

**Испытательная лаборатория  
ИЛ «ЭС-Тест»**

<b>ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ</b>	
<b>ГОСТ 30546.1-98, ГОСТ 30546.2-98, ГОСТ 30546.3-98 (исполнение сейсмостойкости 9 баллов по шкале MSK-64)</b>	
Номер протокола испытаний.....:	098-05/07-ЭСТ
Дата .....	07.05.2018 г.
Испытатель .....	Балакин В.В. -----
Руководитель лаборатории .....	Павлов С. П. -----
Испытательная лаборатория .....	Испытательная лаборатория «ЭС-Тест» Аттестат аккредитации № РОСС RU.31485.04ИДЮ0.005 Аккредитован 02 апреля 2018 г. на срок действия до 01 апреля 2023г.
Адрес .....	305000, г. Курск, ул. Почтовая, д. 23, помещение 8
Место проведения испытаний .....	ИЛ «ЭС-Тест»
Заказчик испытаний .....	ООО «ЦЕНТР РАЗРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЙ «ИМПУЛЬС»
Адрес .....	125171, РФ, г. Москва, Ленинградское ш., д. 8, корпус 2
Наименование продукции .....	Источник бесперебойного питания «ИМПУЛЬС»
Код ОКПД2.....	27.90.40.190
Модель / Тип .....	
Серийный номер .....	
Изготовитель .....	ООО «ЦЕНТР РАЗРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЙ «ИМПУЛЬС»
Адрес изготовителя .....	125171, РФ, г. Москва, Ленинградское ш., д. 8, корпус 2
Наименование документации, по которой изготовлено изделие.....:	ТУ 29.90.40-09931023-008-2017
Серийное производство или партия про- дукции .....	Серийный выпуск
Испытано согласно требованиям ....:	ГОСТ 30546.1-98, ГОСТ 30546.2-98, ГОСТ 30546.3-98 (исполнение сейсмостойкости 9 баллов по шкале MSK-64)
Цель испытаний.....:	Сертификация продукции.
Метод испытаний .....	Моделирование сейсмического воздействия 9 баллов по шкале MSK-64
Нестандартный метод испытаний...:	Нет
Форма протокола испытаний (ФПИ)	Г17516



Климатические условия испытаний:

- температура окружающей среды –  $20 \pm 2$  °С
- относительная влажность –  $64 \pm 5$  %
- атмосферное давление –  $98 \pm 5$  КПа
- температура испытательной среды –  $20 \pm 2$  °С

**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)
Условия проведения испытаний и методика расчета	<p>Собственный вес конструкции распределяется между узлами конечно-элементной модели пропорционально примыкающим площадям.</p> <p>Собственный вес оборудования сосредоточен в узлах закрепления (используются конечные элементы «сосредоточенная масса»).</p> <p>Напряженно-деформированное состояние несущих конструкций от сейсмического воздействия определено линейно-спектральным методом.</p> <p>Компоненты X, Y, Z в запас прочности складываются по абсолютной величине.</p>
Испытание изделия	Испытание изделия см. приложение №1

## Заключение

Представленный на испытания образец – Источник бесперебойного питания «ИМПУЛЬС», выпускаемый изготовителем ООО «ЦЕНТР РАЗРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЙ «ИМПУЛЬС», соответствует:

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 9 баллов по шкале MSK-64);

Исполнитель



/ Балакин В.В./

Приложение №1  
к протоколу № 098-05/07-ЭСТ

**Испытание на сейсмическое воздействие источника  
бесперебойного питания «ИМПУЛЬС»**



## Содержание

<b>1</b>	<b>Общие сведения</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Нагрузки и воздействия, действующие на ИБП</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Методика расчета</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Расчет ИБП</b>	<b>8</b>
4.1	Определение собственных частот колебаний ИБП	9
4.2	Анализ сейсмического воздействия на ИБП	16
4.3	Визуализация коэффициента запаса прочности	21
<b>5</b>	<b>ОБЩИЕ ВЫВОДЫ</b>	<b>22</b>



## 1. Общие сведения

Испытание на сейсмическое воздействие источника бесперебойного питания «ИМПУЛЬС» (далее ИБП) 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».

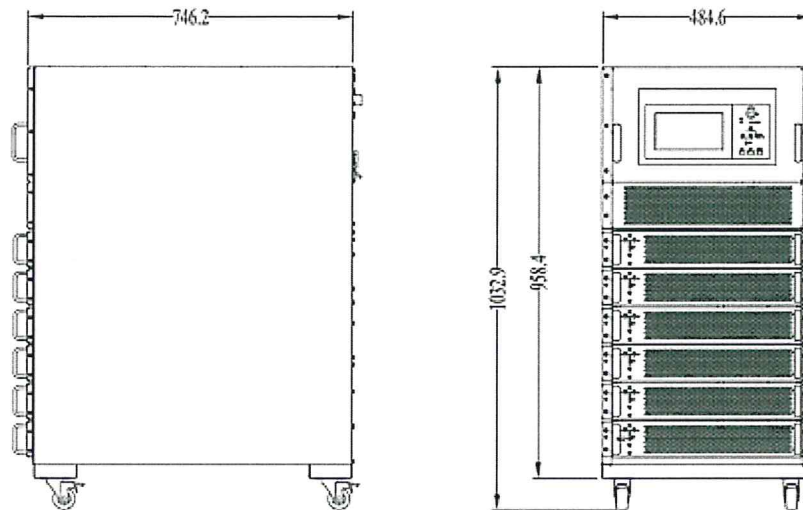


Fig.4- 6: 6 Modules UPS External Dimensions

Рис.1 Общий вид ИБП

## 2. Нагрузки и воздействия, действующие на ИБП

На основании технической документации, была смоделирована ИБП.

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 (Регистрационный номер ПС в ЦОЭП при РНЦ КИ №490 от 10.09.2002); (Регистрационный номер паспорта аттестации ПС №145 от 31.10.2002), а также выдано свидетельство РААСН о верификации ANSYS № 02/ANSYS/2009.

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 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.

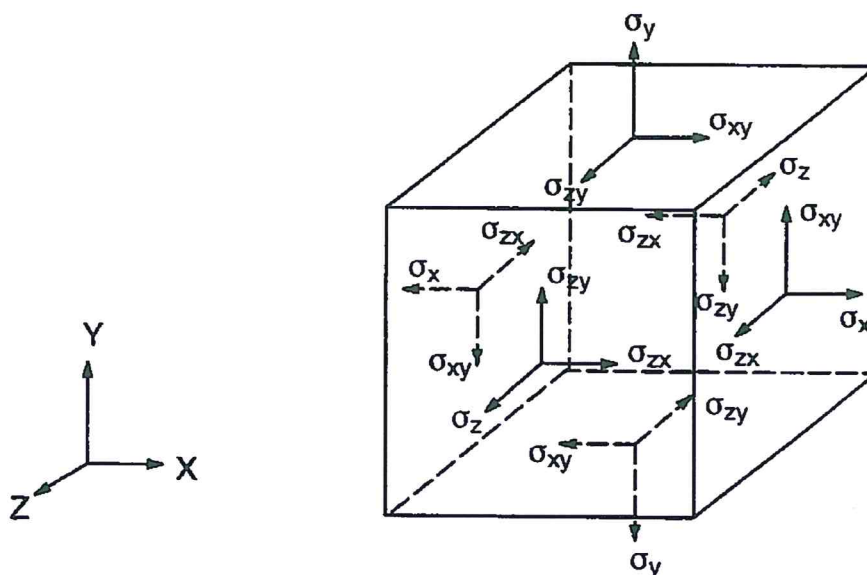


Рисунок 2.2 - Компоненты вектора напряжений

Уравнение (1) может быть обращено следующим образом:

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

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

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

При использовании нормализация по строкам, матрица записывается следующим образом:

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





$$\begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1/G_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{yz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{zx} \end{vmatrix}$$

Для записи элементов этих матриц используются обозначения:

$E_x$  – модуль Юнга в направлении оси  $x$ ,

$\nu_{xy}$  – минимальный коэффициент Пуассона,

$\nu^*_{xy}$  – 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  $\nu_{xy}$ ,  $\nu_{zy}$ ,  $\nu_{zx}$ ,  $\nu^*_{yx}$ ,  $\nu^*_{zy}$  и  $\nu^*_{zx}$  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  $\epsilon_x$  - деформация в направлении оси  $x$ ,

$\epsilon_{xy}$  - деформация сдвига в плоскости  $x$  -  $y$ ,

$\sigma_x$  - напряжения в направлении оси  $x$ ,



$\sigma_{xy}$  - 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 ИБП

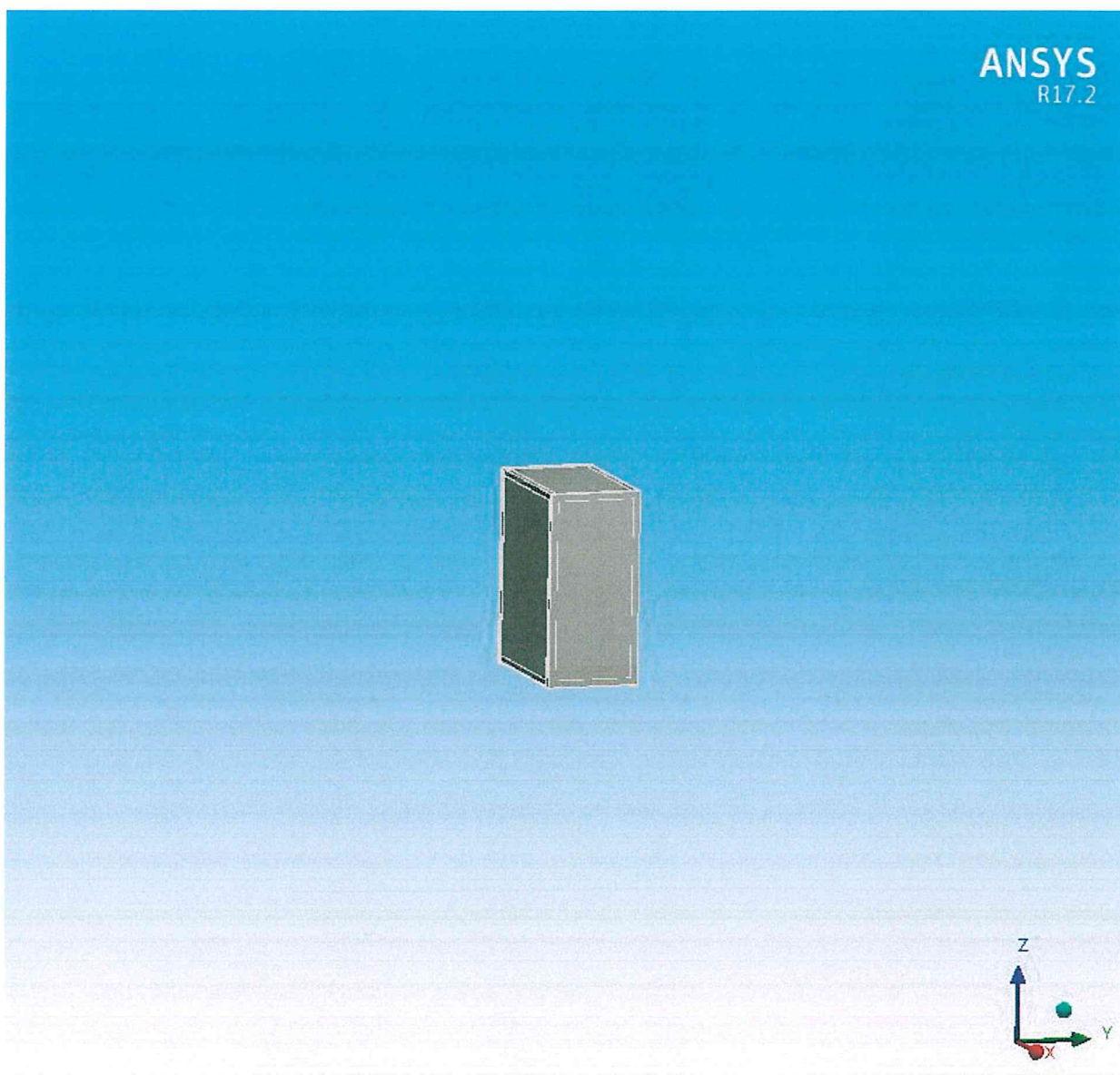


Рис. 2 Расчетная аппроксимированная модель



#### 4.1 Определение собственных частот колебаний ИБП:

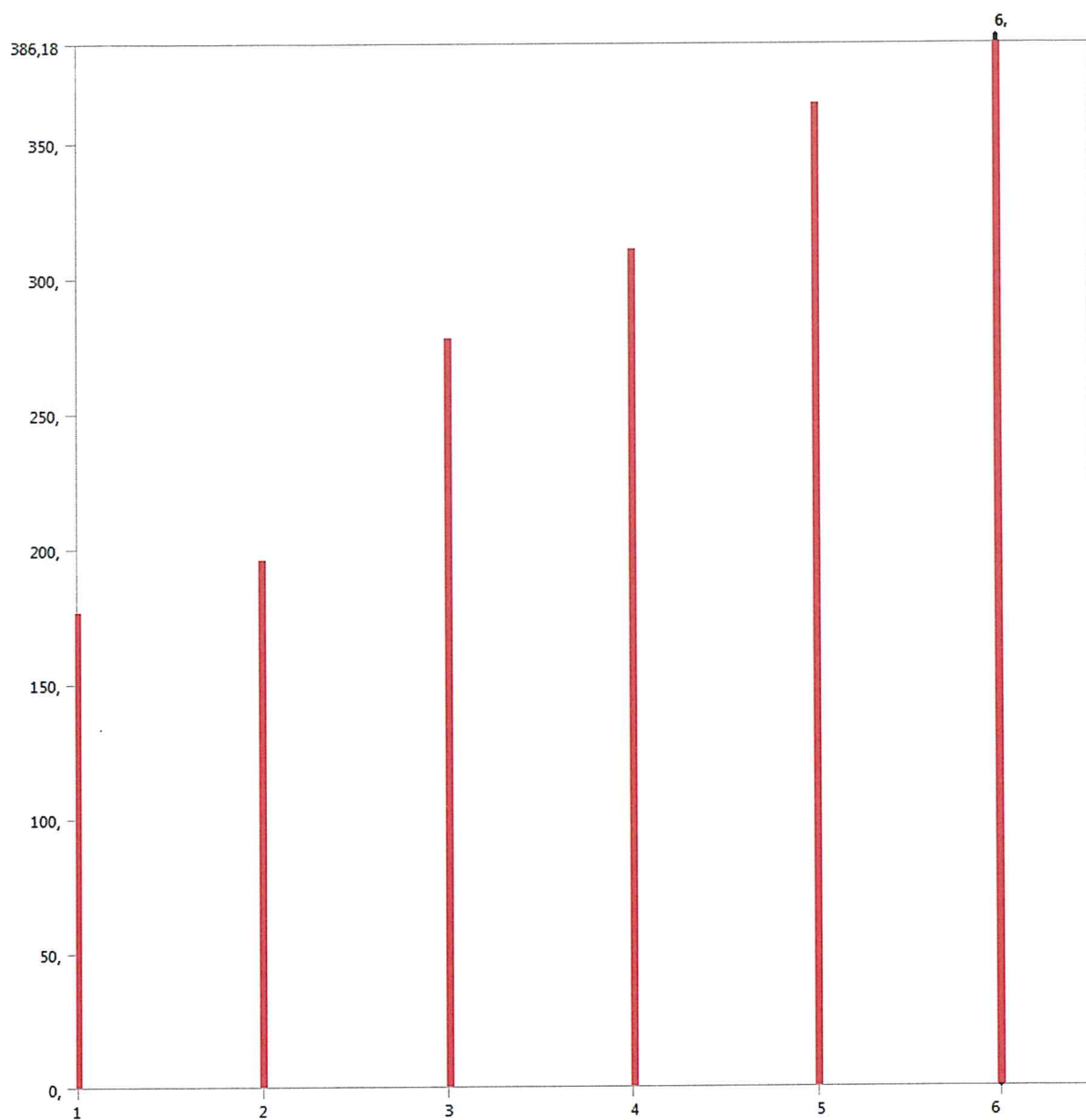


Рис. 3 Гистограмма собственных частот колебаний ИБП



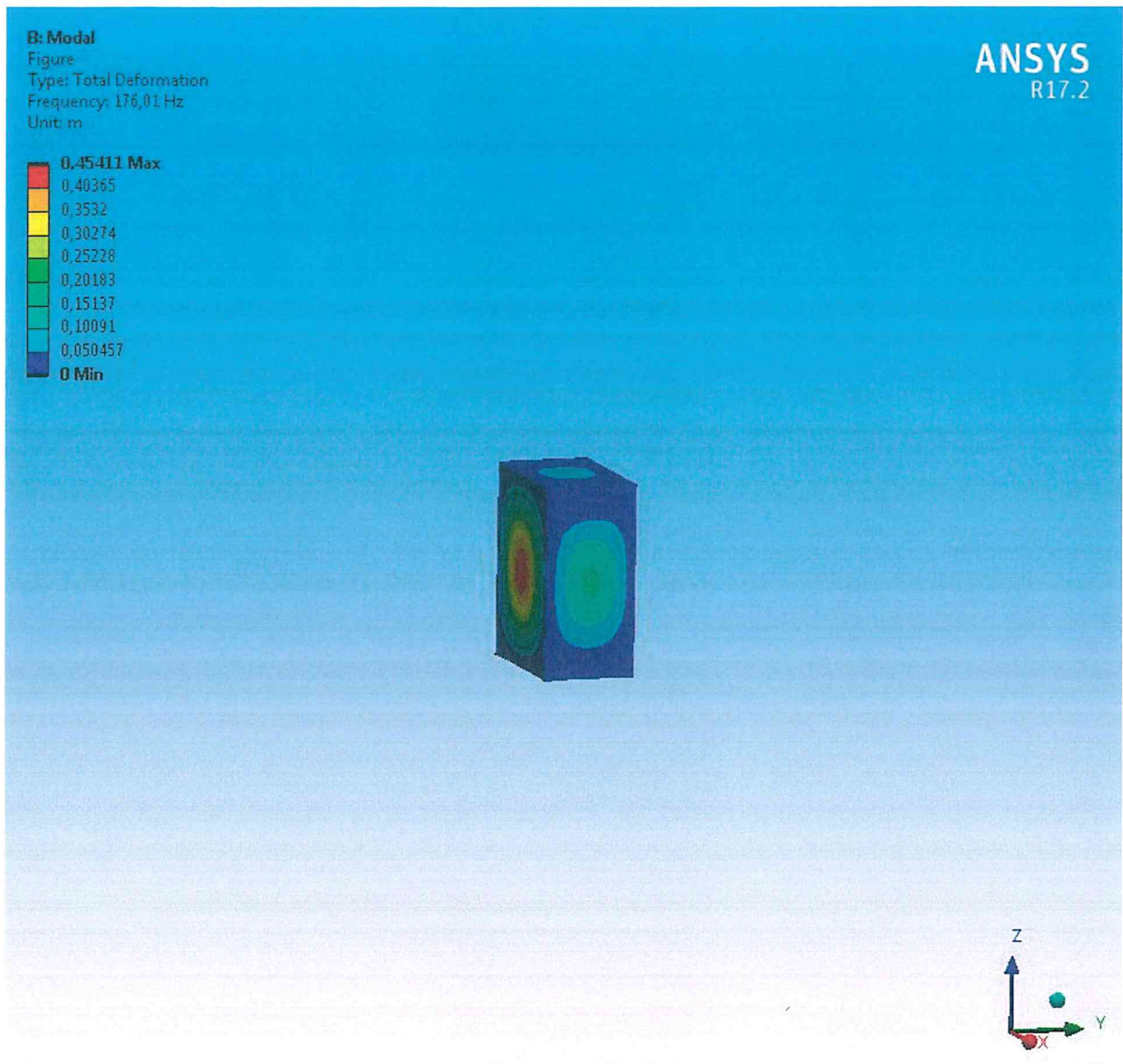


Рис. 4 Амплитуда при 1-й форме колебаний [м]



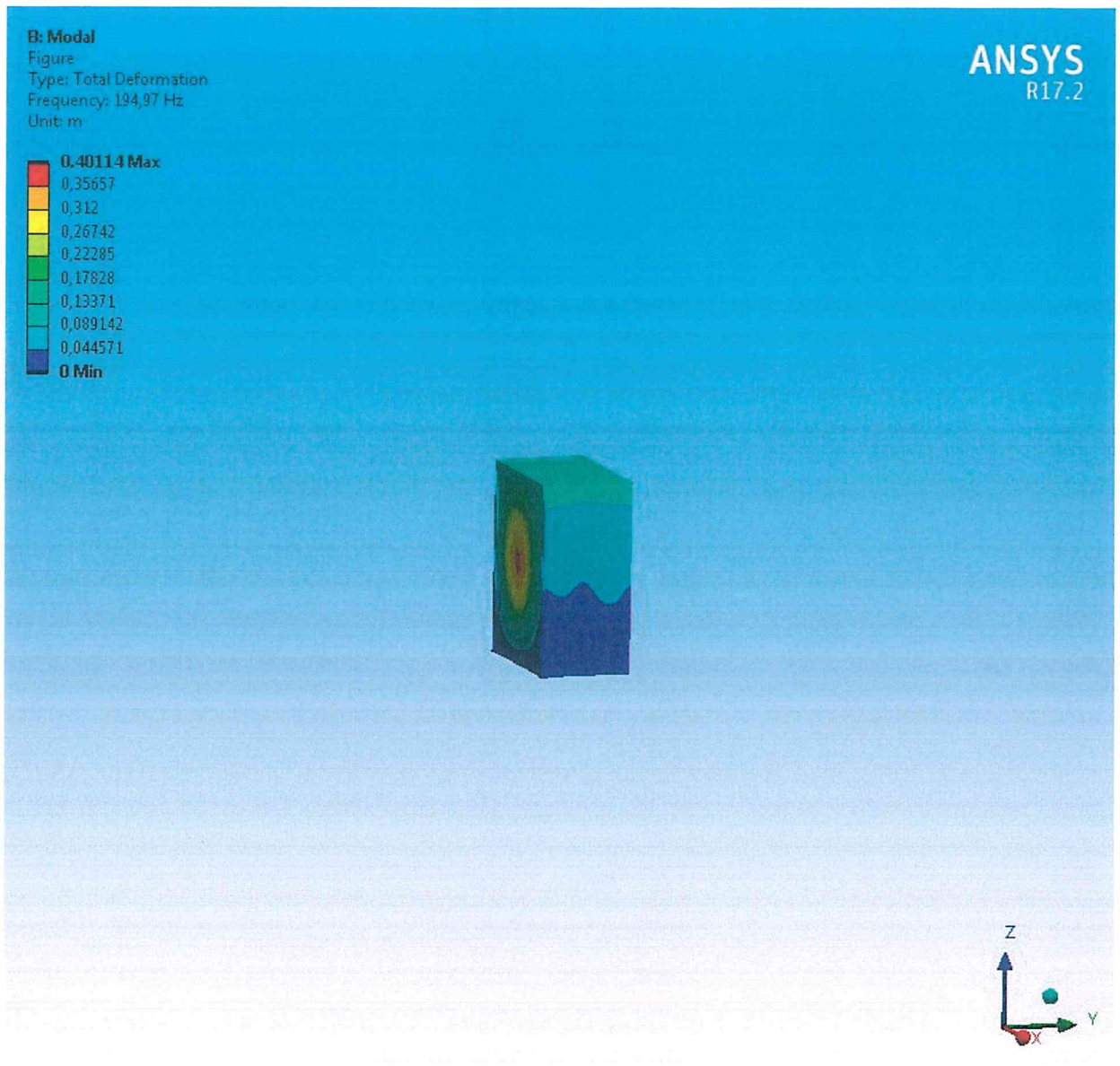


Рис. 5 Амплитуда при 2-й форме колебаний [м]



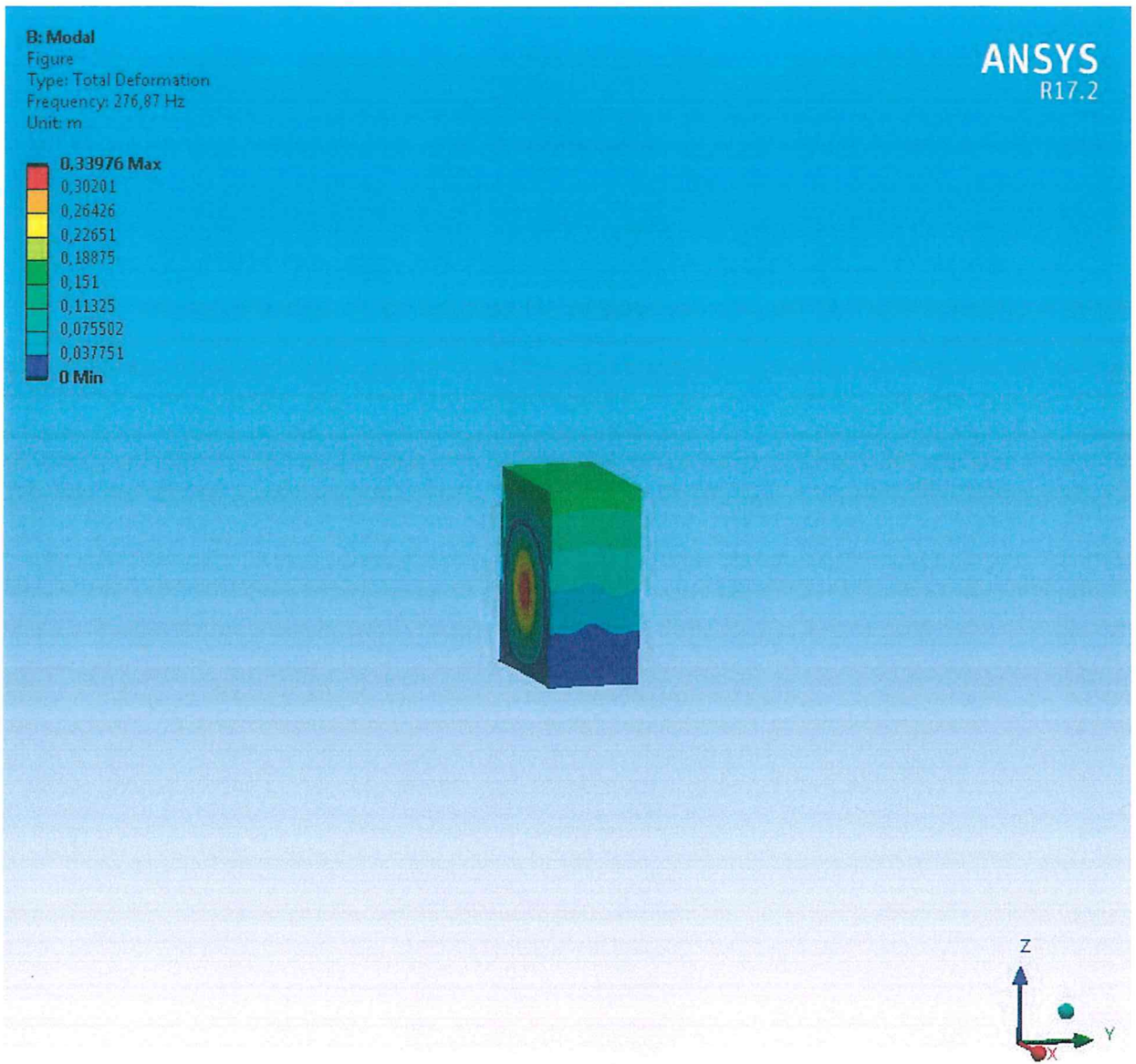


Рис. 6 Амплитуда при 3-й форме колебаний [м]



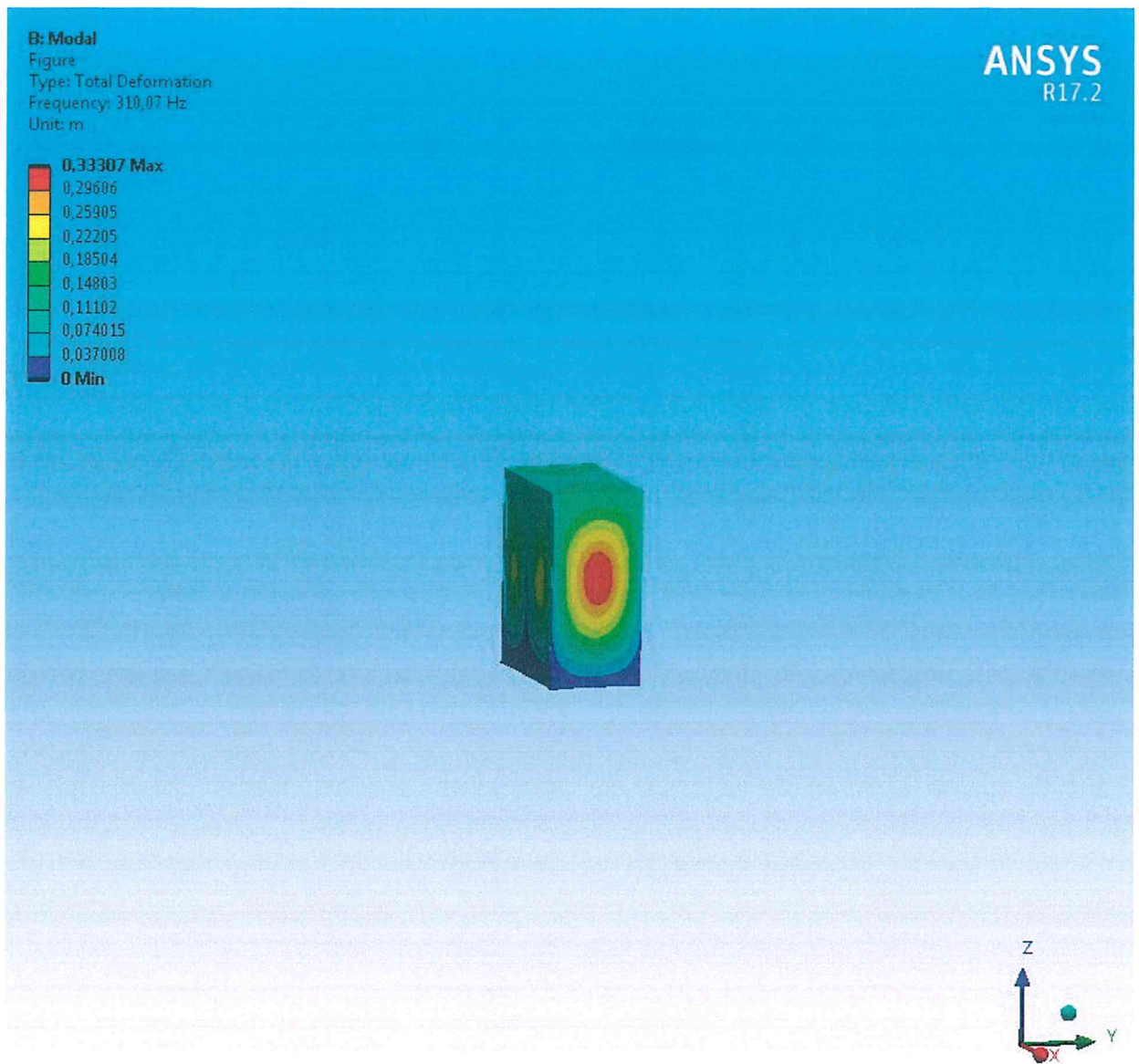


Рис. 7 Амплитуда при 4-й форме колебаний [м]



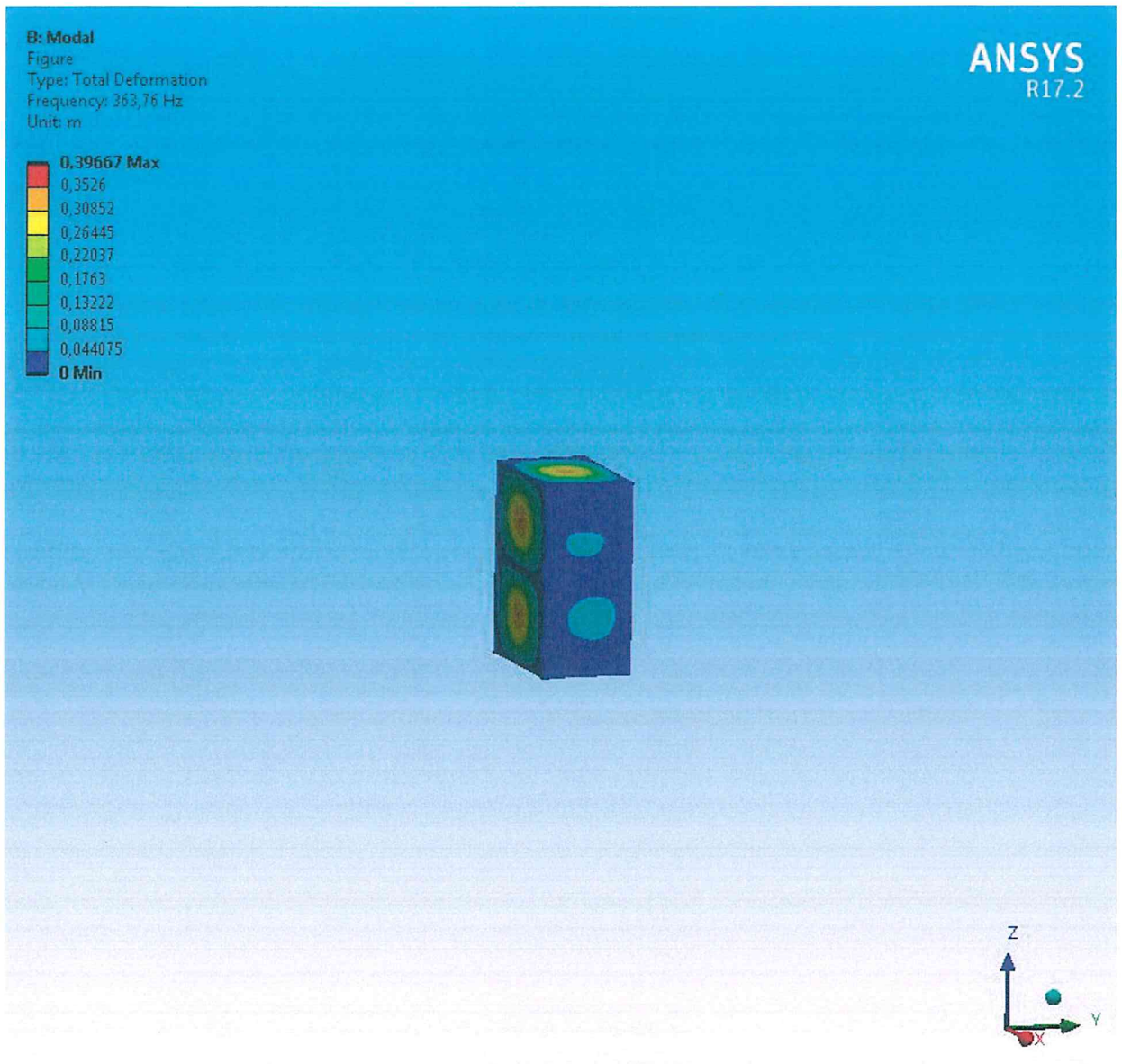


Рис. 8 Амплитуда при 5-й форме колебаний [м]

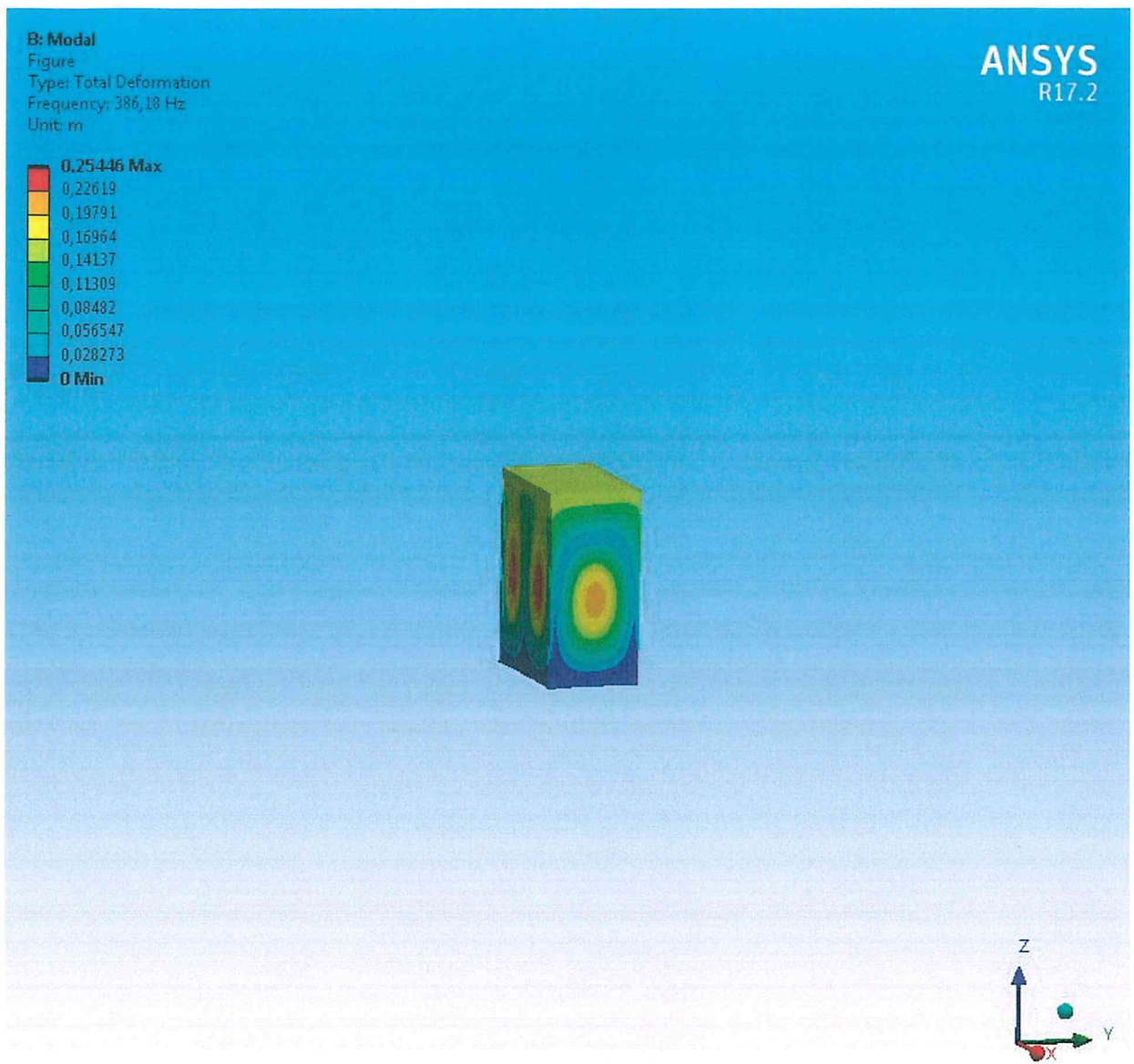


Рис. 9 Амплитуда при 6-й форме колебаний [м]

#### 4. 2 Анализ сейсмического воздействия на ИБП:

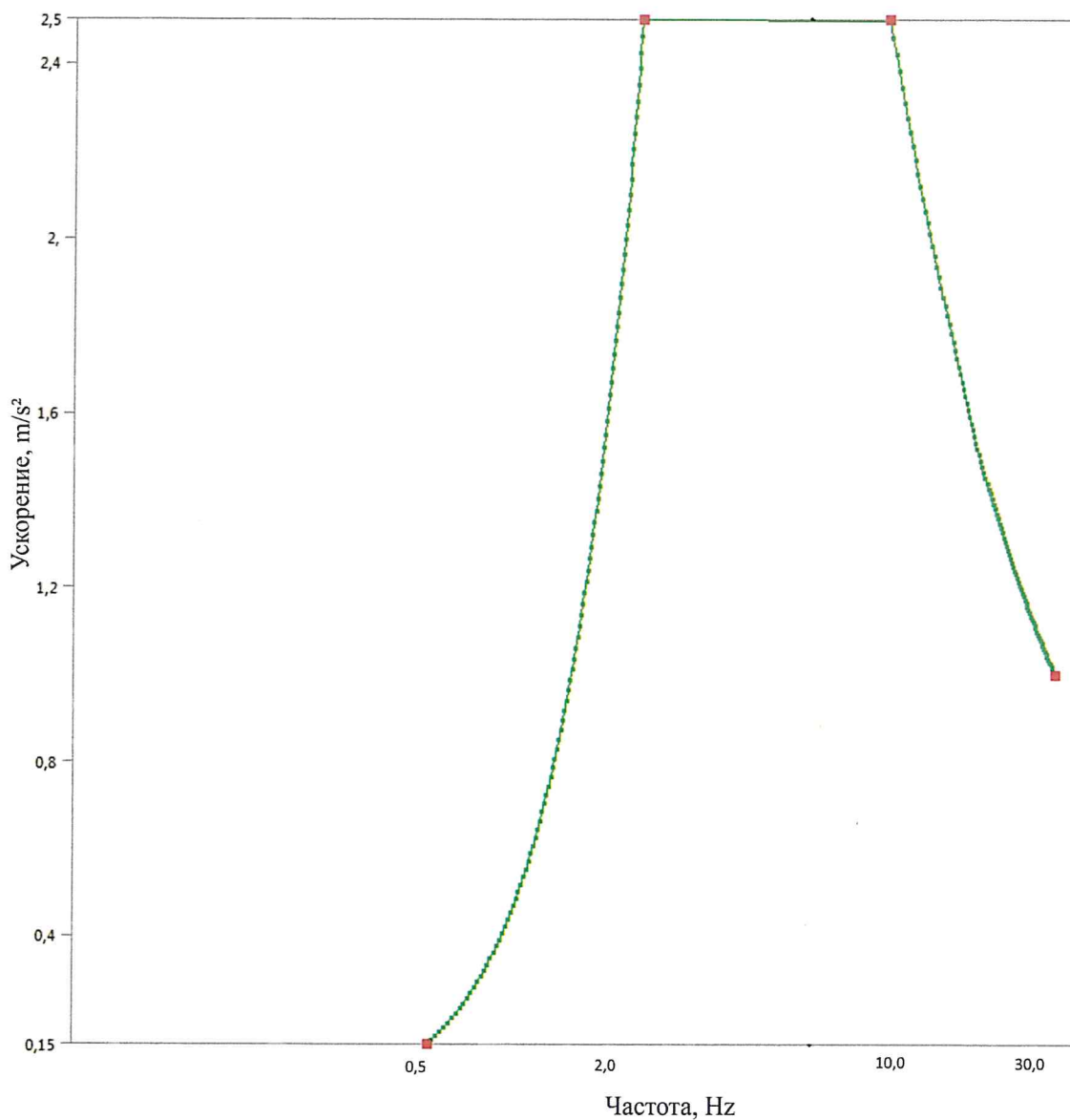


Рис.10 График зависимости между максимальной амплитуды ускорения и частотой синусоидальной вибрации – расчетный спектр воздействия

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



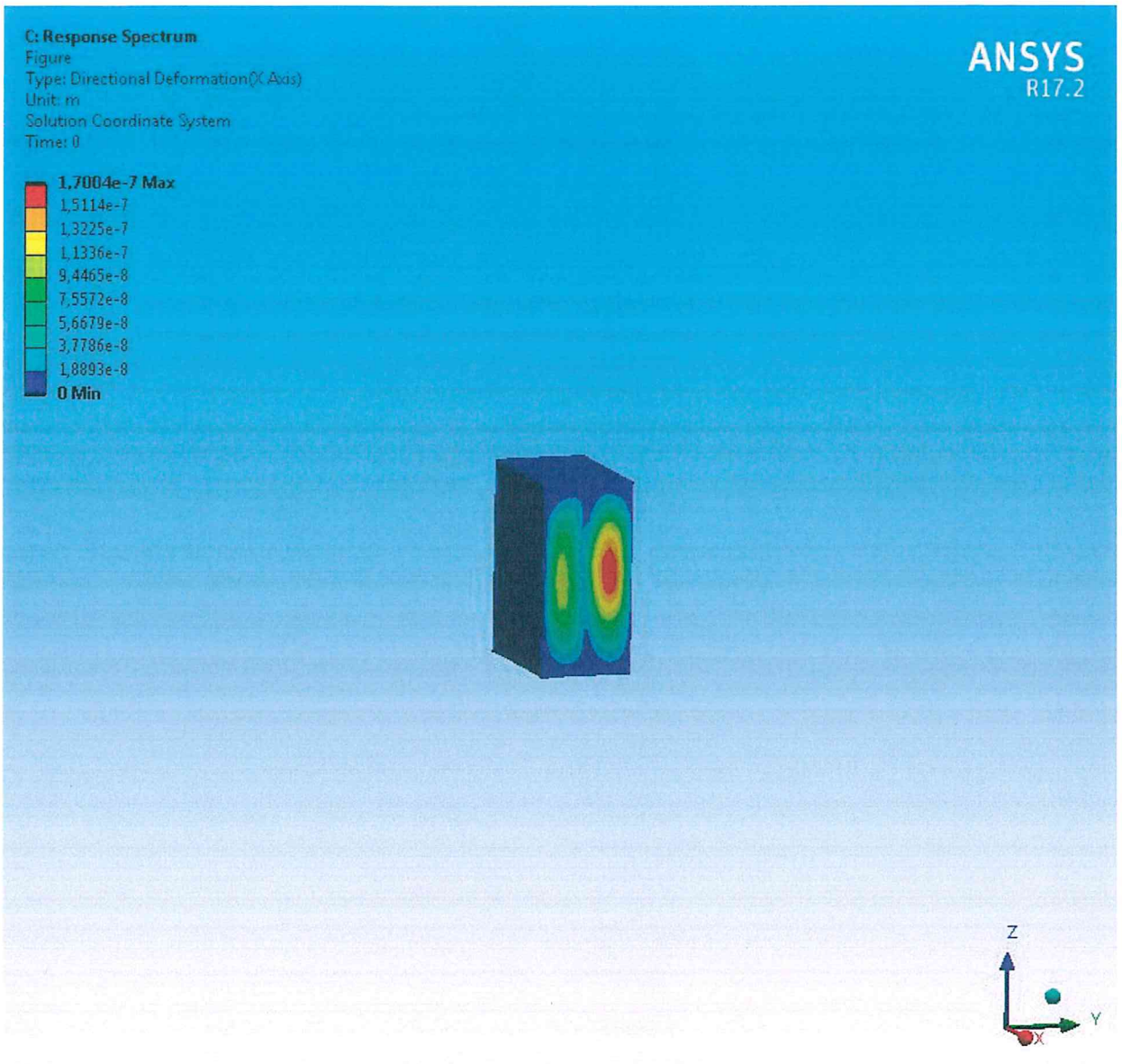


Рис. 11 Перемещения по оси X [м]



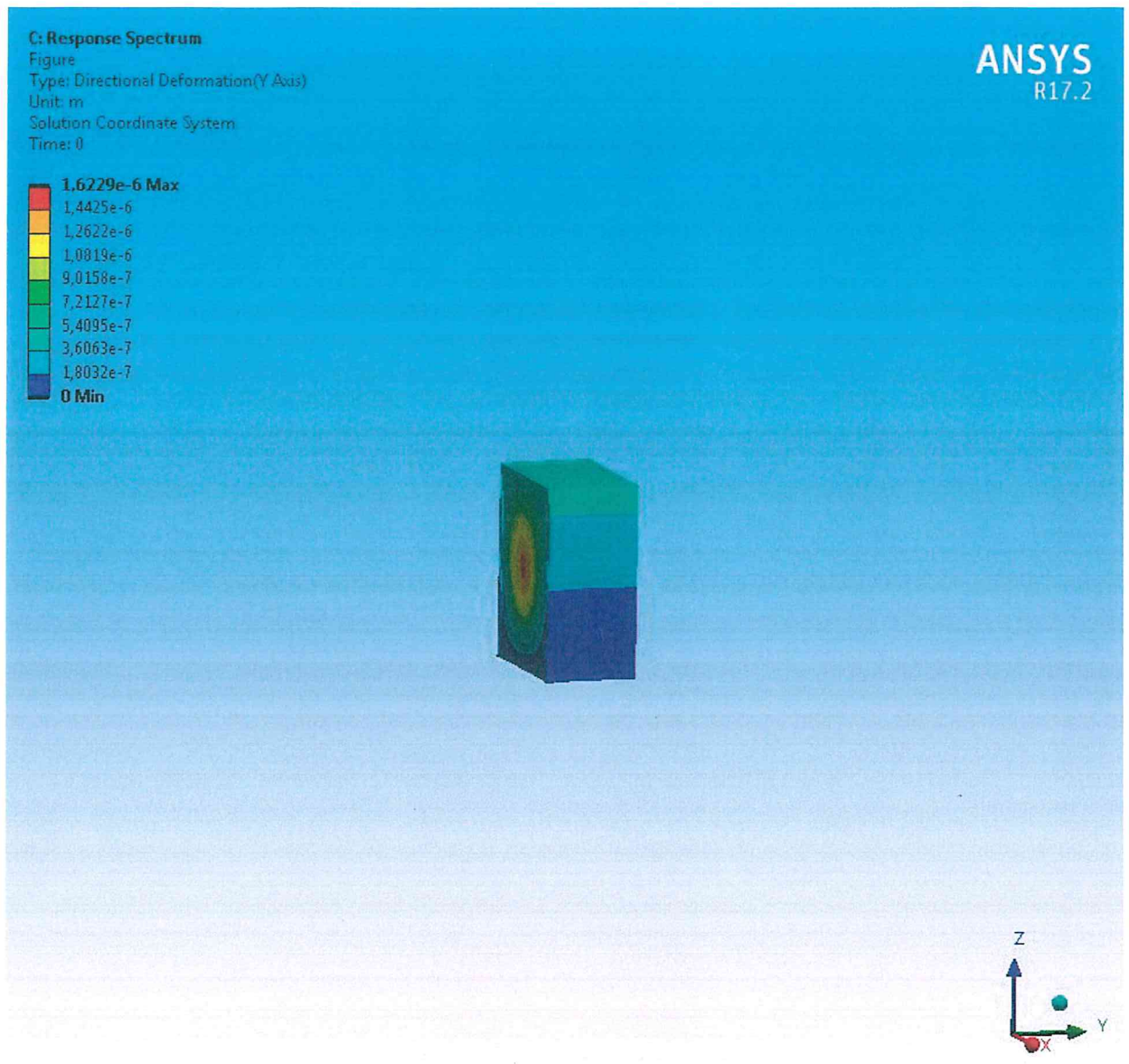


Рис. 12 Перемещения по оси Y [м]



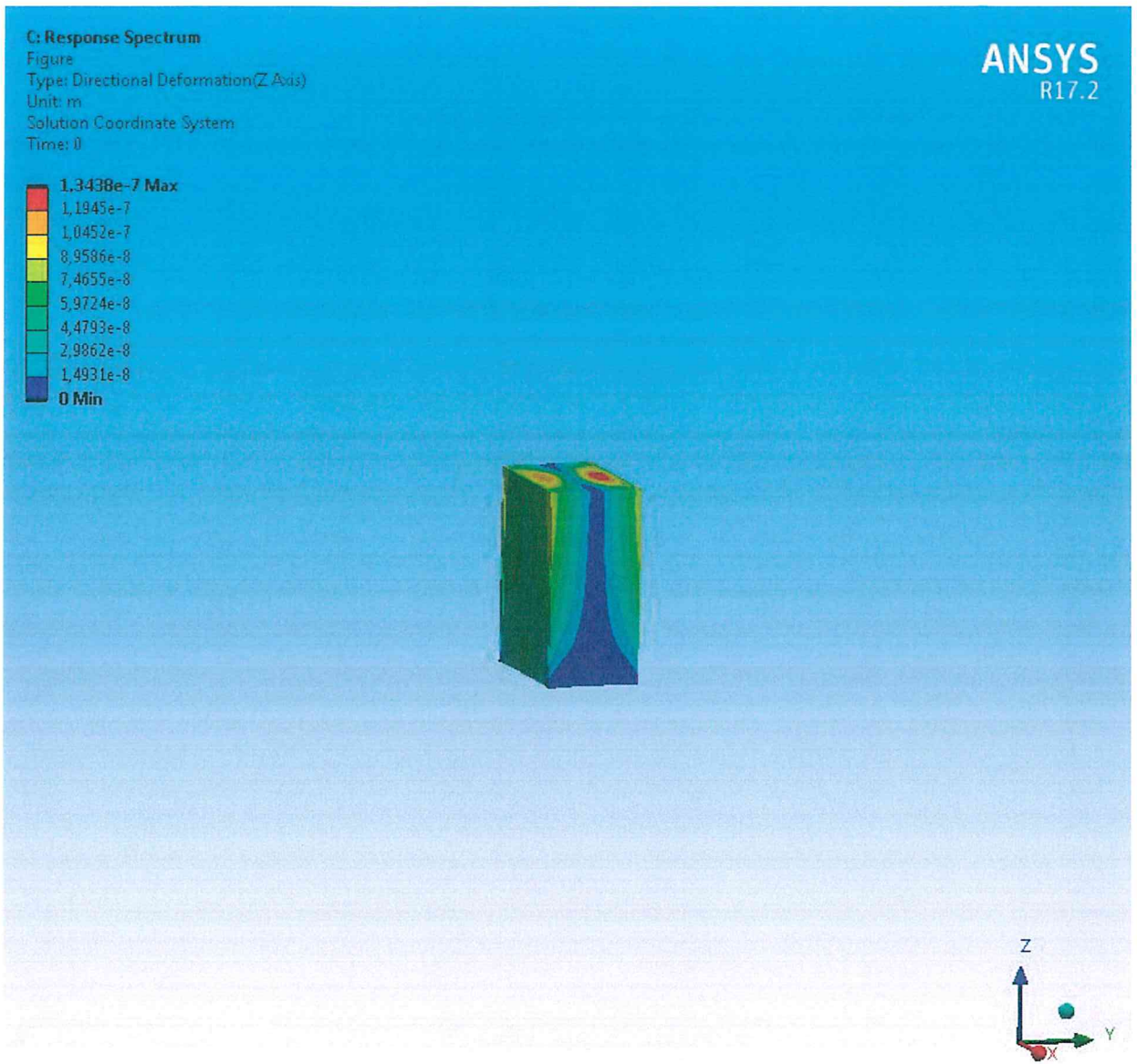


Рис. 13 Перемещения по оси Z [м]



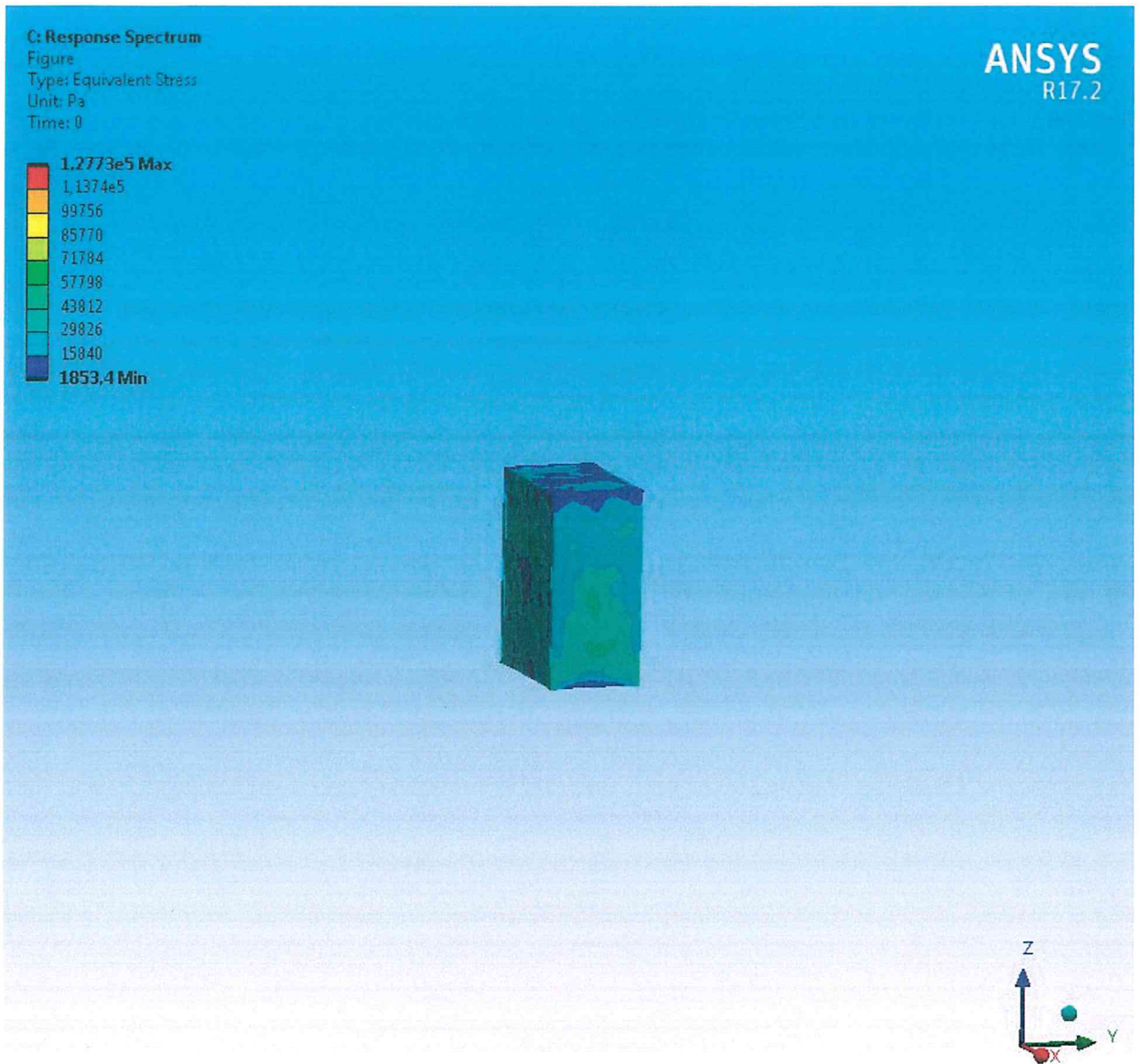


Рис. 14 Эквивалентные напряжения [Па]



4.3 Визуализация коэффициента запаса прочности от сейсмического воздействия:

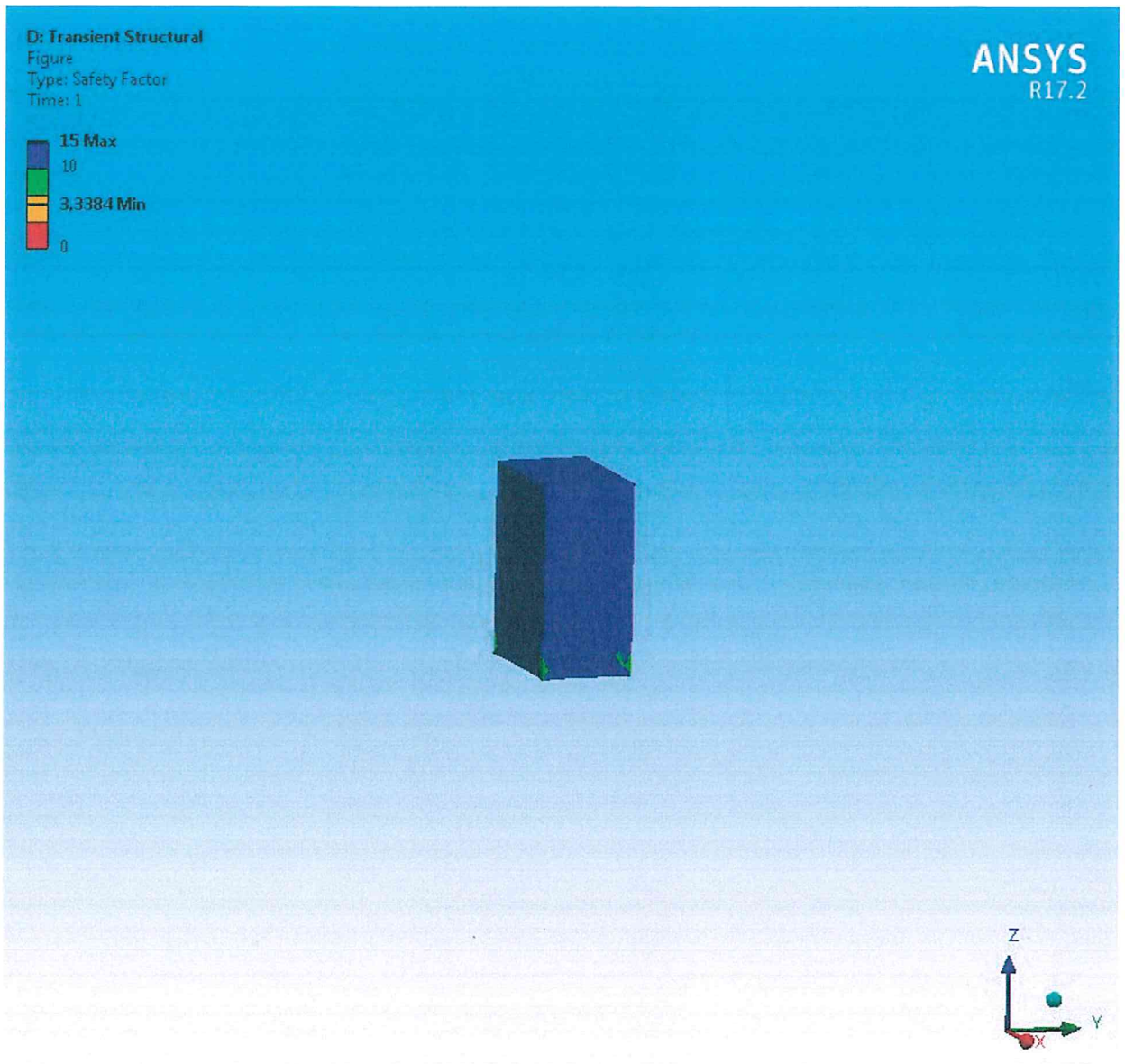


Рис. 18 Визуализация коэффициента запаса прочности





## 5. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Испытание на сейсмическое воздействие источника бесперебойного питания «ИМПУЛЬС» включительно 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»;
2. В испытании представлены: собственные частоты колебаний ИБП, сейсмическое воздействие на ИБП, визуализация коэффициента запаса прочности при динамическом воздействии;
3. На основании проведенного испытания можно сделать вывод, что прочность источника бесперебойного питания «ИМПУЛЬС» включительно от сейсмического воздействия в 9 баллов по шкале MSK-64 обеспечена.

