

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ НА СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ ГОСТ 30546.1-98, ГОСТ 30546.2-98, ГОСТ 30546.3-98 (исполнение сейсмостойкости 9 баллов по шкале MSK-64), СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических райо- нах»;	
Протокол №..... :	776-07/12-B
Дата..... :	30.07.2019
Утвержден (+ подпись)..... :	С.П. Павлов
Испытан (+ подпись)..... :	А.О. Голубев
Испытательный центр..... :	Испытательная лаборатория «ВЕЛЕС» Общества с ограниченной ответственностью «Центр Сертификации «ВЕЛЕС»
Адрес..... :	195009, город Санкт-Петербург, ул. Академика Ле- бедева, д. 12, корп. 2, лит. А, этаж 2, комн. 26
Аттестат аккредитации..... :	№ РОСС RU.31485.04ИДЮ0.006
Срок действия..... :	до 26.08.2023 г.
Место проведения испытаний..... :	195009, город Санкт-Петербург, ул. Академика Ле- бедева, д. 12, корп. 2, лит. А, этаж 2, комн. 26
Вид испытаний..... :	Сертификационные испытания
Заказчик..... :	Общество с ограниченной ответственностью «Арм- стронг Ворлд Индастриз»
Адрес..... :	РФ, 119285, г. Москва, Мосфильмовская ул., 38А
Стандарт..... :	ГОСТ 30546.1-98, ГОСТ 30546.2-98, ГОСТ 30546.3- 98
Испытательная процедура..... :	Моделирование сейсмического воздействия
Тип объекта испытаний..... :	Система подвесных потолков Armstrong Seismic Rx
Тип/модель..... :	
Изготовитель..... :	Общество с ограниченной ответственностью «Арм- стронг Билдинг Продактс»
Адрес..... :	423600, Республика Татарстан, Елабужский муни- ципальный район, муниципальное образование го- род Елабуга, территория ОЭЗ «Алабуга», улица Ш- 2, строение 11/5

Примечания:

В этом протоколе в качестве десятичного разделения используется запятая.

Не допускается частичная перепечатка или копирование протокола без разрешения испытательной лаборатории.

Климатические условия испытаний:

- температура окружающей среды – 20 ± 2 °C
- относительная влажность – 64 ± 5 %
- атмосферное давление – 98 ± 5 КПа
- температура испытательной среды – 20 ± 2 °C

Процедура испытаний

Идентификация изделия	Наименование, тип, маркировка образцов соответствует сопроводительной документации
Проведение испытаний согласно	ГОСТ 30546.1-98, ГОСТ 30546.2-98, ГОСТ 30546.3-98 (исполнение сейсмостойкости 9 баллов по шкале MSK-64), СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах»
Условия проведения испытаний и методика расчета	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.
Испытание изделия	Испытание изделия см. приложение №1

 / Голубев А.О./

Испытание на сейсмическое воздействие
Система подвесных потолков Armstrong Seismic Rx



Содержание

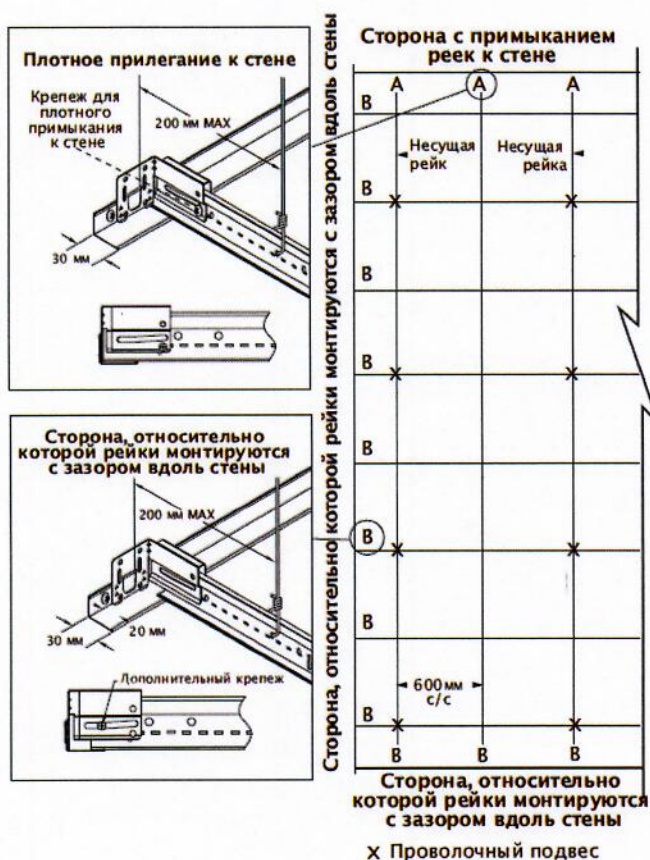
1. Общие сведения.....	3
2. Нагрузки и воздействия, действующие на Armstrong	3
3. Методика расчета	4
4. Расчет Armstrong	8
4.1 Определение собственных частот колебаний Armstrong.....	8
4.2 Анализ сейсмического воздействия на Armstrong:.....	12
4.3 Визуализация коэффициента запаса прочности от сейсмического воздействия	16
5. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	17



1. Общие сведения

Испытание на сейсмическое воздействие Система подвесных потолков Armstrong (далее фальшпол) 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 Система подвесных потолков Seismic Rx Armstrong



2. Нагрузки и воздействия, действующие на систему потолков Seismic Rx Armstrong

На основании технической документации, был смоделирован участок Armstrong.

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

1. собственный вес с коэффициентом – 1,1;

2. Эксплуатационная нагрузка
3. 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:

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

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;

$\{\varepsilon_{th}\}$ – 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.

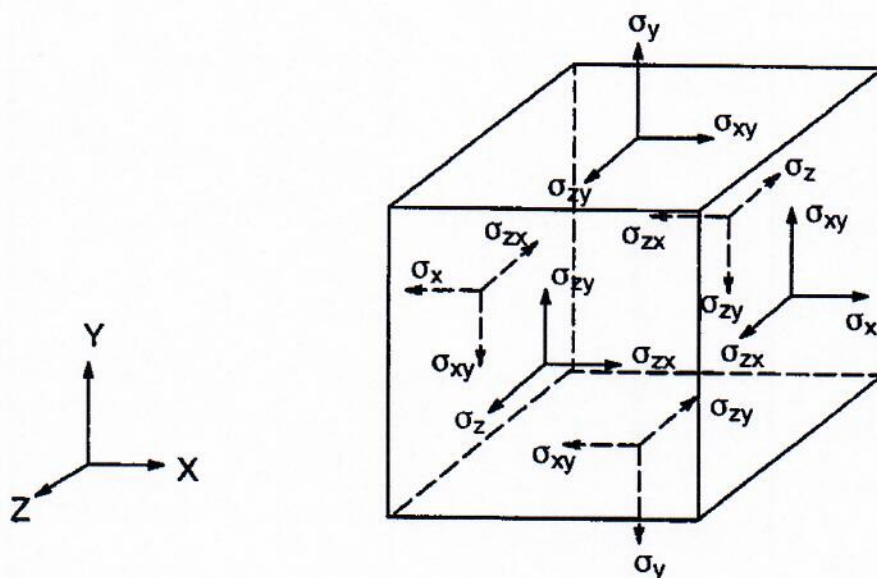


Рис. 2. - Компоненты вектора напряжений

Уравнение (1) может быть обращено следующим образом:

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

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 нормализация по строкам, матрица записывается следующим образом:

$$\begin{vmatrix} 1/E_x & -\nu^*_{xy}/E_y & -\nu^*_{xz}/E_z & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$



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

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:

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

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

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

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

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

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 системы потолков Seismic Rx Armstrong

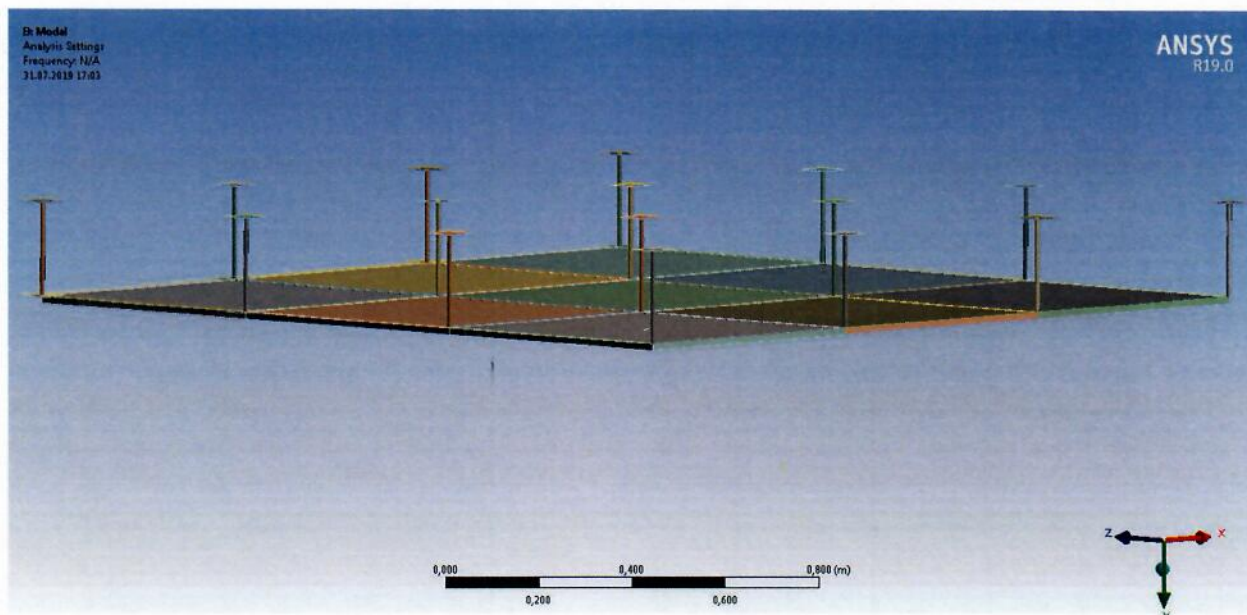


Рис. 2 Расчетная аппроксимированная модель

4.1 Определение собственных частот колебаний Armstrong

№ Рис.	Форма колебаний	Частота , Гц
4	1	15,468
5	2	15,477
6	3	155,59
7	4	167,69
8	5	171,59
9	6	185,03

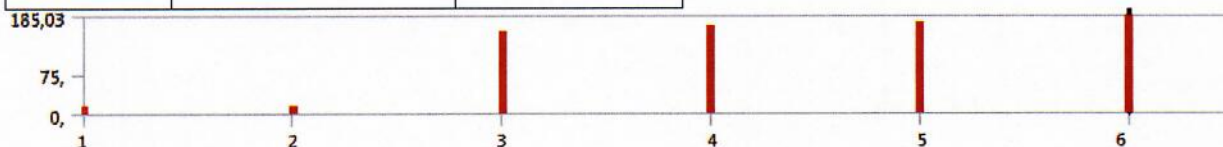
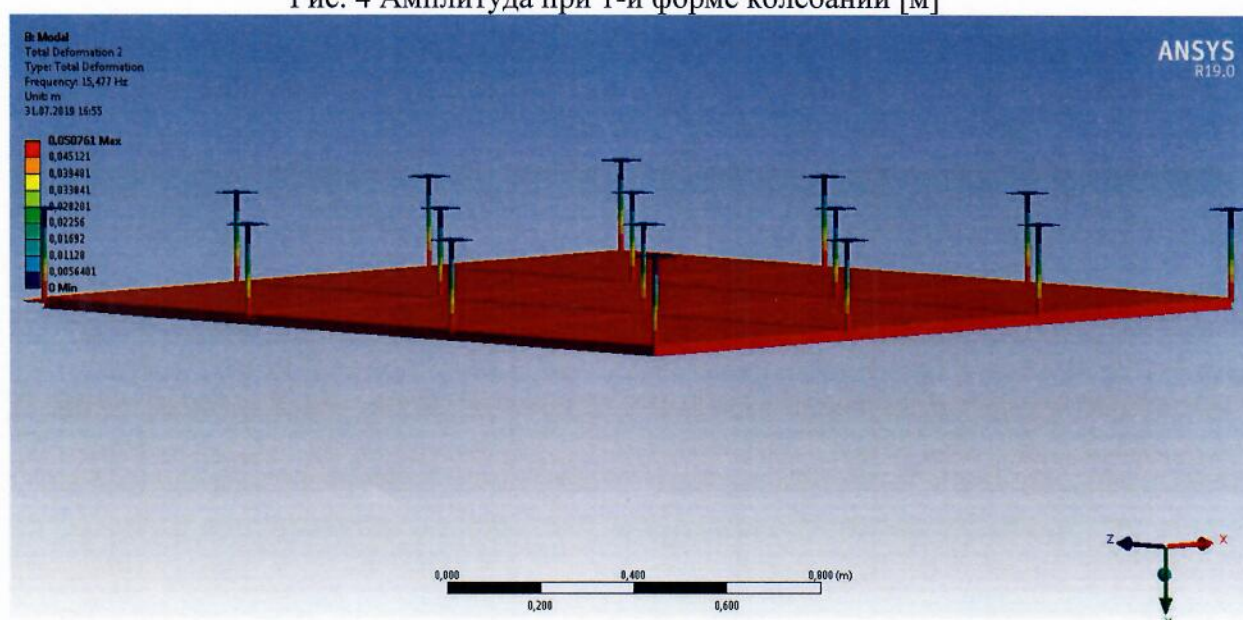
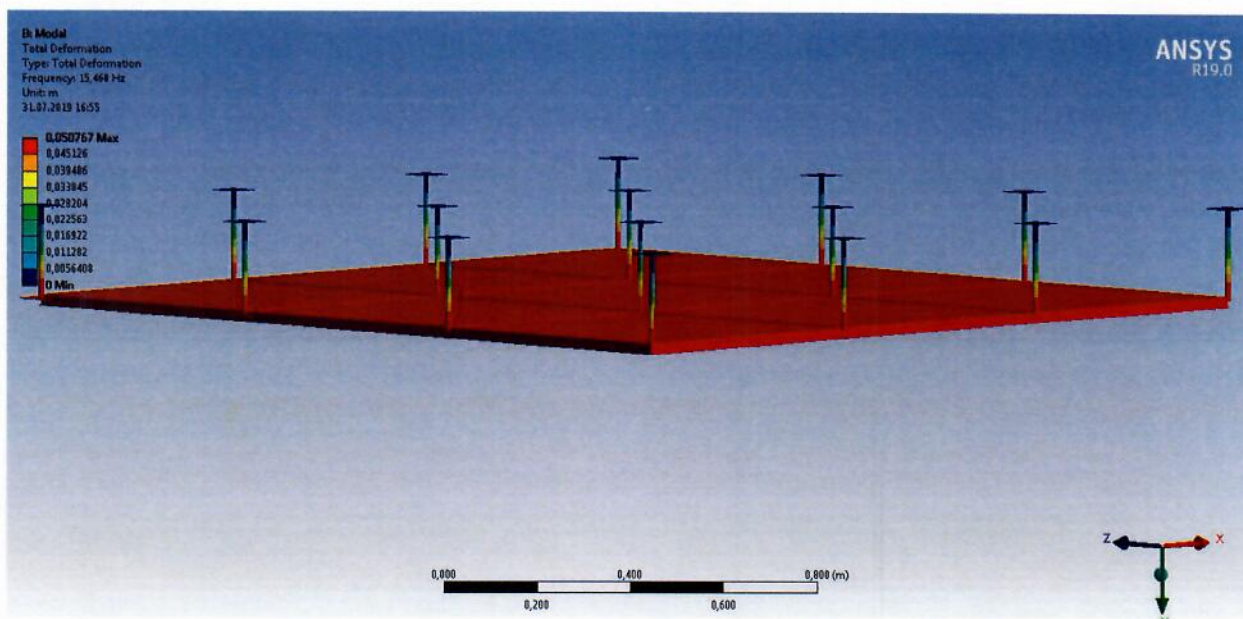


Рис. 3 Гистограмма собственных частот колебаний





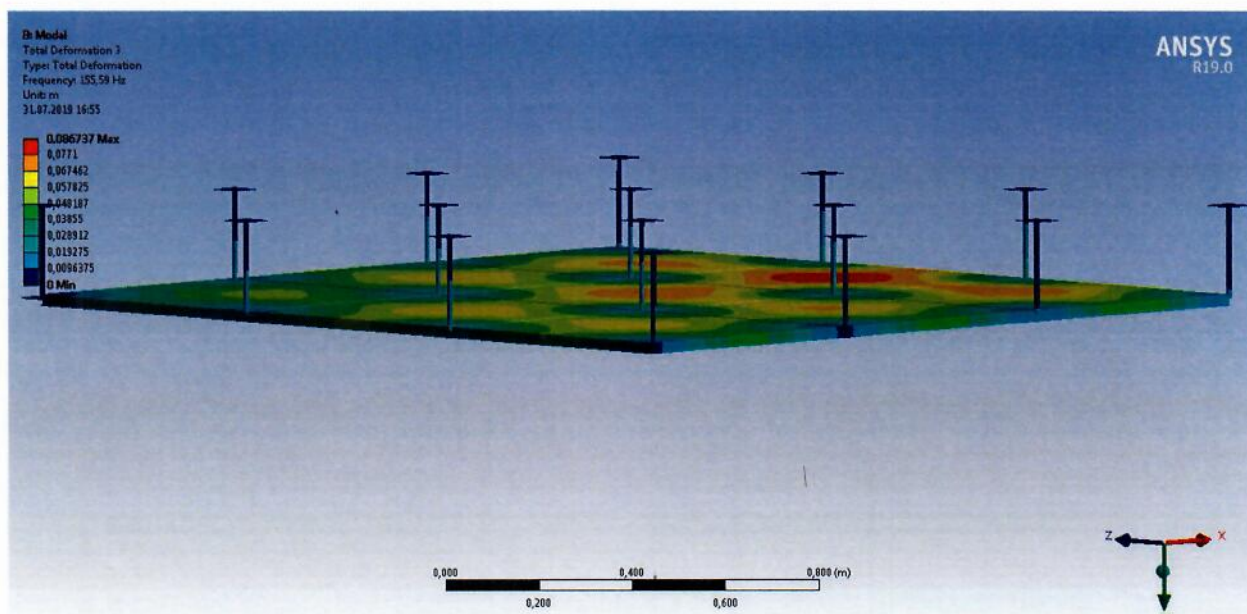


Рис. 6 Амплитуда при 3-й форме колебаний [м]

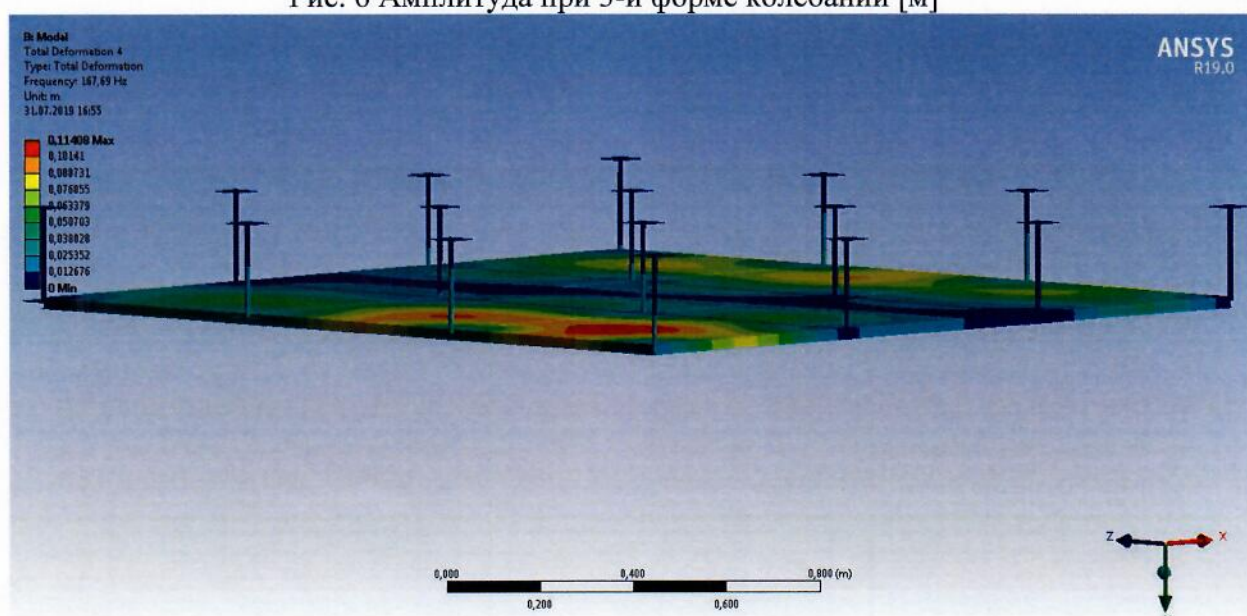


Рис. 7 Амплитуда при 4-й форме колебаний [м]

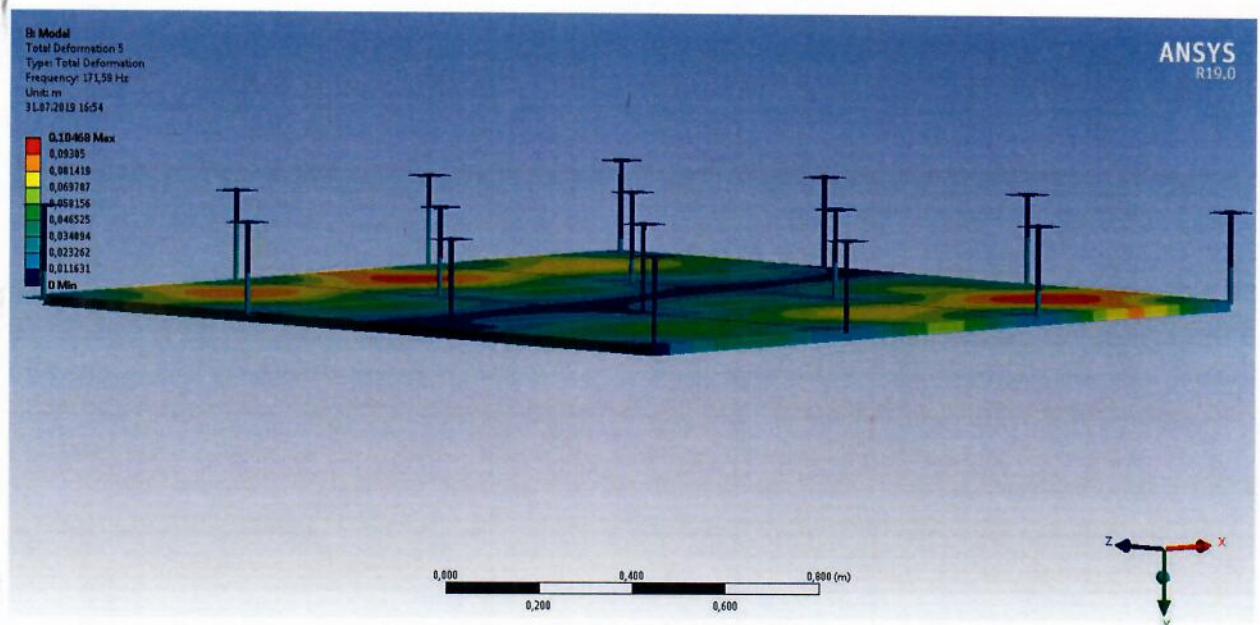


Рис. 8 Амплитуда при 5-й форме колебаний [м]

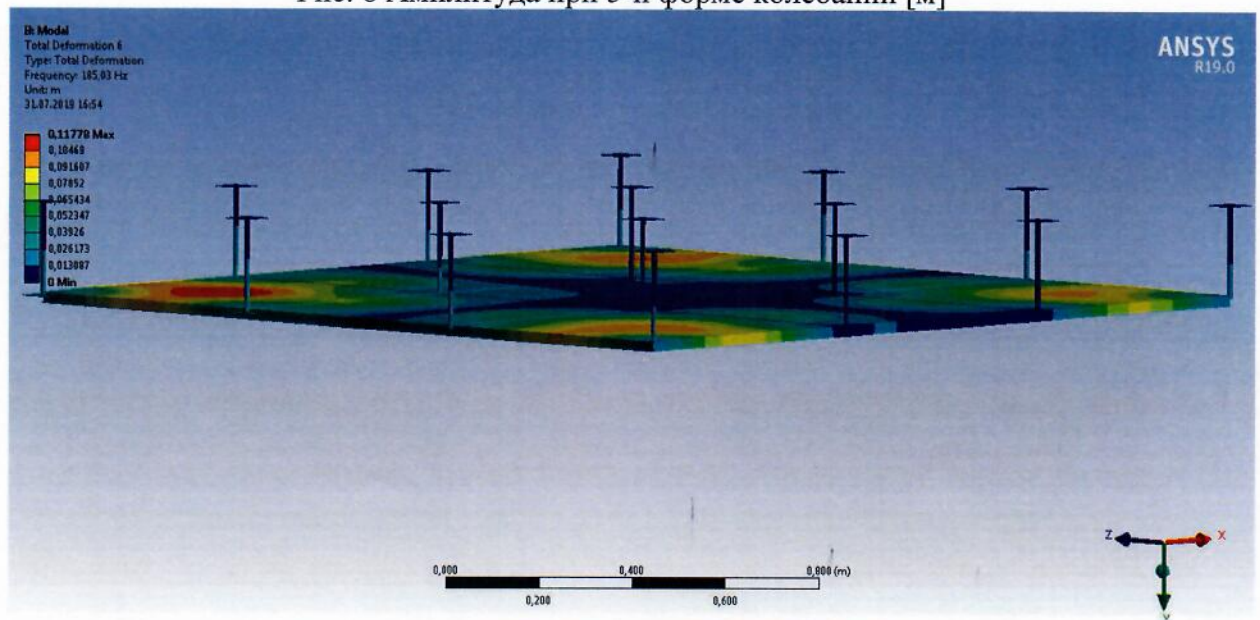


Рис. 9 Амплитуда при 6-й форме колебаний [м]



4.2 Анализ сейсмического воздействия на систему потолков Seismic Rx Armstrong:

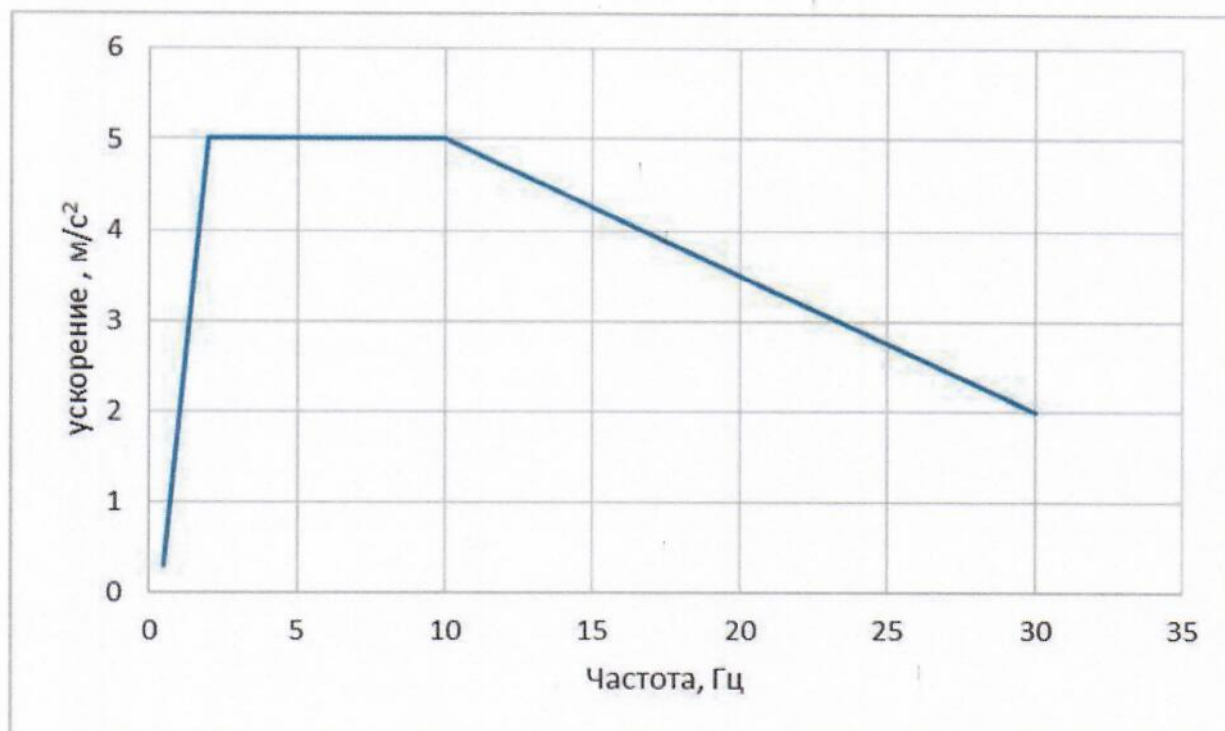


Рис.10 График зависимости между максимальной амплитуды ускорения и частотой синусоидальной вибрации – расчетный спектр воздействия

Частота [Hz]	Ускорение [(m/s²)]
0,5	0,3
2,	5,0
10,	
30,	2,0



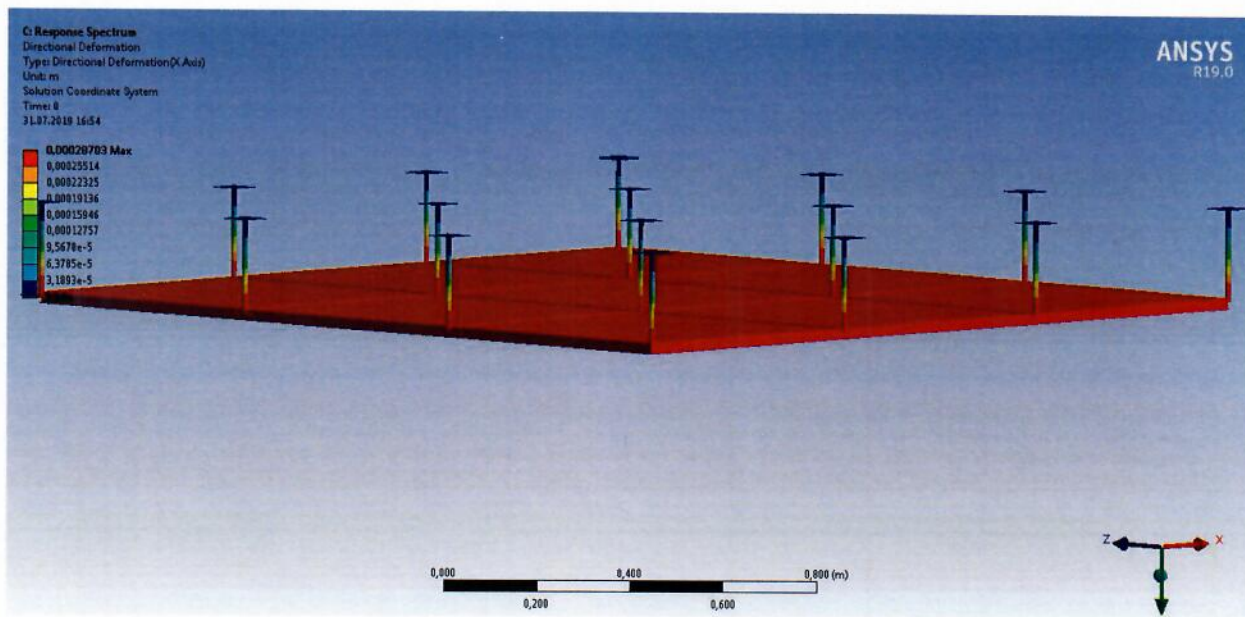


Рис. 11 Перемещения по оси X [м]

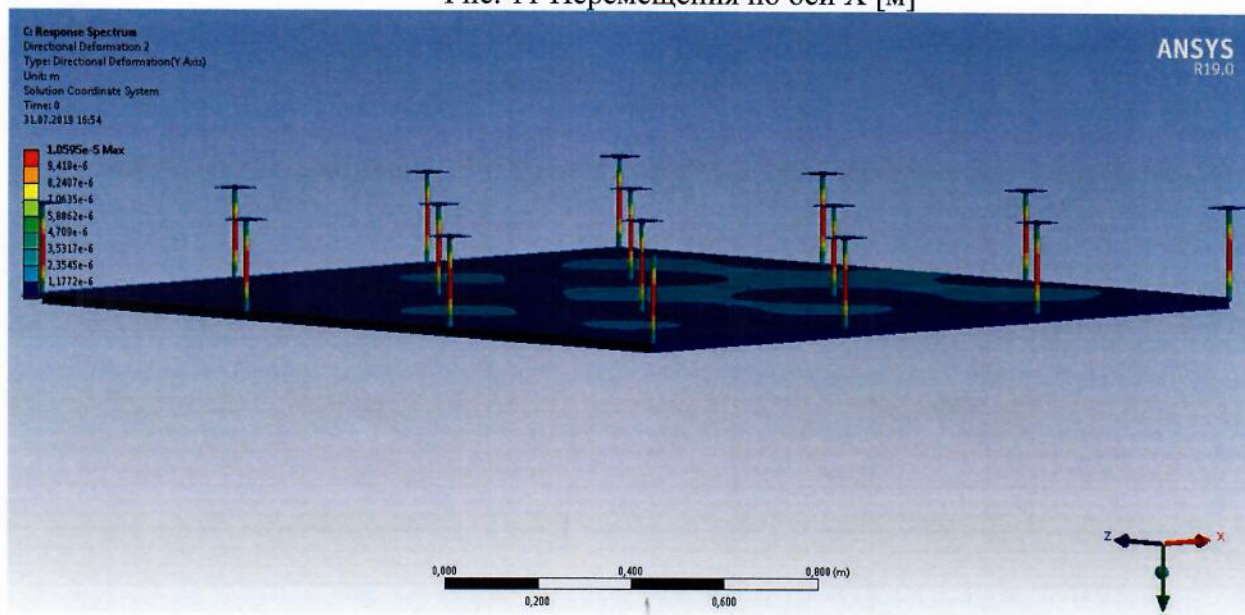


Рис. 12 Перемещения по оси Y [м]



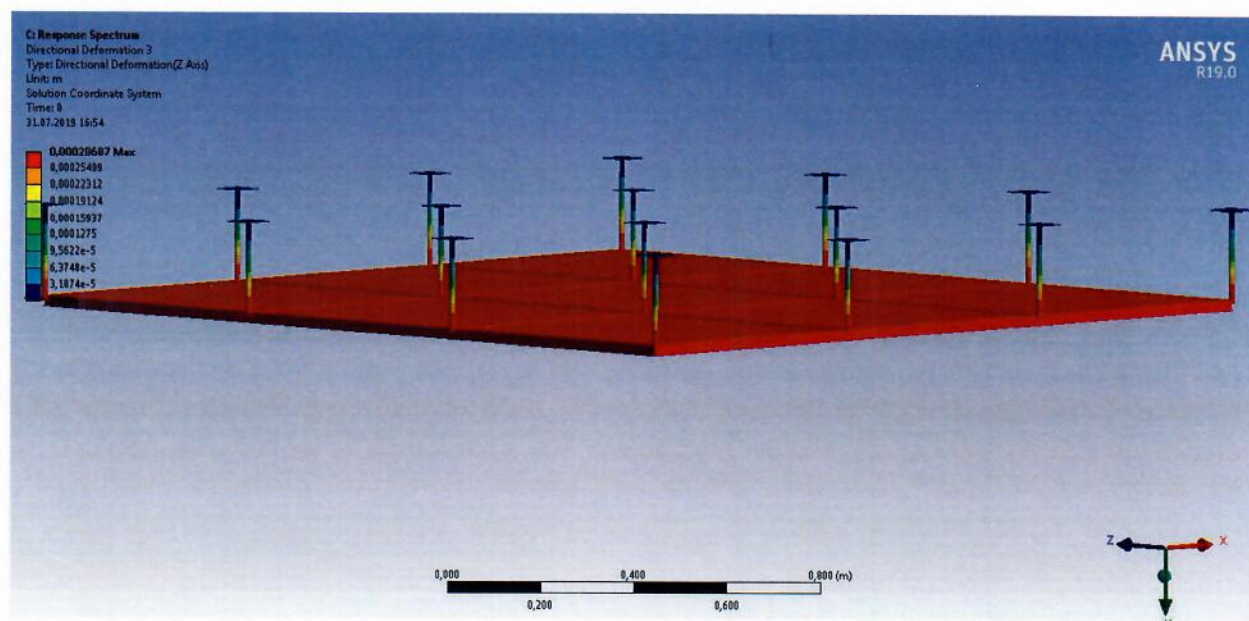


Рис. 13 Перемещения по оси Z [м]

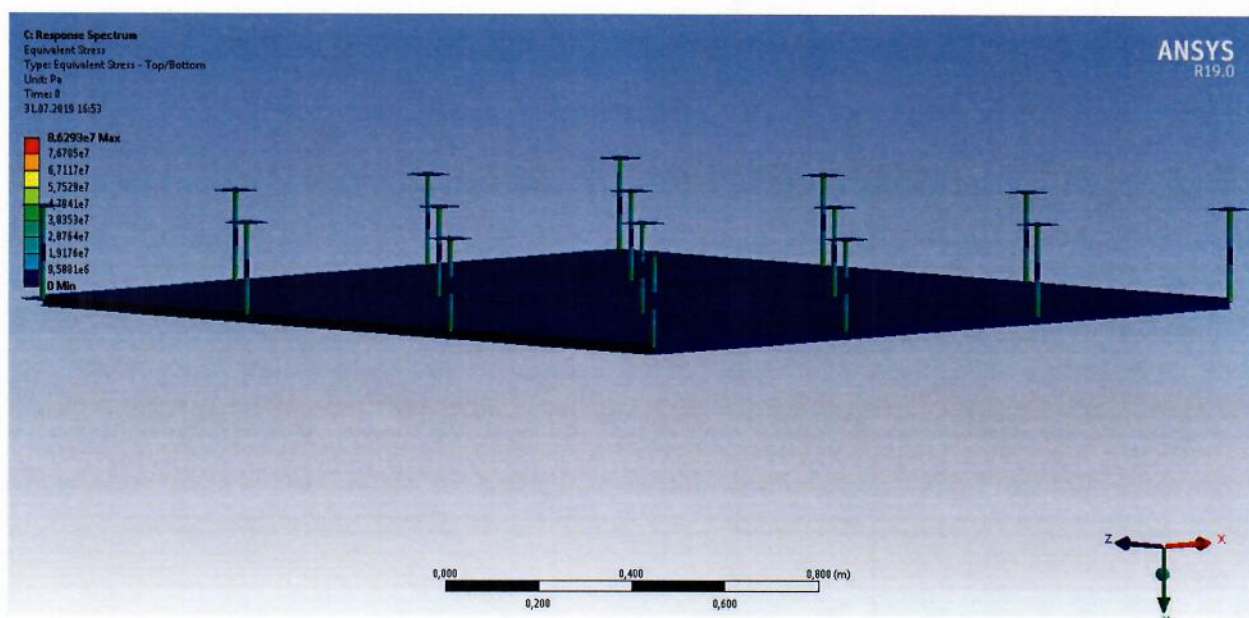


Рис. 14 Эквивалентные напряжения [Па]

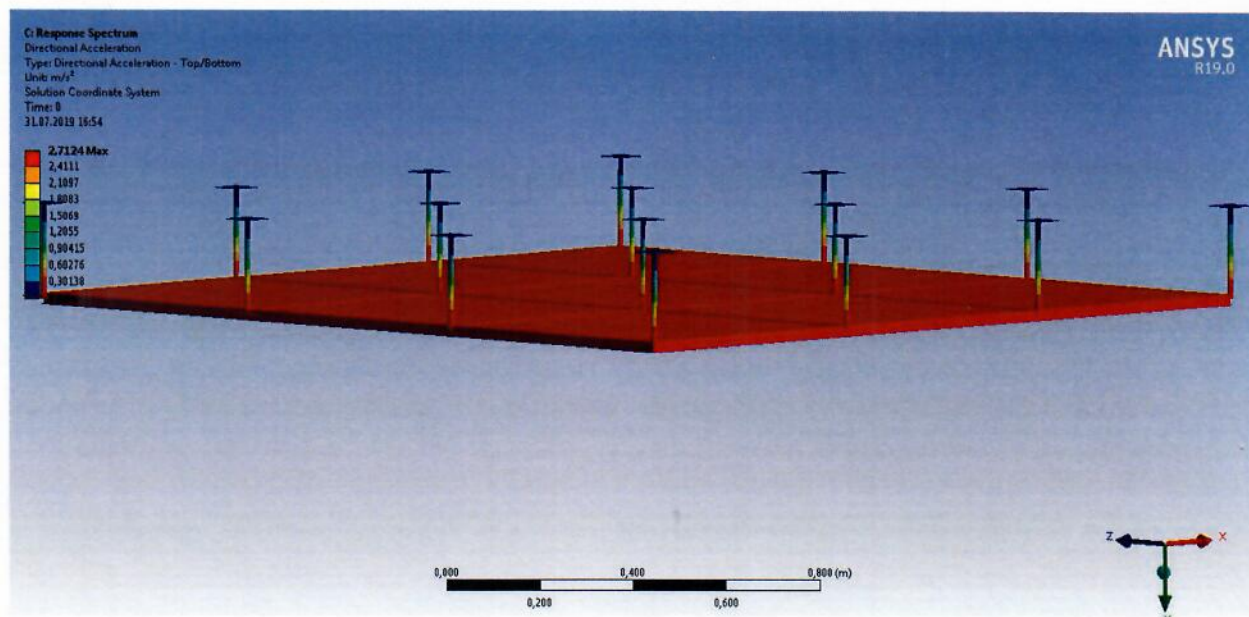


Рис. 15 Ускорение по оси X [м/с²]

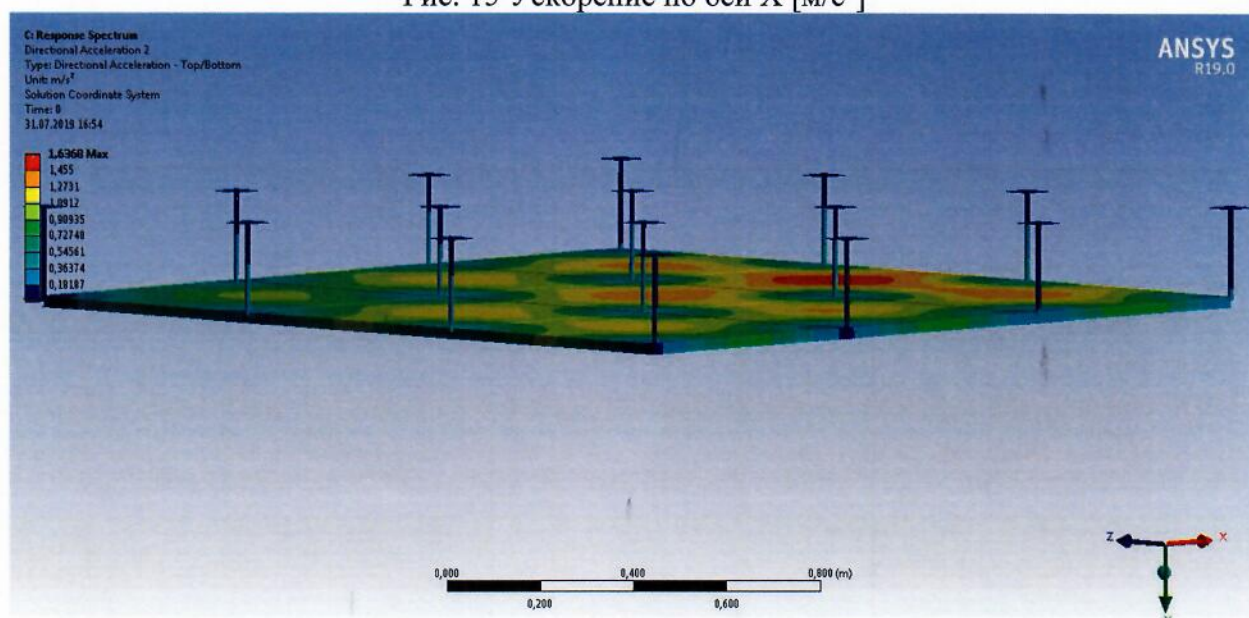


Рис. 16 Ускорение по оси Y [м/с²]

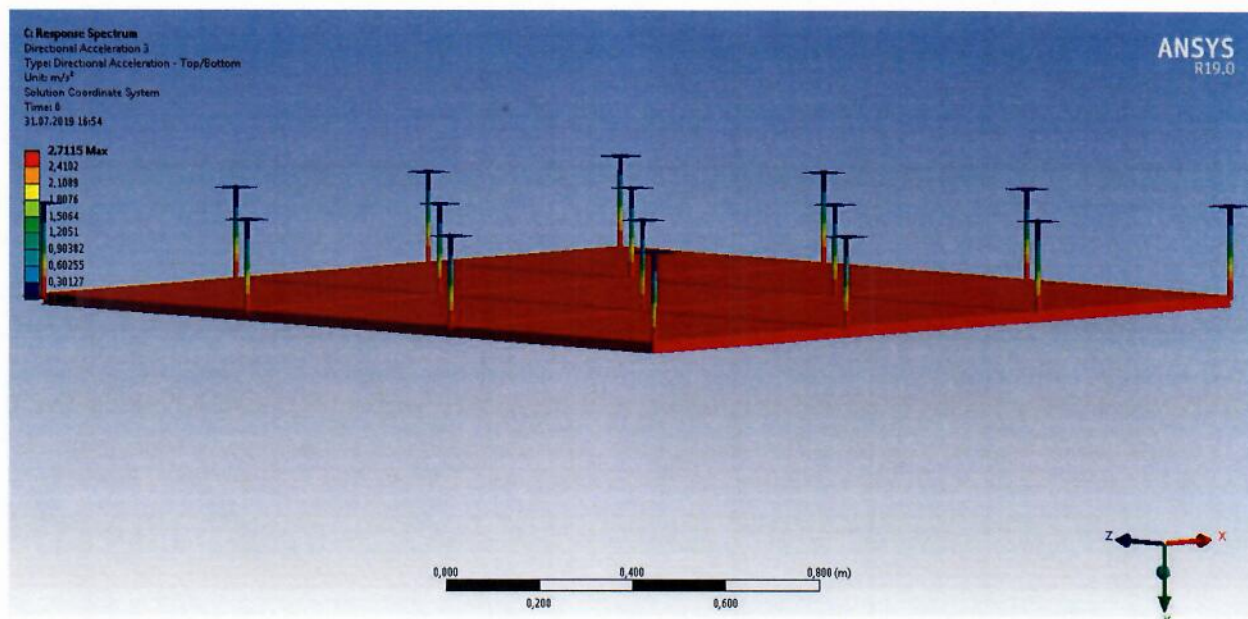


Рис. 17 Ускорение по оси Z [м/с²]

4.3 Визуализация коэффициента запаса прочности от сейсмического воздействия

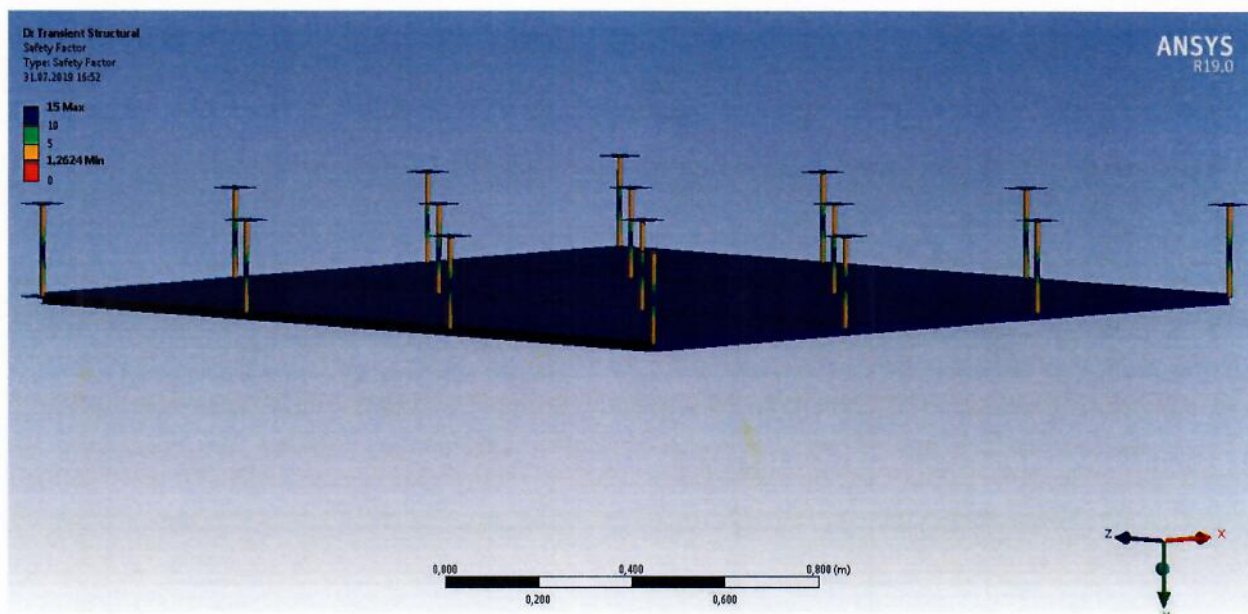


Рис.18 Визуализация коэффициента запаса прочности



5. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Испытание на сейсмическое воздействие Система подвесных потолков Armstrong 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 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах»; НП-031-01 «Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций», II категории сейсмостойкости.
2. В испытании представлены: собственные частоты колебаний Armstrong, сейсмическое воздействие на Armstrong, визуализация коэффициента запаса прочности;
3. На основании проведенного испытания можно сделать вывод, что прочность систем подвесных потолков Seismic Rx Armstrong от сейсмического воздействия в 9 баллов по шкале MSK-64 обеспечена.

