



СейсмоБезопасность

СИСТЕМА ДОБРОВОЛЬНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ

**Система добровольной сертификации
в области сейсмостойкости, виброустойчивости, вибропрочности,
стойкости к климатическим воздействующим факторам**

119311, г. Москва, ул. Крупской, д. 8, корп. 3

СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ

Серия 001 № 203

Выдан

Общество с ограниченной ответственностью «Левин Фотоникс».

Адрес: 141190, Московская обл., г. Фрязино, Заводской проезд, дом 2, помещение 704-707.

Фактический адрес: 141190, Московская обл., г. Фрязино, Заводской проезд, дом 2, помещение 704-707.

Телефон: 8(495)984-04-37, e-mail: sales@igasdetection.com

(наименование организации, получившей сертификат)

Настоящий сертификат удостоверяет, что продукция

Газоанализаторы стационарные «ИГАС» IR и «ИГАС» IR-2C,
выпускаемые по ТУ 4215-001-16777305-20.

(наименование продукции)

СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ ГОСТ

(наименование нормативного документа)

ГОСТ 30546.1-98, ГОСТ 30546.2-98, ГОСТ 30546.3-98
(исполнение сейсмостойкости 9 баллов по шкале MSK-64)

НА ОСНОВАНИИ

(наименование протокола испытаний, актов проверок)

Протоколов испытаний №№ 139-20/09, 140-20/09 от 15.09.2020 года, выданных Испытательным центром
электротехнических изделий «Строймонтаж», регистрационный № РОСС RU.31297.04ЖТУ0.004.

**Орган по сертификации: Общество с ограниченной ответственностью
«Центр сертификации «ВЕЛЕС»**

Фактический адрес: 195009, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 12,
корп. 2, лит. А, эт. 2, комн. 26

Регистрационный номер: СБ.ОС.011

Дата регистрации: 16.09.2020

Срок действия сертификата: 15.09.2023

Руководитель органа
по сертификации



М.П.

Экхарт К.А.
(ФИО)

(подпись)

Санкт-Петербург

**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 № 139-20/09

Объект испытаний	Газоанализаторы стационарные «ИГАС» IR
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 «Левин Фотоникс» адрес 141190, Московская обл., г. Фрязино, Заводской проезд, дом 2, помещение 704-707
Изготовитель	ООО «Левин Фотоникс» адрес 141190, Московская обл., г. Фрязино, Заводской проезд, дом 2, помещение 704-707
Место проведения испытаний	Общество с ограниченной ответственностью «ПБК» 603093, Россия, Нижегородская область, г. Нижний Новгород, ул. Деловая, 4, помещение 8
Дата проведения испытаний	15.09.2020
Результаты испытаний	См. Приложение 1

Руководитель испытательного центра
электротехнических изделий
«СТРОЙМОНТАЖ»



И.А. Панков

15 сентября 2020 г.

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Образец Газоанализаторы стационарные “ИГАС” IR, соответствует требованиям безопасности по:
ГОСТ 30546.1-98, ГОСТ 30546.2-98, ГОСТ 30546.3-98 (исполнение сейсмостойкости 9 баллов по шкале MSK-64)

Приложение №1

К протоколу № 139-20/09

Испытание на сейсмическое воздействие
Газоанализаторы стационарные “ИГАС” IR



Содержание

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



1. Общие сведения

Испытание на сейсмическое воздействие Газоанализаторы стационарные «ИГАС» IR 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».

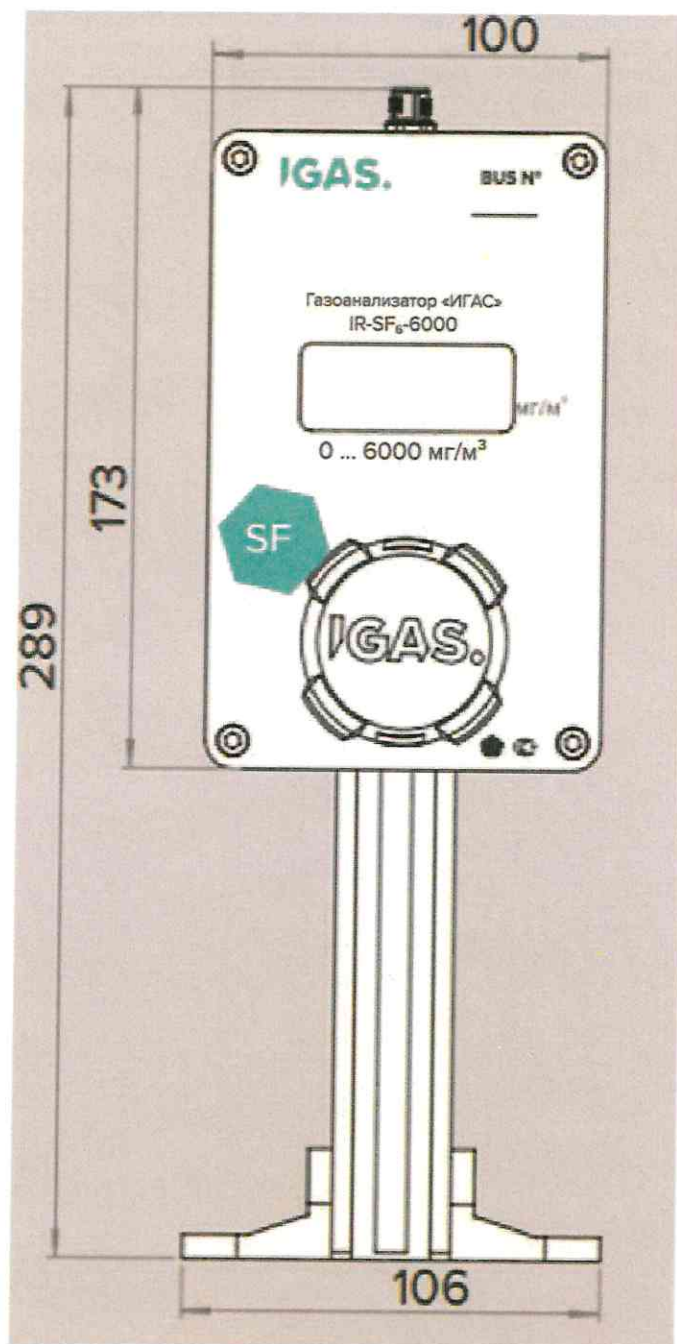


Рис.1 Газоанализаторы стационарные «ИГАС» IR



2. Нагрузки и воздействия, действующие на газоанализатор

На основании технической документации, был смоделирован газоанализатор.

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

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 $\{\sigma\} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \sigma_y & \sigma_z & \sigma_{xy} & \sigma_{yz} & \sigma_{xz} \end{bmatrix}^T$ - вектор напряжений (как выходная величина помечается меткой S);

(1)



$[D]$ – 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 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.

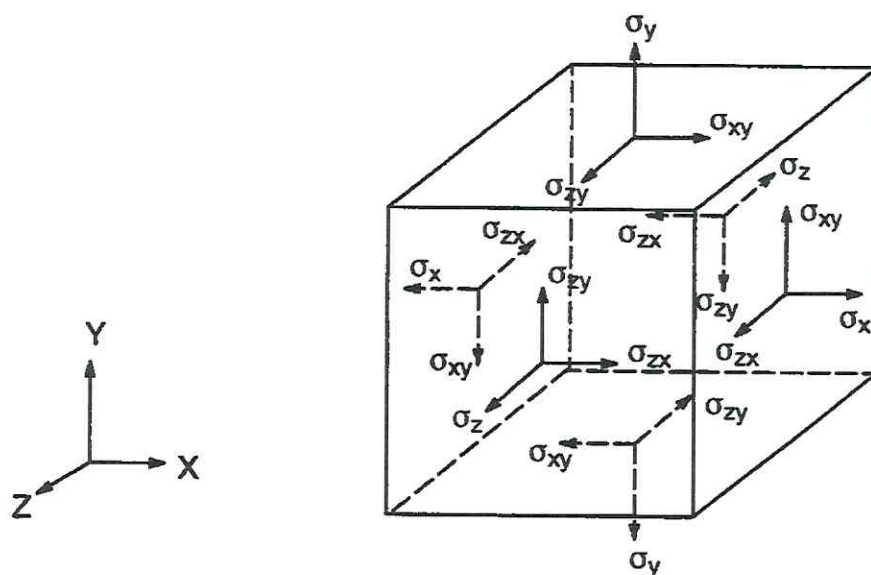


Рис.2 Компоненты вектора напряжений

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:

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

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_{yz} , 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:

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

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

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

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

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

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



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:

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

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

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

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

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

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

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 газоанализатора

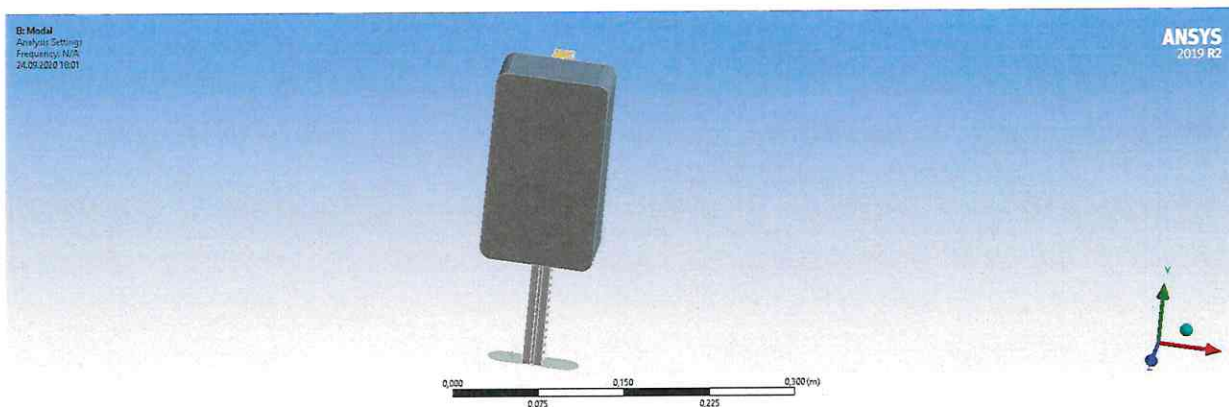


Рис.3 Расчетная аппроксимированная модель

4.1 Определение собственных частот колебаний модели

№ Рис.	Форма колебаний	Частота, Гц
5	1	46,746
6	2	53,711
7	3	269,3
8	4	525,16
9	5	855,47
10	6	1046,5

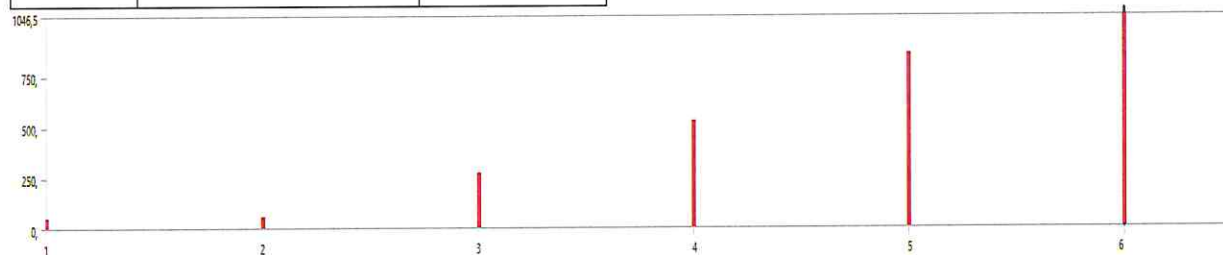


Рис.4 Гистограмма собственных частот колебаний



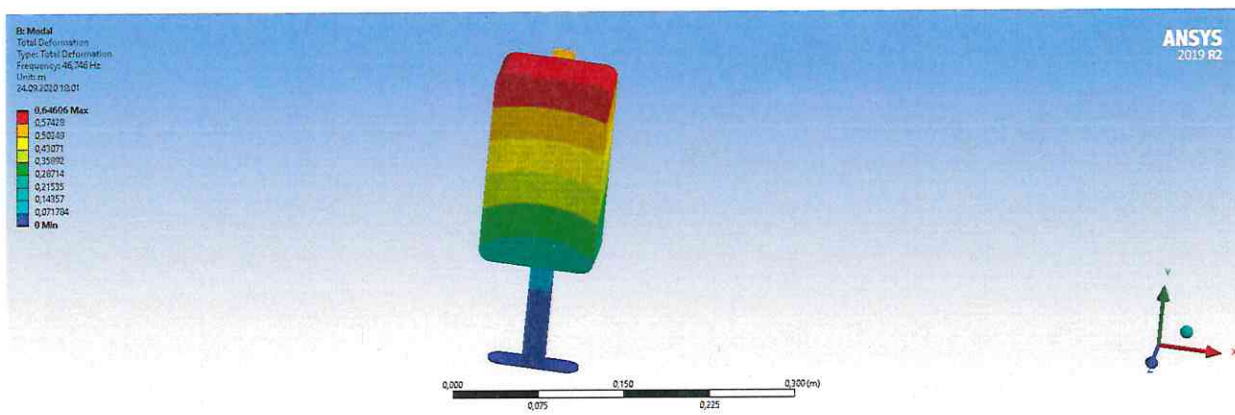


Рис.5 Амплитуда при 1-й форме колебаний [м]

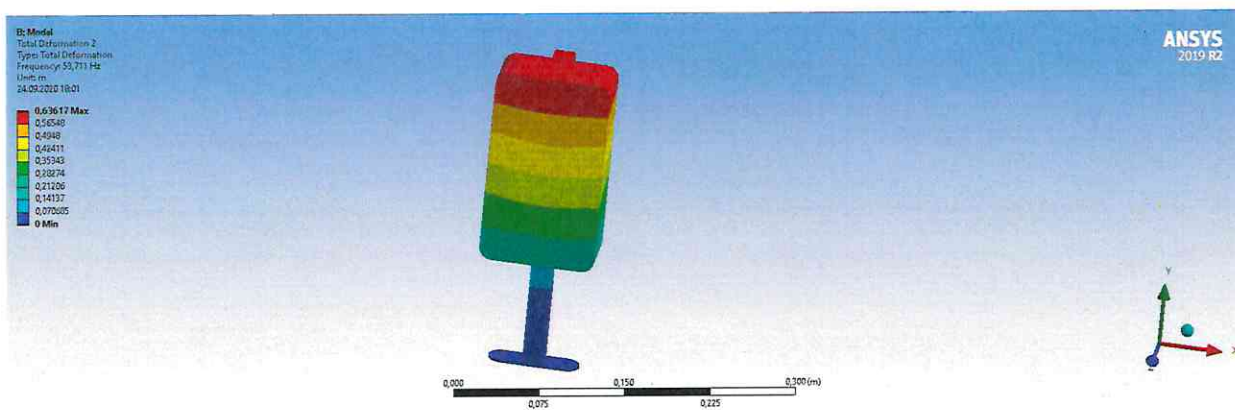


Рис.6 Амплитуда при 2-й форме колебаний [м]

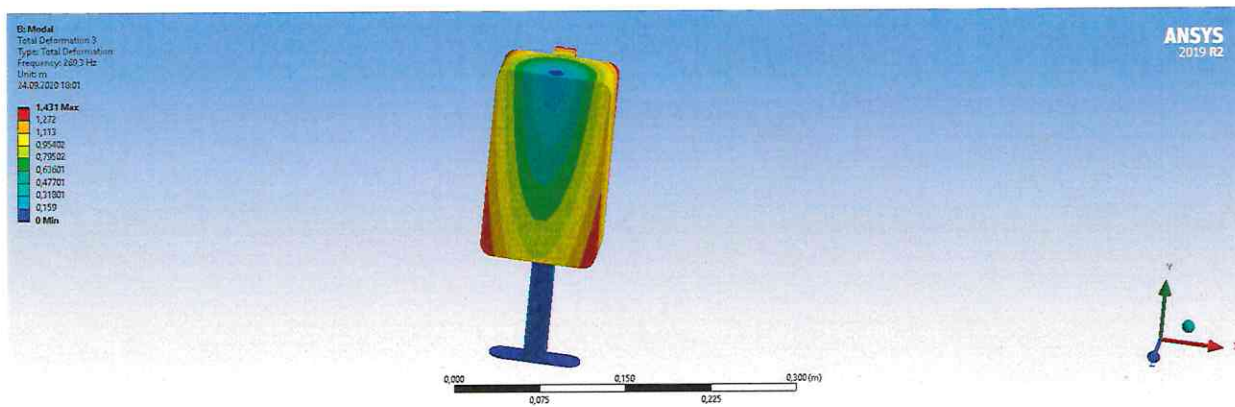


Рис.7 Амплитуда при 3-й форме колебаний [м]

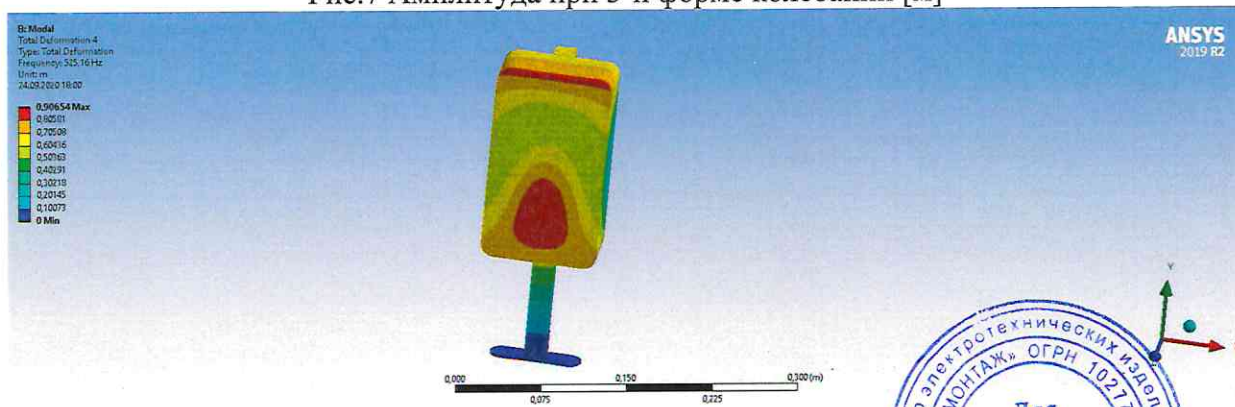


Рис.8 Амплитуда при 4-й форме колебаний [м]



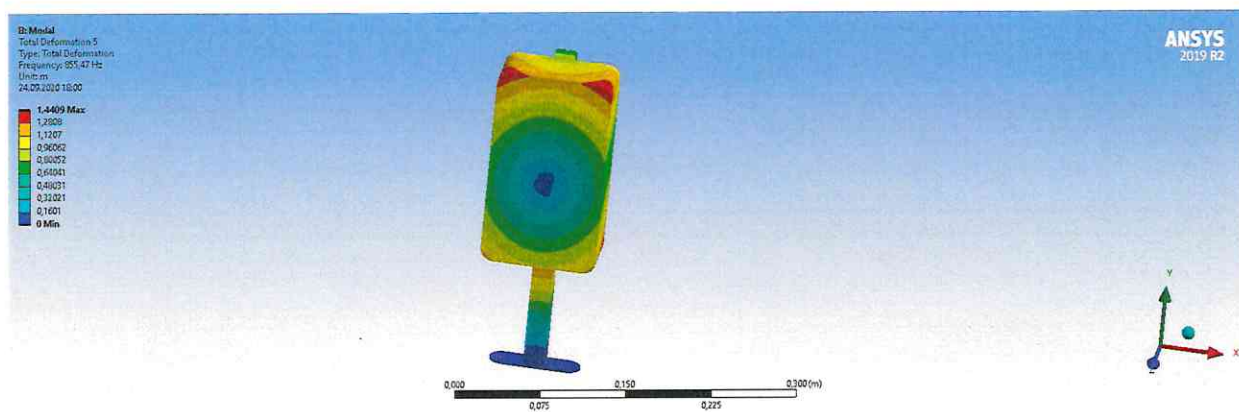


Рис.9 Амплитуда при 5-й форме колебаний [м]

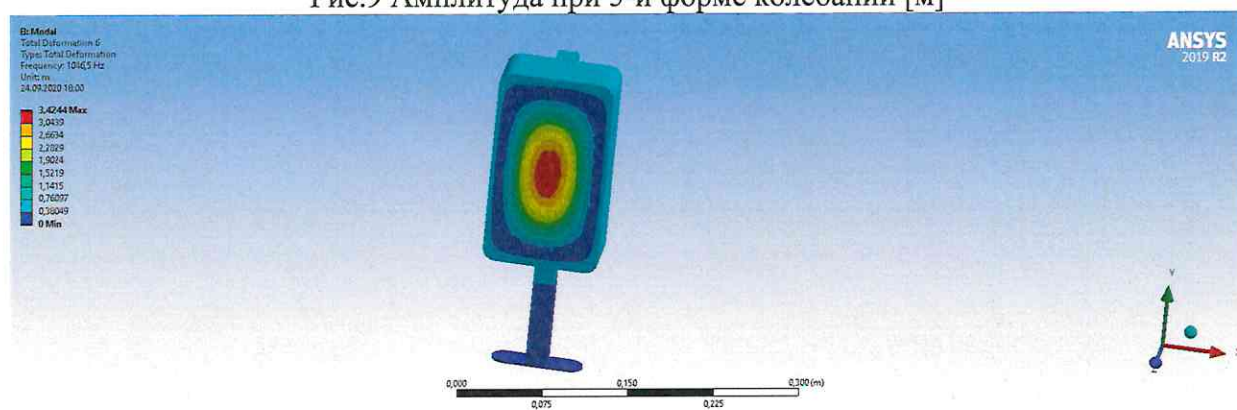


Рис.10 Амплитуда при 6-й форме колебаний [м]



4. 2 Анализ сейсмического воздействия на газоанализатор

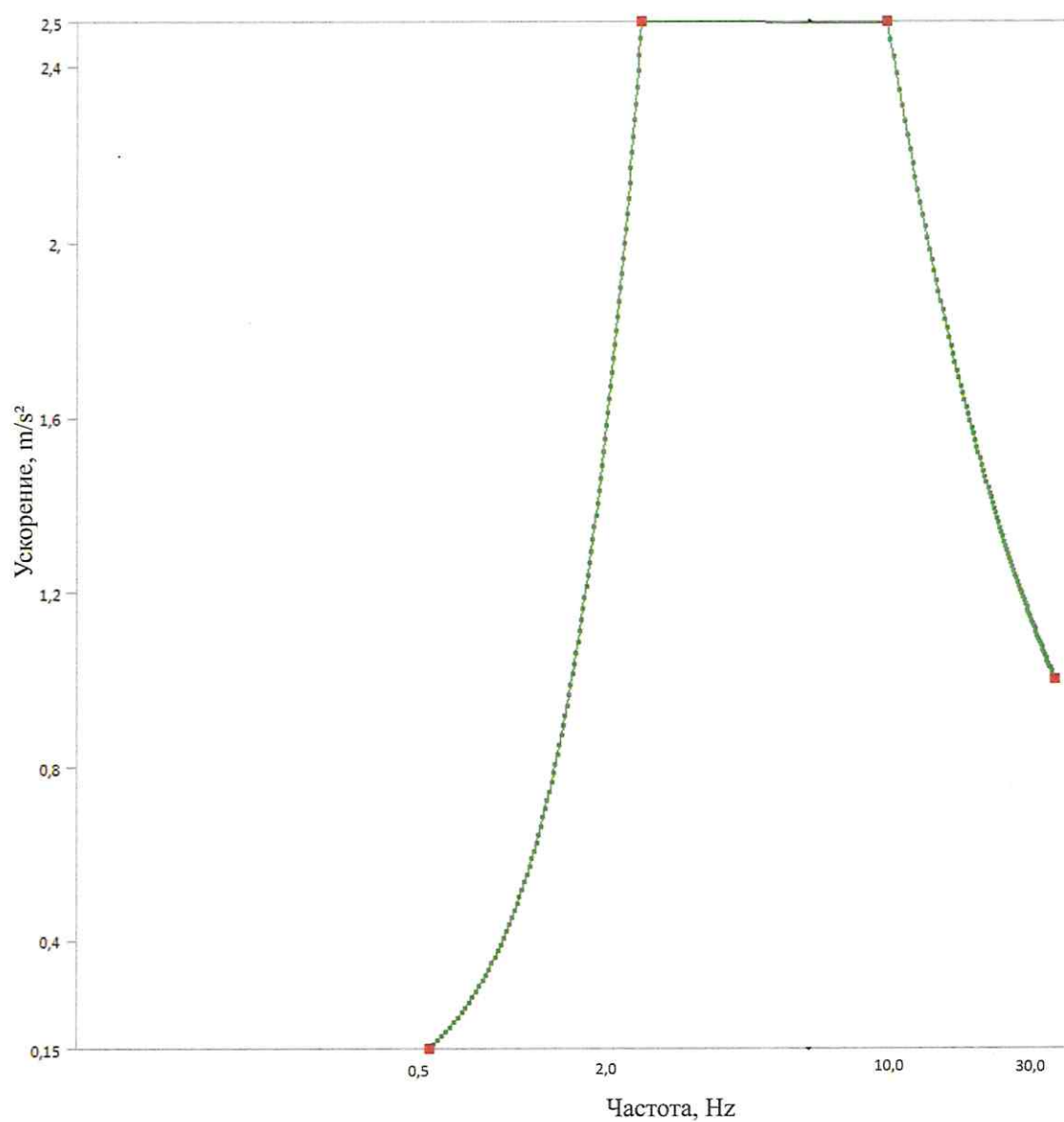


Рис.11 График зависимости между максимальной амплитудой ускорения и частотой синусоидальной вибрации – расчетный спектр воздействия

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



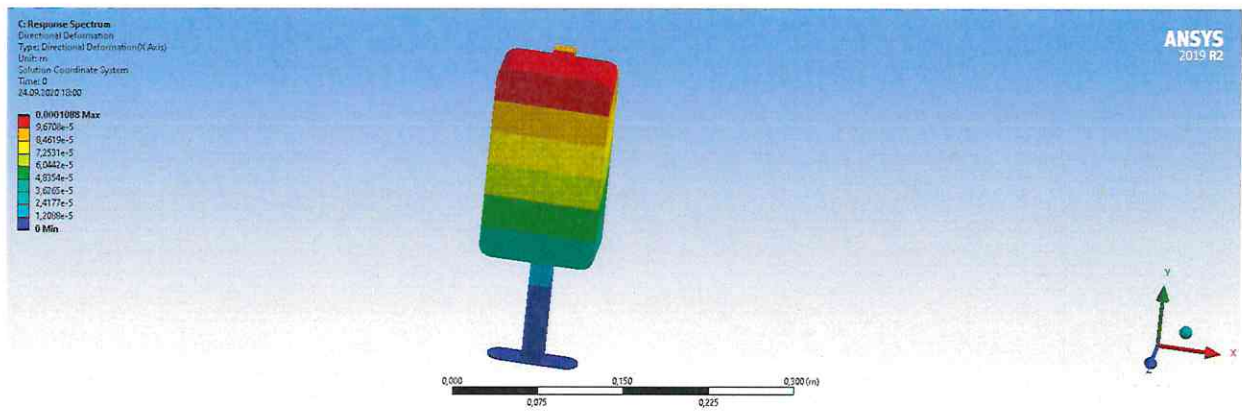


Рис.12 Перемещения по оси X [м]

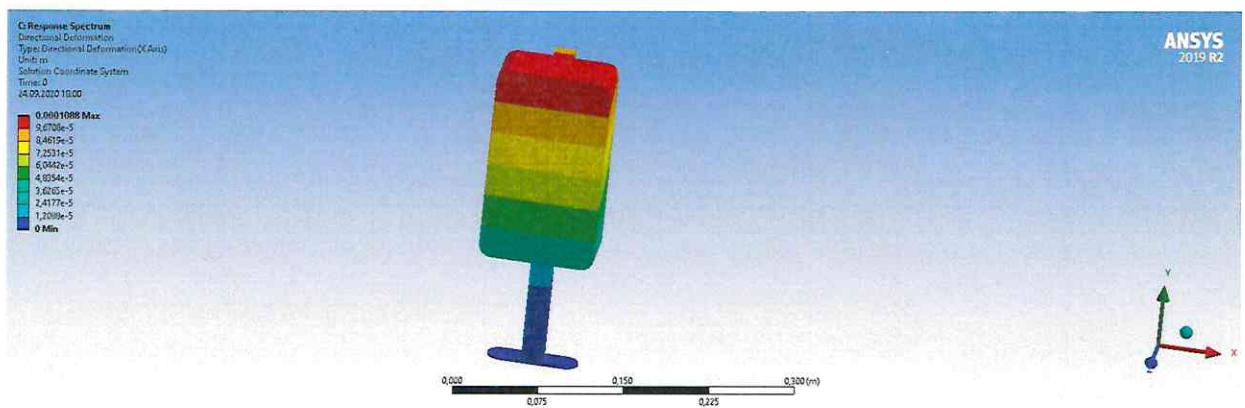


Рис.13 Перемещения по оси Y [м]

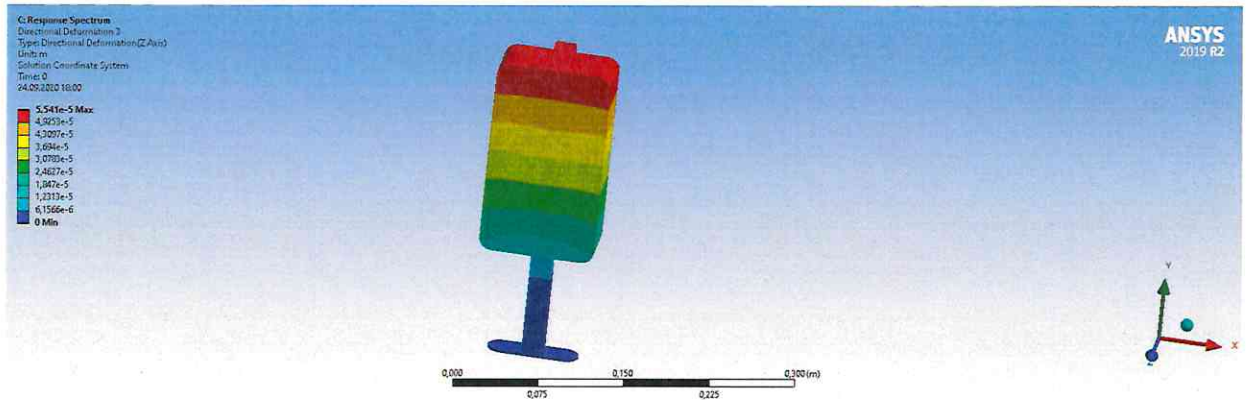


Рис.14 Перемещения по оси Z [м]

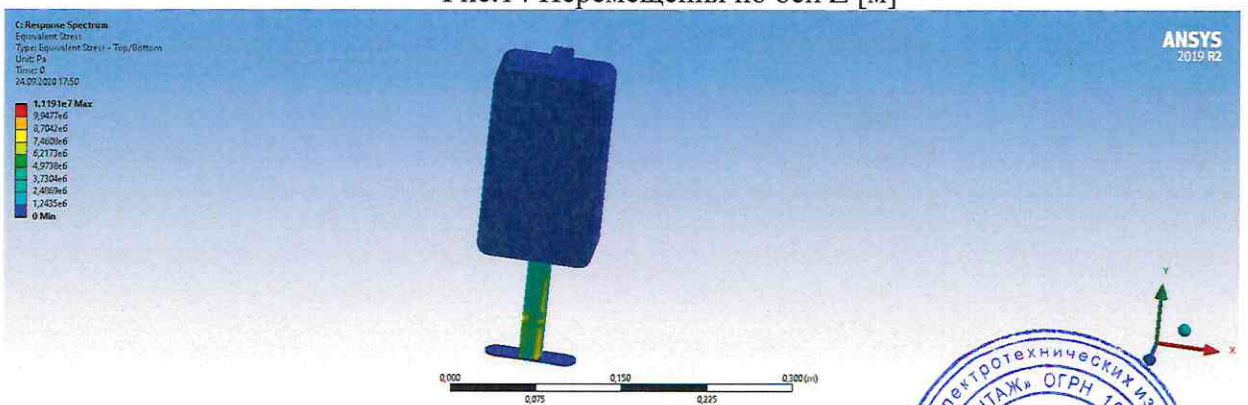


Рис.15 Эквивалентные напряжения [Па]



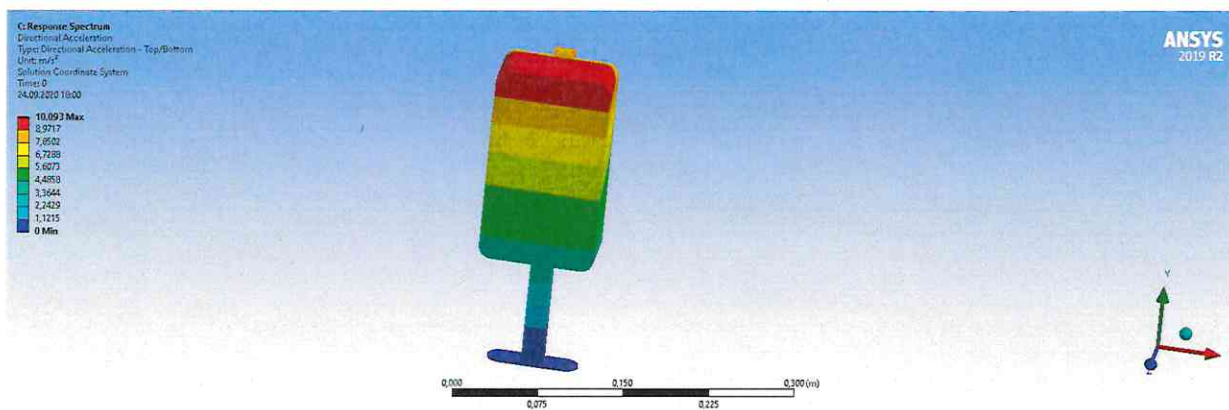


Рис.16 Ускорение по оси X [м/с²]

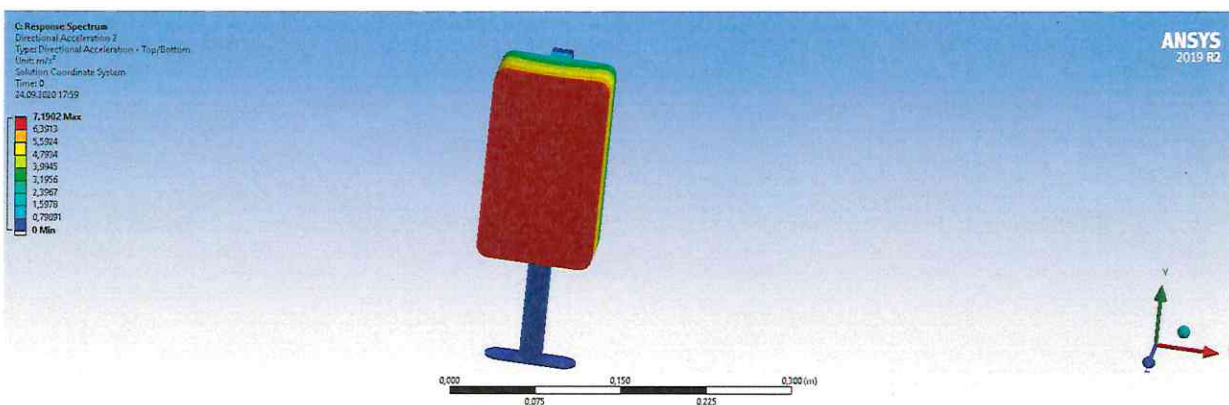


Рис.17 Ускорение по оси Y [м/с²]

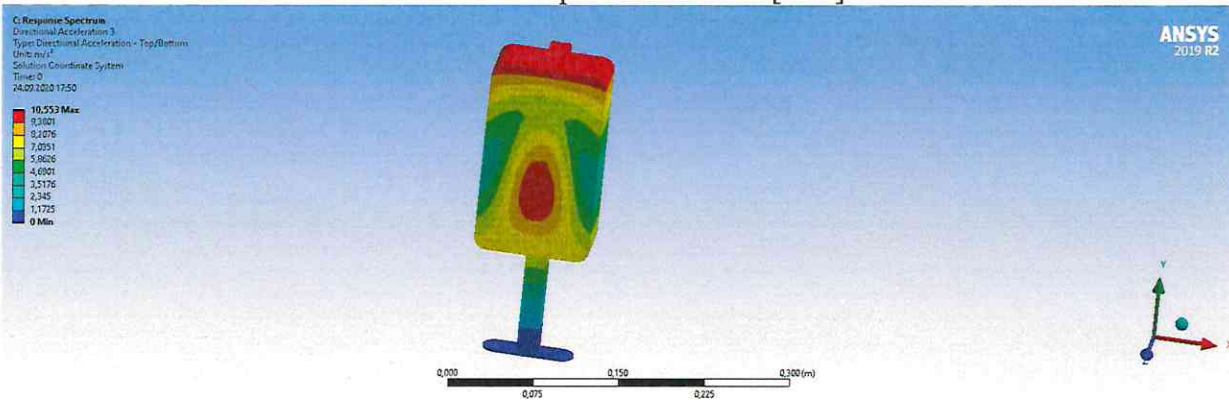


Рис.18 Ускорение по оси Z [м/с²]



4.3 Визуализация коэффициента запаса прочности от сейсмического воздействия

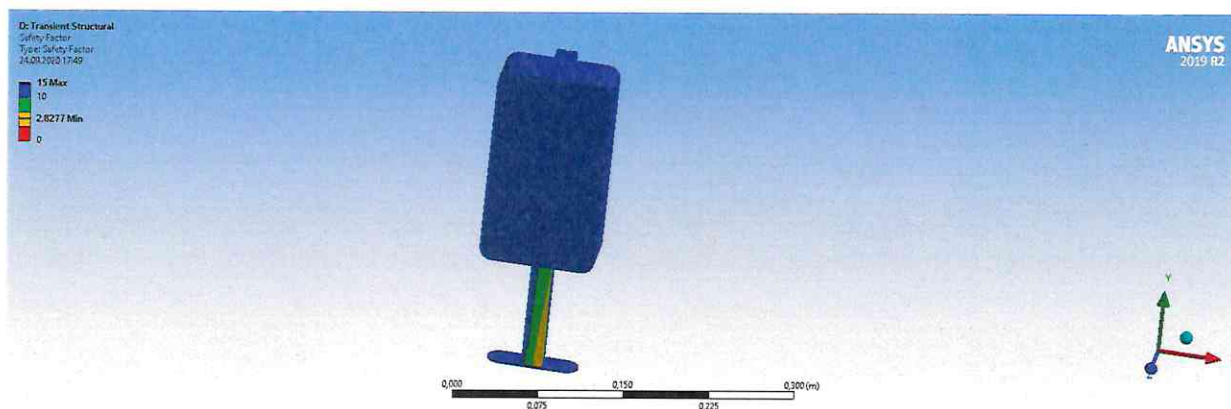


Рис.19 Визуализация коэффициента запаса прочности



5. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Испытание на сейсмическое воздействие на Газоанализаторы стационарные “ИГАС” IR 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 и формы колебаний газоанализатора, сейсмическое воздействие на газоанализатор, визуализация коэффициента запаса прочности;
3. На основании проведенного испытания можно сделать вывод, что прочность Газоанализаторов стационарных “ИГАС” IR от сейсмического воздействия в 9 баллов по шкале MSK-64 обеспечена.



**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 № 140-20/09

Объект испытаний	Газоанализаторы стационарные “ИГАС” IR-2С
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 “Левин Фотоникс” адрес 141190, Московская обл., г. Фрязино, Заводской проезд, дом 2, помещение 704-707
Изготовитель	ООО “Левин Фотоникс” адрес 141190, Московская обл., г. Фрязино, Заводской проезд, дом 2, помещение 704-707
Место проведения испытаний	Общество с ограниченной ответственностью «ПБК» 603093, Россия, Нижегородская область, г. Нижний Новгород, ул. Деловая, 4, помещение 8
Дата проведения испытаний	15.09.2020
Результаты испытаний	См. Приложение 1

Руководитель испытательного центра
электротехнических изделий
«СТРОЙМОНТАЖ»


И.А. Панков
15 сентября 2020 г.

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

Образец Газоанализаторы стационарные "ИГАС" IR-2С, соответствует требованиям безопасности по:
ГОСТ 30546.1-98, ГОСТ 30546.2-98, ГОСТ 30546.3-98 (исполнение сейсмостойкости 9 баллов по шкале MSK-64)

Приложение №1

К протоколу № 140-20/09

Испытание на сейсмическое воздействие
Газоанализаторы стационарные “ИГАС” IR-2С



Содержание

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



1. Общие сведения

Испытание на сейсмическое воздействие Газоанализаторы стационарные «ИГАС» IR-2C 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».

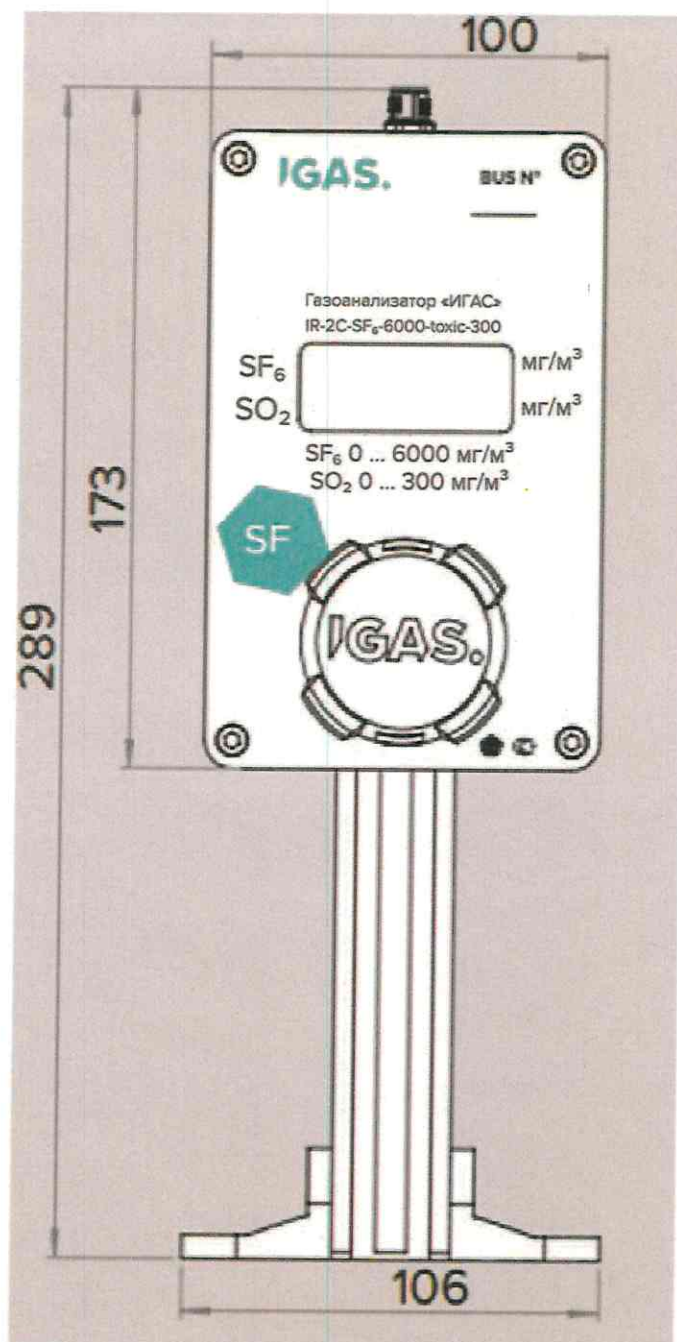


Рис.1 Газоанализаторы стационарные «ИГАС» IR-2C



2. Нагрузки и воздействия, действующие на газоанализатор

На основании технической документации, был смоделирован газоанализатор.

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

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:

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

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);

{ ϵ el} = { ϵ } – { ϵ th} - выходной массив;

{ ϵ } = [ϵ_x ϵ_y ϵ_z ϵ_{xy} ϵ_{xz} ϵ_{yz}]^T - вектор полной (суммарной) деформации;

{ ϵ 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.

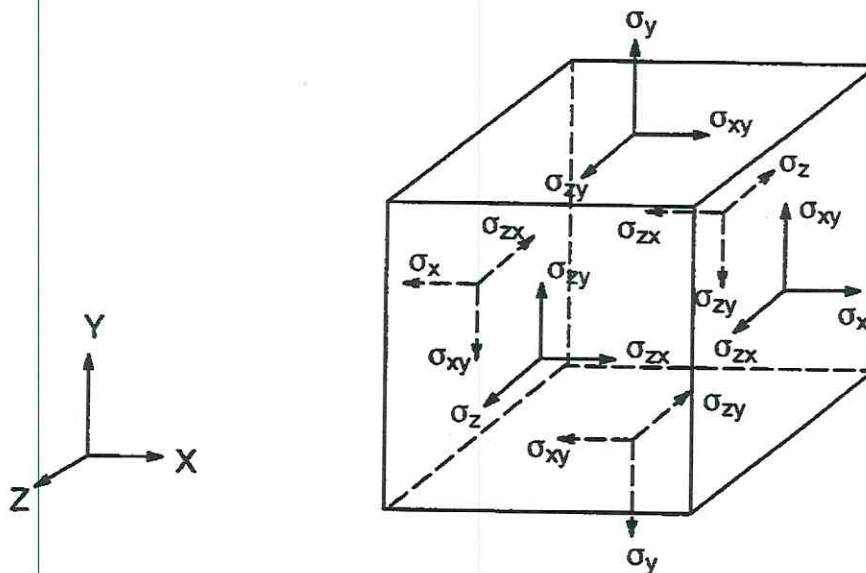


Рис.2 Компоненты вектора напряжений

Уравнение (1) может быть обращено следующим образом:

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

Матрица [D]⁻¹, нормализованная по столбцам, имеет вид:

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

(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:

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

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

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

$$\epsilon_{xy} = \sigma_{xy} / G_{xy}$$

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

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



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 газоанализатора

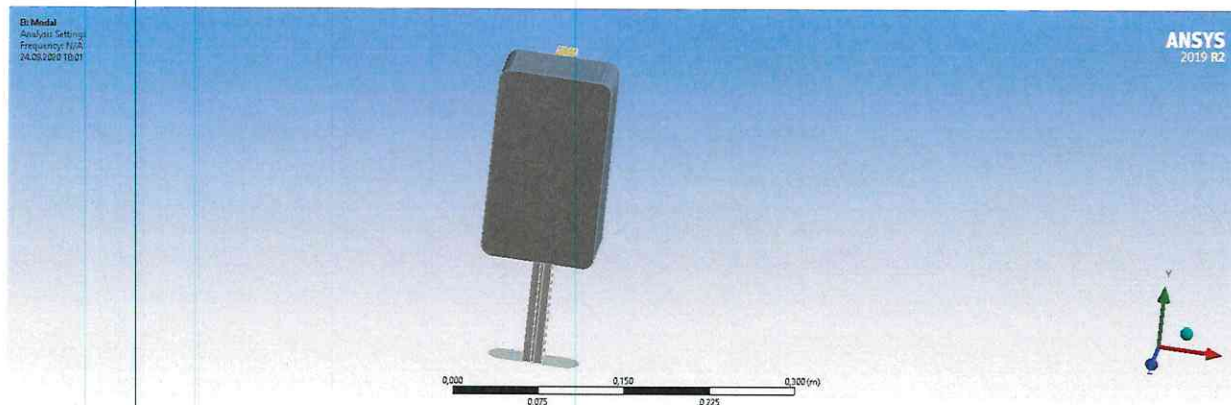


Рис.3 Расчетная аппроксимированная модель

4.1 Определение собственных частот колебаний модели

№ Рис.	Форма колебаний	Частота, Гц
5	1	40,763
6	2	46,853
7	3	269,11
8	4	469,22
9	5	853,33
10	6	1041,9



Рис.4 Гистограмма собственных частот колебаний



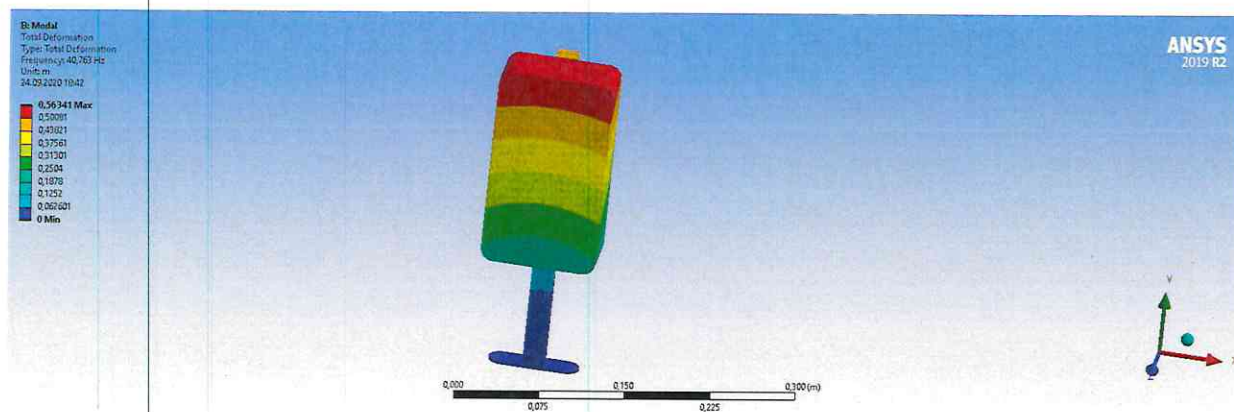


Рис.5 Амплитуда при 1-й форме колебаний [м]

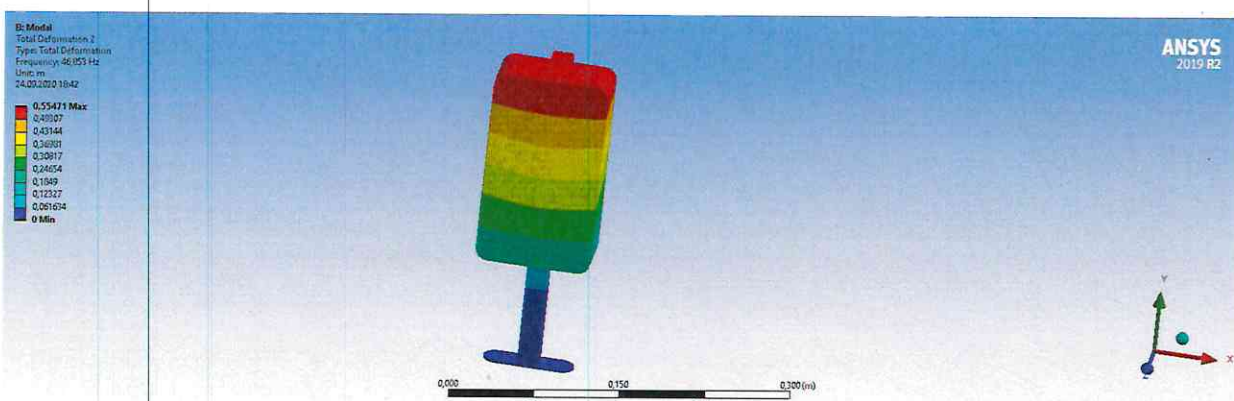


Рис.6 Амплитуда при 2-й форме колебаний [м]

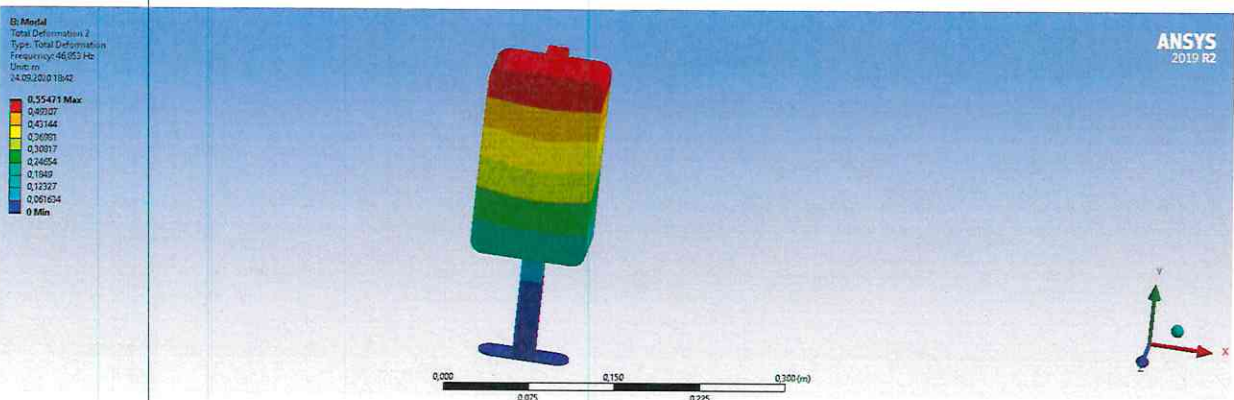


Рис.7 Амплитуда при 3-й форме колебаний [м]

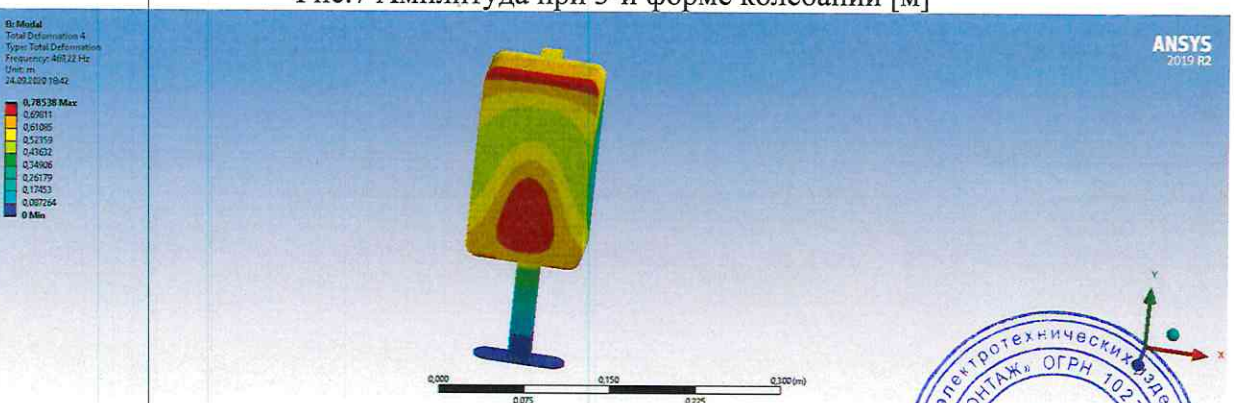


Рис.8 Амплитуда при 4-й форме колебаний [м]



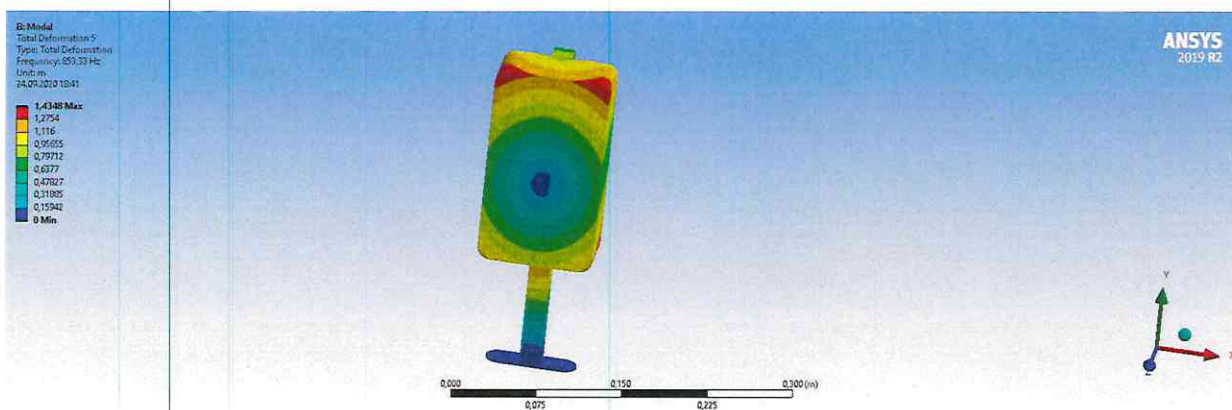


Рис.9 Амплитуда при 5-й форме колебаний [м]

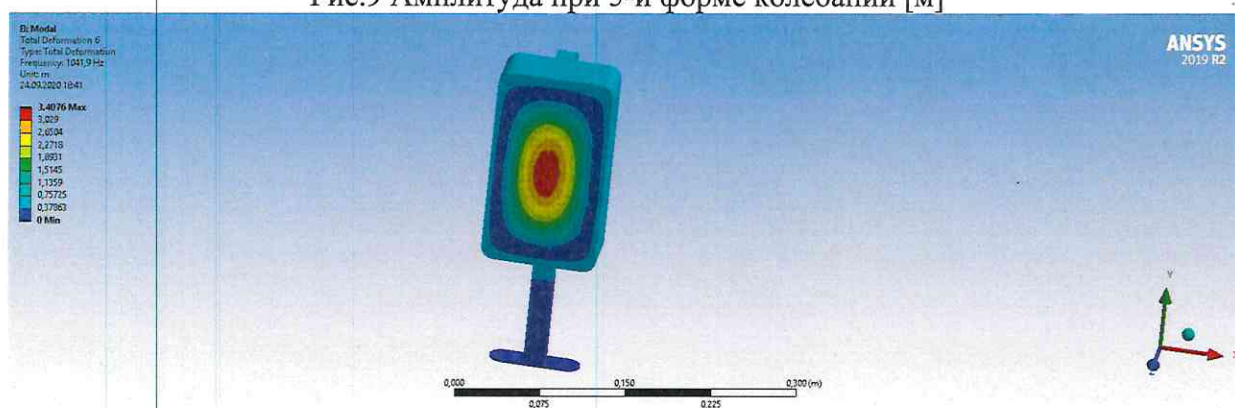


Рис.10 Амплитуда при 6-й форме колебаний [м]



4. 2 Анализ сейсмического воздействия на газоанализатор

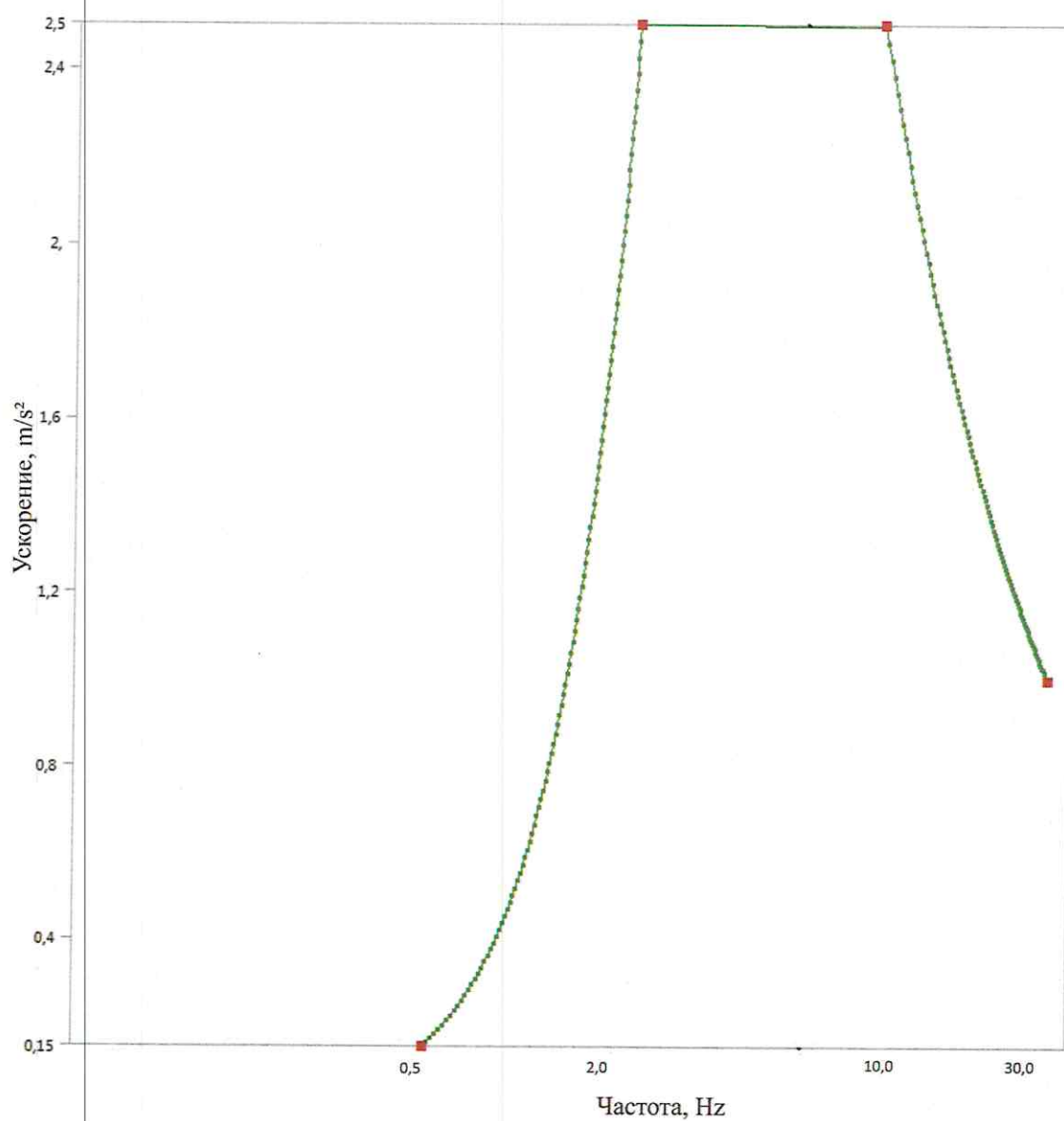


Рис.11 График зависимости между максимальной амплитудой ускорения и частотой синусоидальной вибрации – расчетный спектр воздействия

Частота [Hz]	Ускорение [(m/s²)]
0,5	0,15
2,	2,5
10,	
30,	1,0



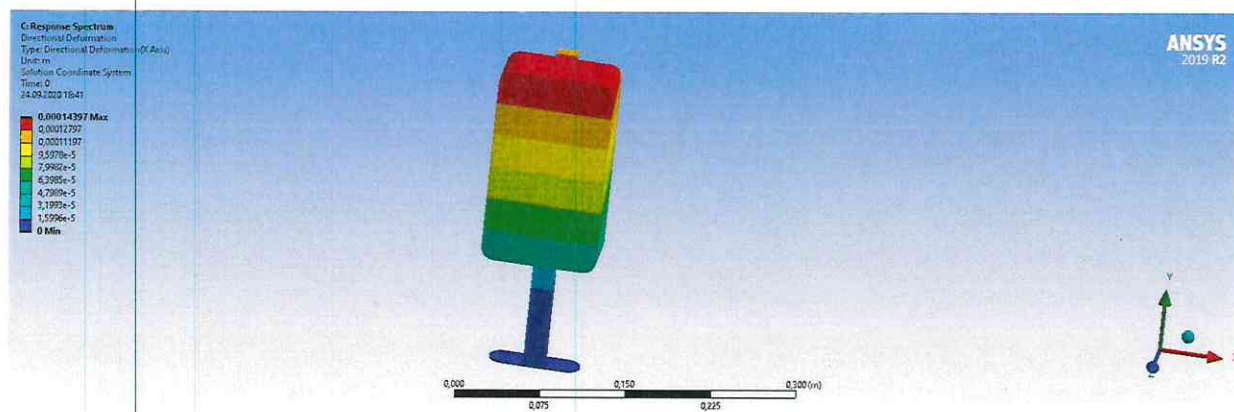


Рис.12 Перемещения по оси X [м]

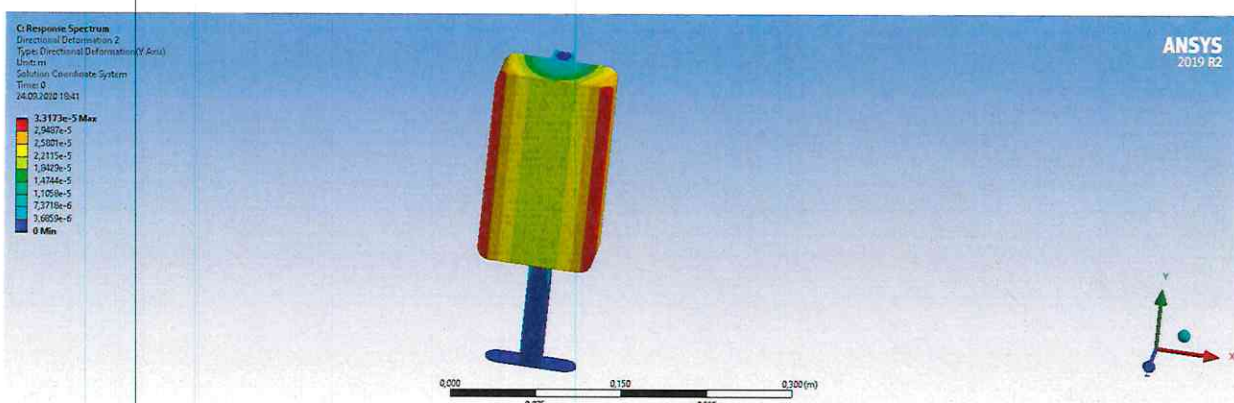


Рис.13 Перемещения по оси Y [м]

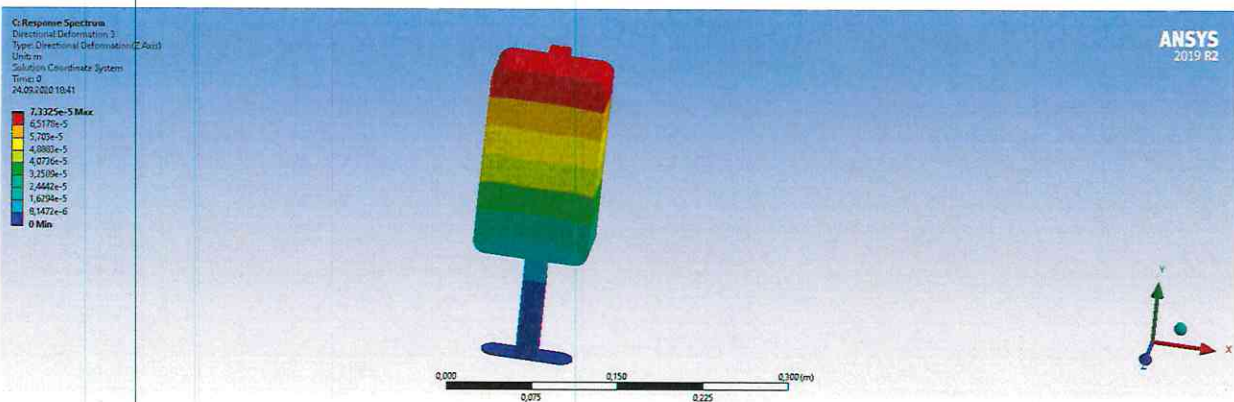


Рис.14 Перемещения по оси Z [м]

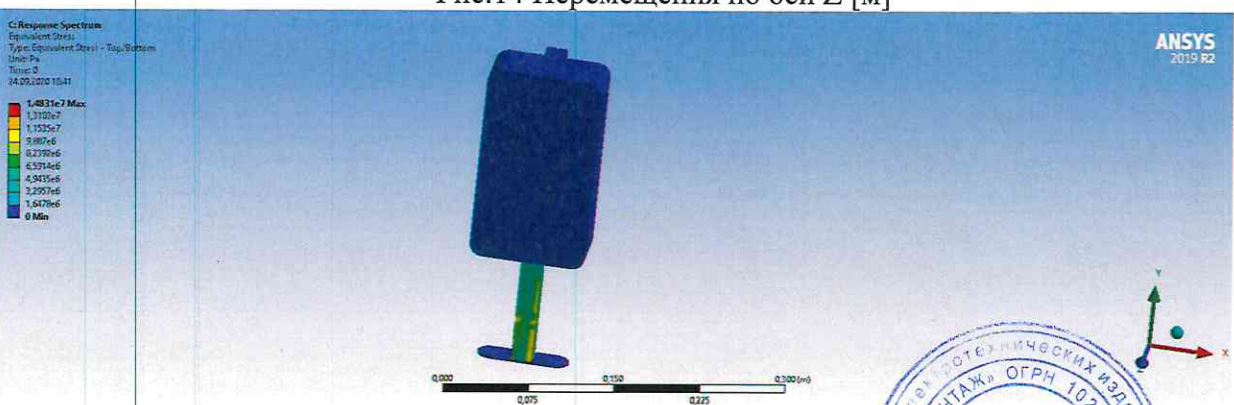


Рис.15 Эквивалентные напряжения [Па]



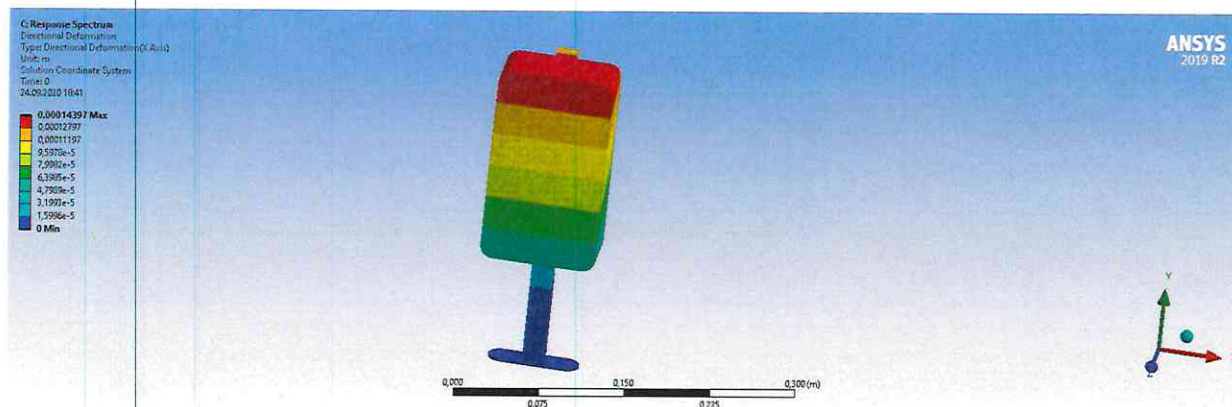


Рис.16 Ускорение по оси X [м/с^2]

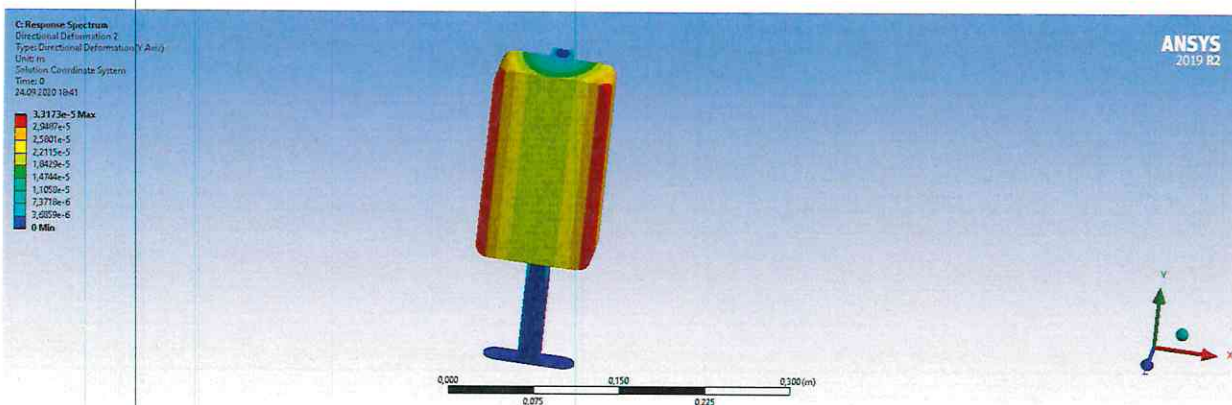


Рис.17 Ускорение по оси Y [м/с^2]

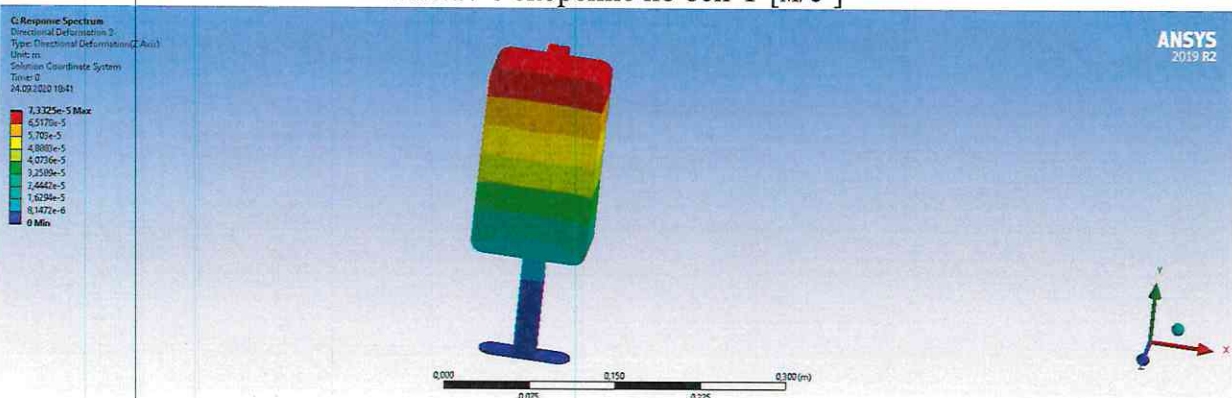


Рис.18 Ускорение по оси Z [м/с^2]



4.3 Визуализация коэффициента запаса прочности от сейсмического воздействия

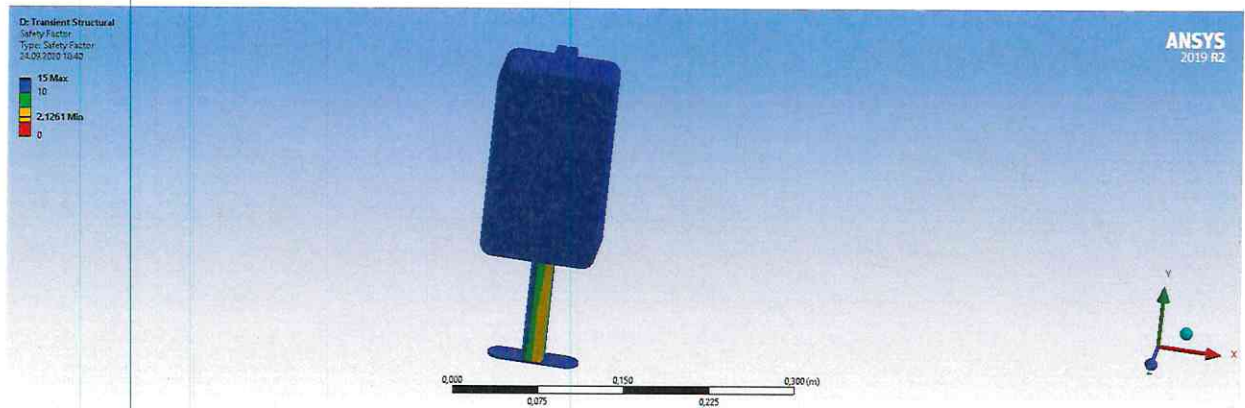


Рис.19 Визуализация коэффициента запаса прочности



5. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Испытание на сейсмическое воздействие на Газоанализаторы стационарные “ИГАС” IR-2С 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 и формы колебаний газоанализатора, сейсмическое воздействие на газоанализатор, визуализация коэффициента запаса прочности;
3. На основании проведенного испытания можно сделать вывод, что прочность Газоанализаторов стационарных “ИГАС” IR-2С от сейсмического воздействия в 9 баллов по шкале MSK-64 обеспечена.

