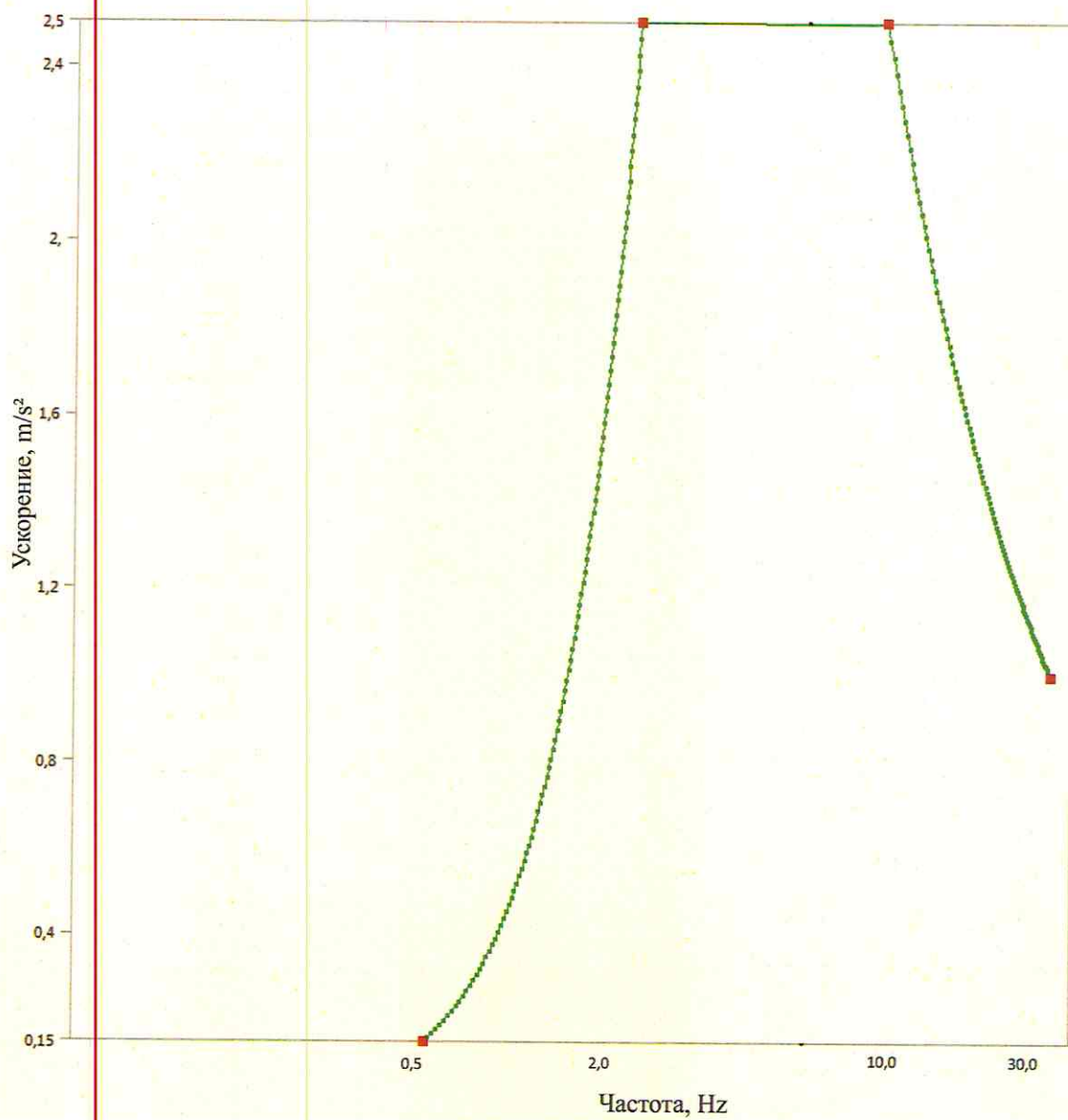


Рис.10 График зависимости между максимальной амплитудой ускорения и частотой синусоидальной вибрации – расчетный спектр воздействия

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



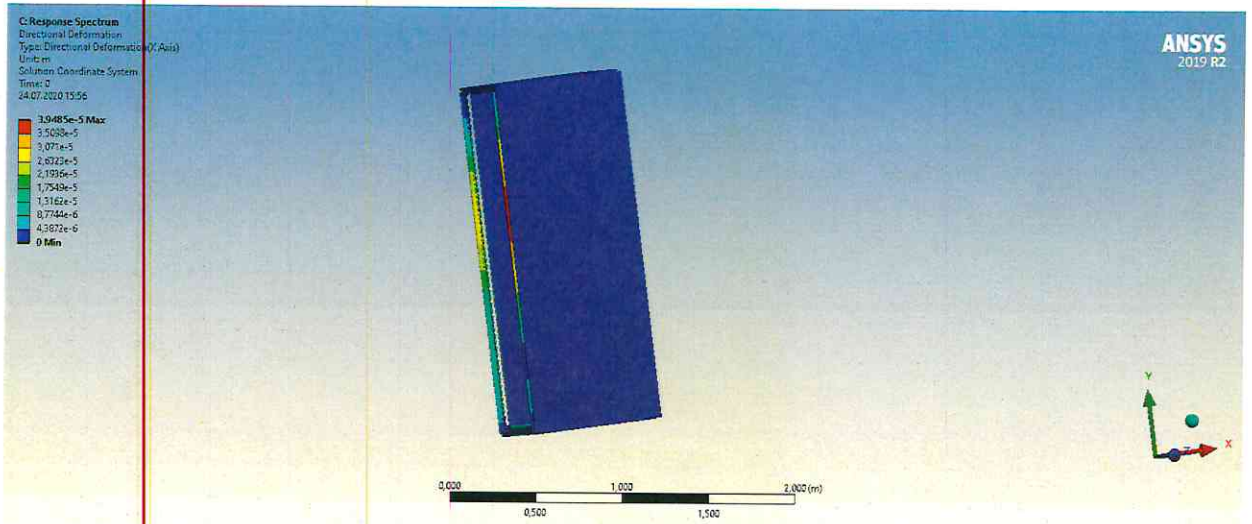


Рис. 11 Перемещения по оси X [м]

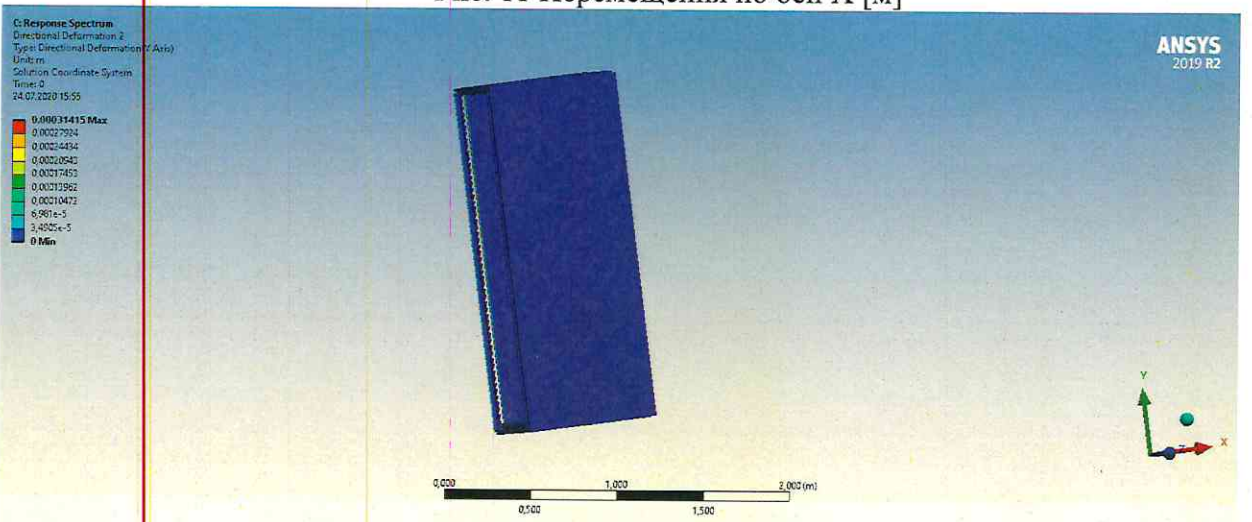


Рис. 12 Перемещения по оси Y [м]

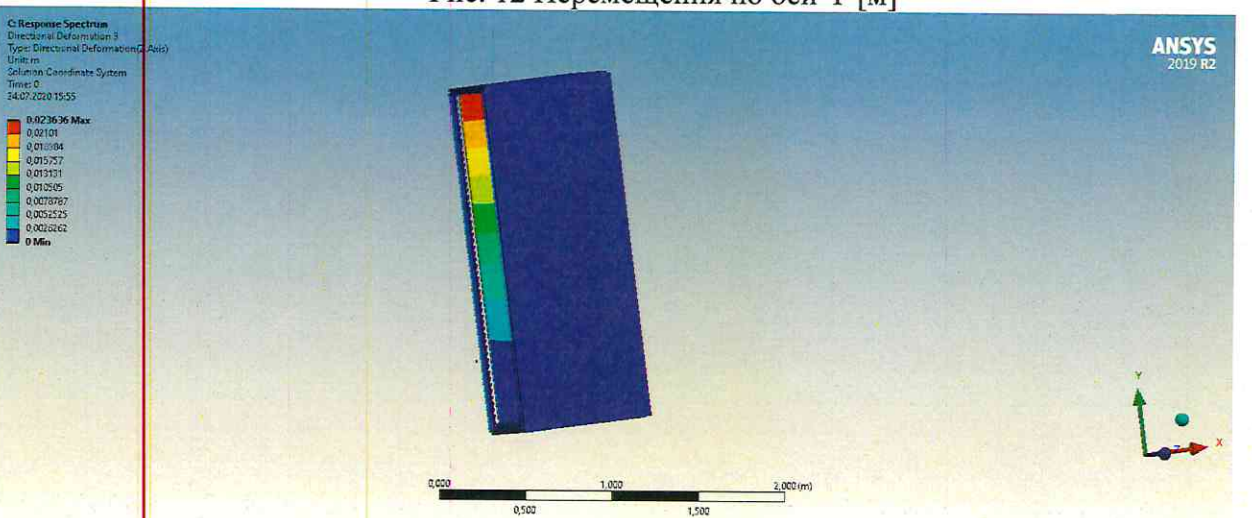


Рис. 13 Перемещения по оси Z [м]



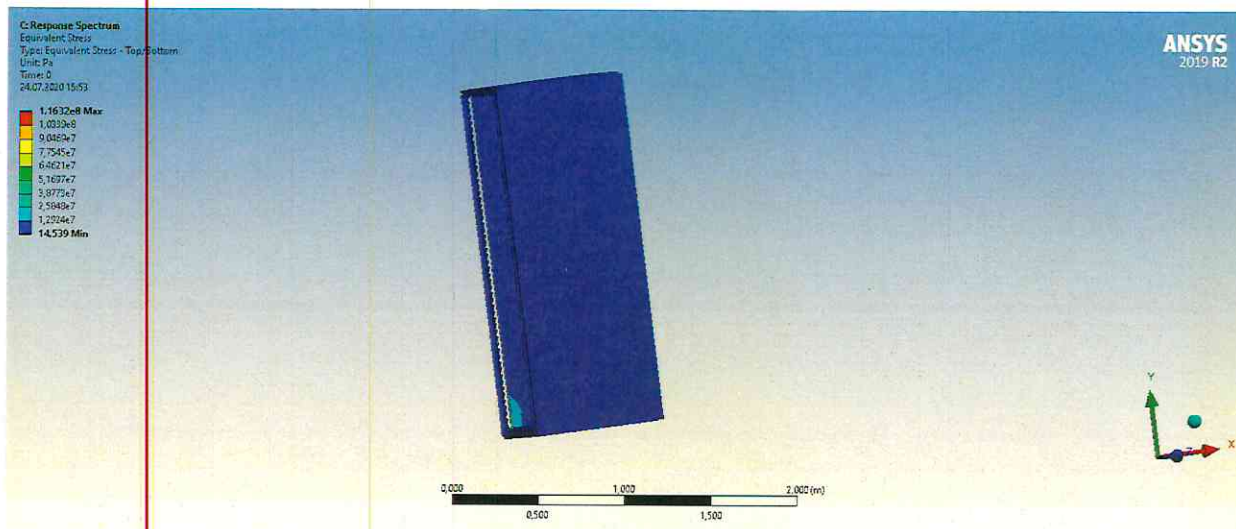


Рис. 14 Эквивалентные напряжения [Па]

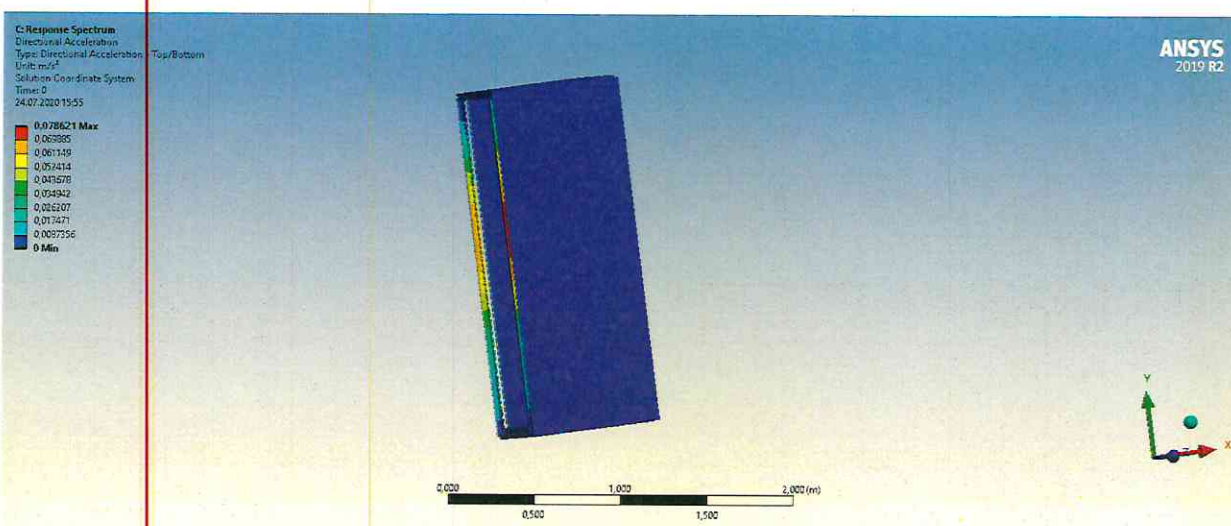


Рис. 15 Ускорение по оси X [м/с²]

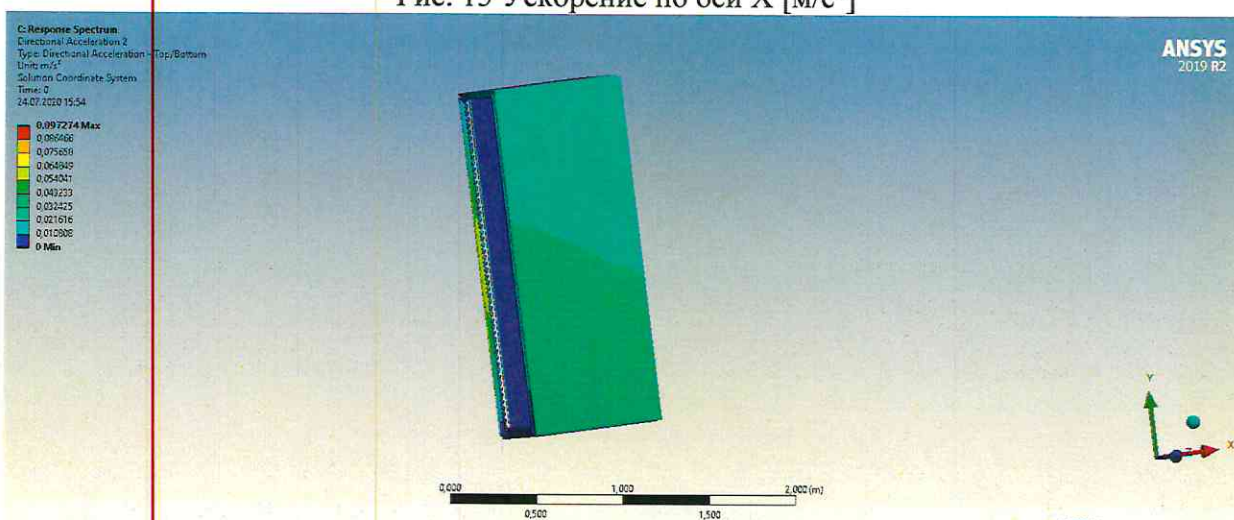


Рис. 16 Ускорение по оси Y [м/с²]



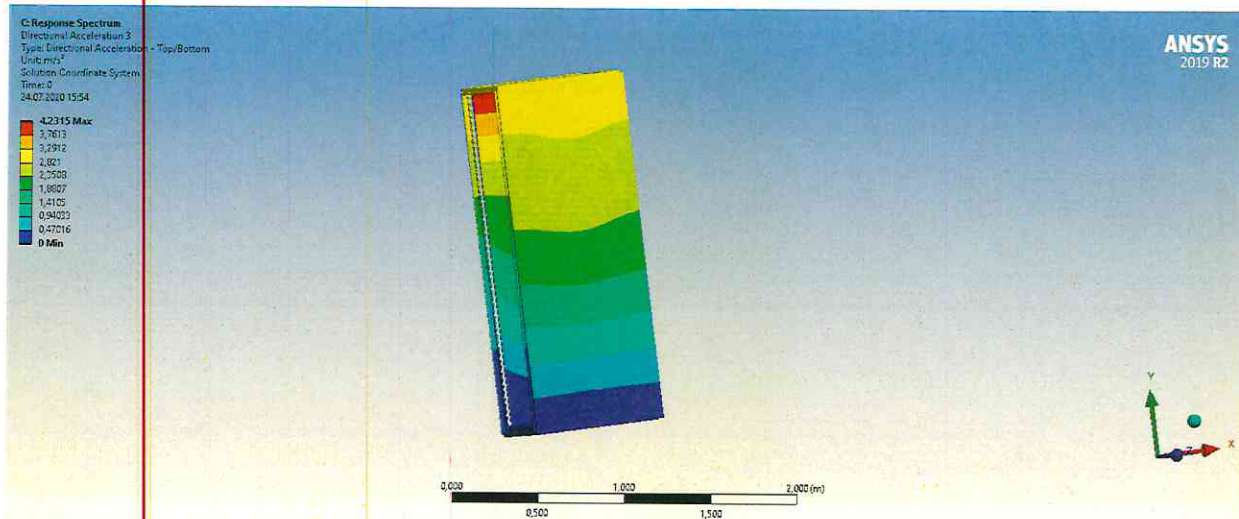


Рис. 17 Ускорение по оси Z [м/с²]

4.3 Визуализация коэффициента запаса прочности от сейсмического воздействия

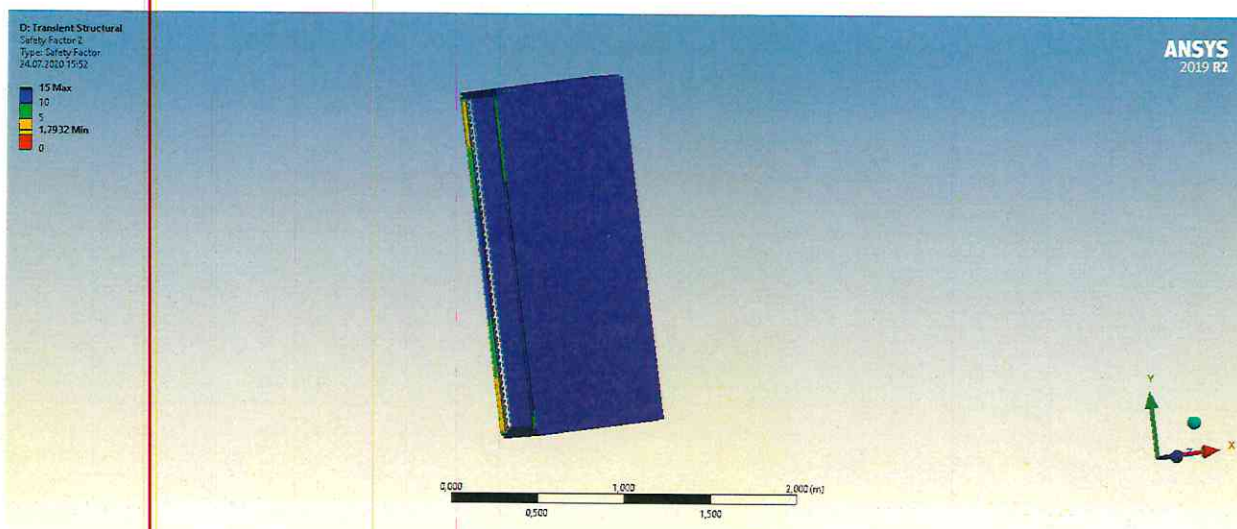


Рис.18 Визуализация коэффициента запаса прочности



5. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Испытание на сейсмическое воздействие на Устройства распределительные низковольтные (не укомплектованные аппаратурой), серии: SPS, MKM, MPS, MPV, MPD, MPM 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 шкафа, сейсмическое воздействие на шкаф, визуализация коэффициента запаса прочности;
3. На основании проведенного испытания можно сделать вывод, что прочность Устройств распределительных низковольтных (не укомплектованные аппаратурой), серии: SPS, MKM, MPS, MPV, MPD, MPM от сейсмического воздействия в 8 баллов по шкале MSK-64 обеспечена.
4. Указанные Устройства распределительные низковольтные (не укомплектованные аппаратурой), серии: SPS, MKM, MPS, MPV, MPD, MPM могут быть применены в районах с сейсмичностью до 8 баллов по шкале MSK-64, без конструктивных доработок.

