

Испытательная лаборатория ИЛ «ЭС-Тест»

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ	
ГОСТ 30546.1-98, ГОСТ 30546.2-98, ГОСТ 30546.3-98 (исполнение сейсмостойкости 9 баллов по шкале MSK-64)	
Номер протокола испытаний:	159-07/12-ЭСТ
Дата	23.07.2018
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 «ПромАрм»
Адрес	440018, г. Пенза, ул. Суворова, 167/2
Наименование продукции	Задвижка шиберная ножевая серий ПА 510, ПА 520, ПА 530, ПА 540, ПА 550, ПА 560, ПА 570
Код ОКПД2.....	
Модель / Тип	
Изготовитель	ООО «ПромАрм»
Адрес изготовителя	440018, г. Пенза, ул. Суворова, 167/2
Наименование документации, по которой изготовлено изделие.....	ТУ 3700-002-55604618-2013
Серийное производство или партия продукции	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 ± 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)
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

Заключение

Представленные на испытания образцы – Задвижки шиберные ножевые серий ПА 510, ПА 520, ПА 530, ПА 540, ПА 550, ПА 560, ПА 570, выпускаемые изготовителем ООО «ПромАрма», 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 9 баллов по шкале MSK-64);

Исполнитель



/ Балакин В.В./

Приложение №1
к протоколу № 159-07/12-ЭСТ

**Испытание на сейсмическое воздействие задвижек
шиберных ножевых серий ПА500**



Содержание

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



1. Общие сведения

Испытание на сейсмическое воздействие задвижек шиберных ножевых серий ПА500 (далее задвижка) 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».

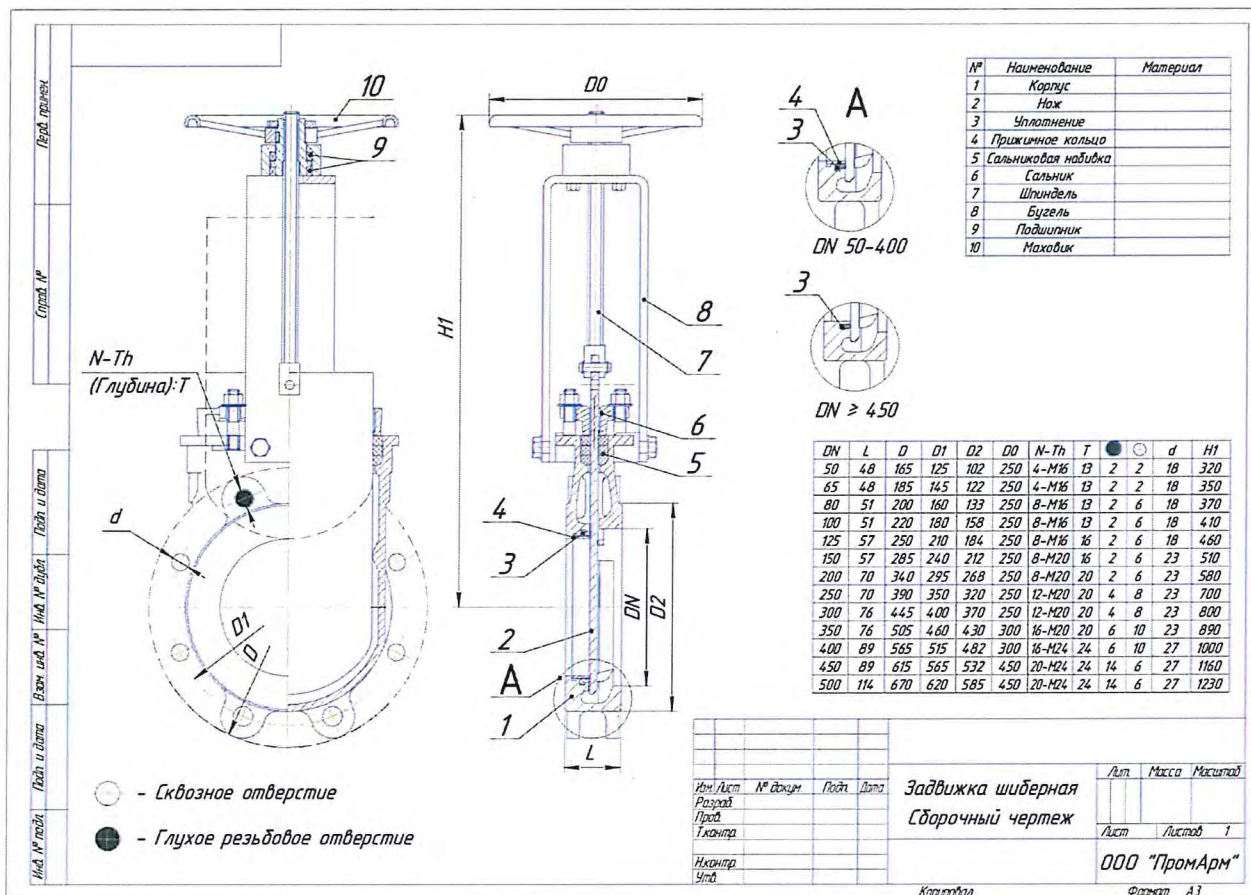


Рис.1 Общий вид задвижки

2. Нагрузки и воздействия, действующие на задвижку

На основании технической документации, была смоделирована задвижка.

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.

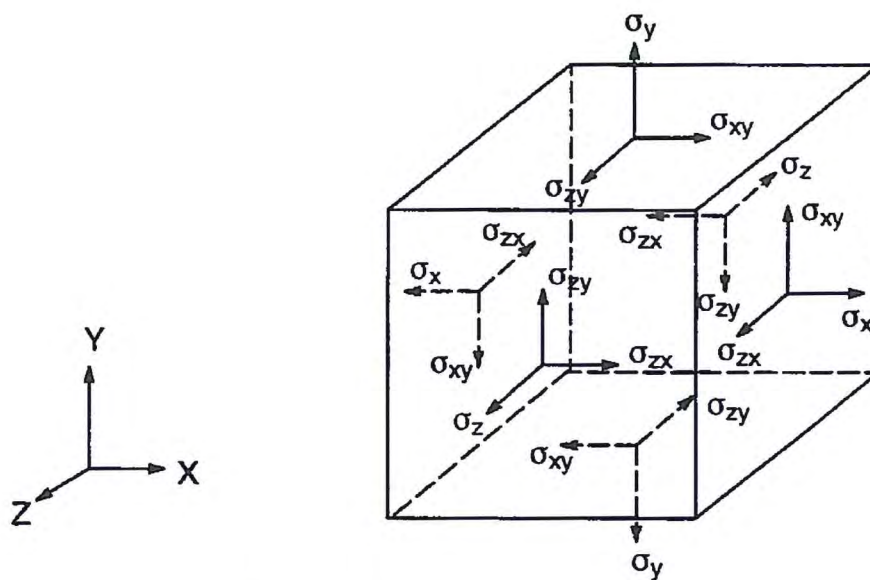


Рисунок 2.2 - Компоненты вектора напряжений

Уравнение (1) может быть обращено следующим образом:

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

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:

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



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

Для записи элементов этих матриц используются обозначения:

E_x – модуль Юнга в направлении оси x ,

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:

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

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

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

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

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

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

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 задвижки

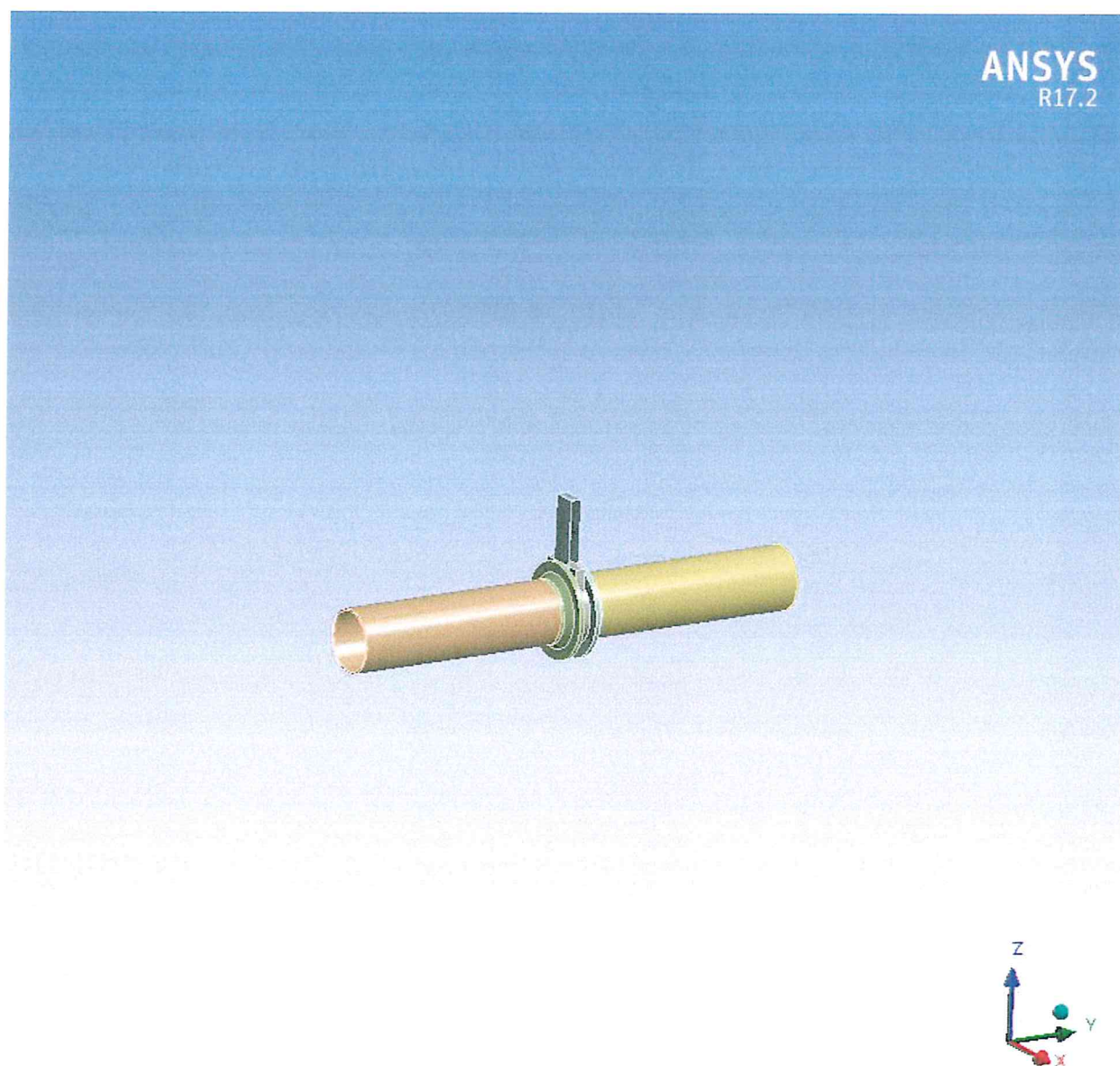


Рис. 2 Расчетная аппроксимированная модель



4.1 Определение собственных частот колебаний задвижки:

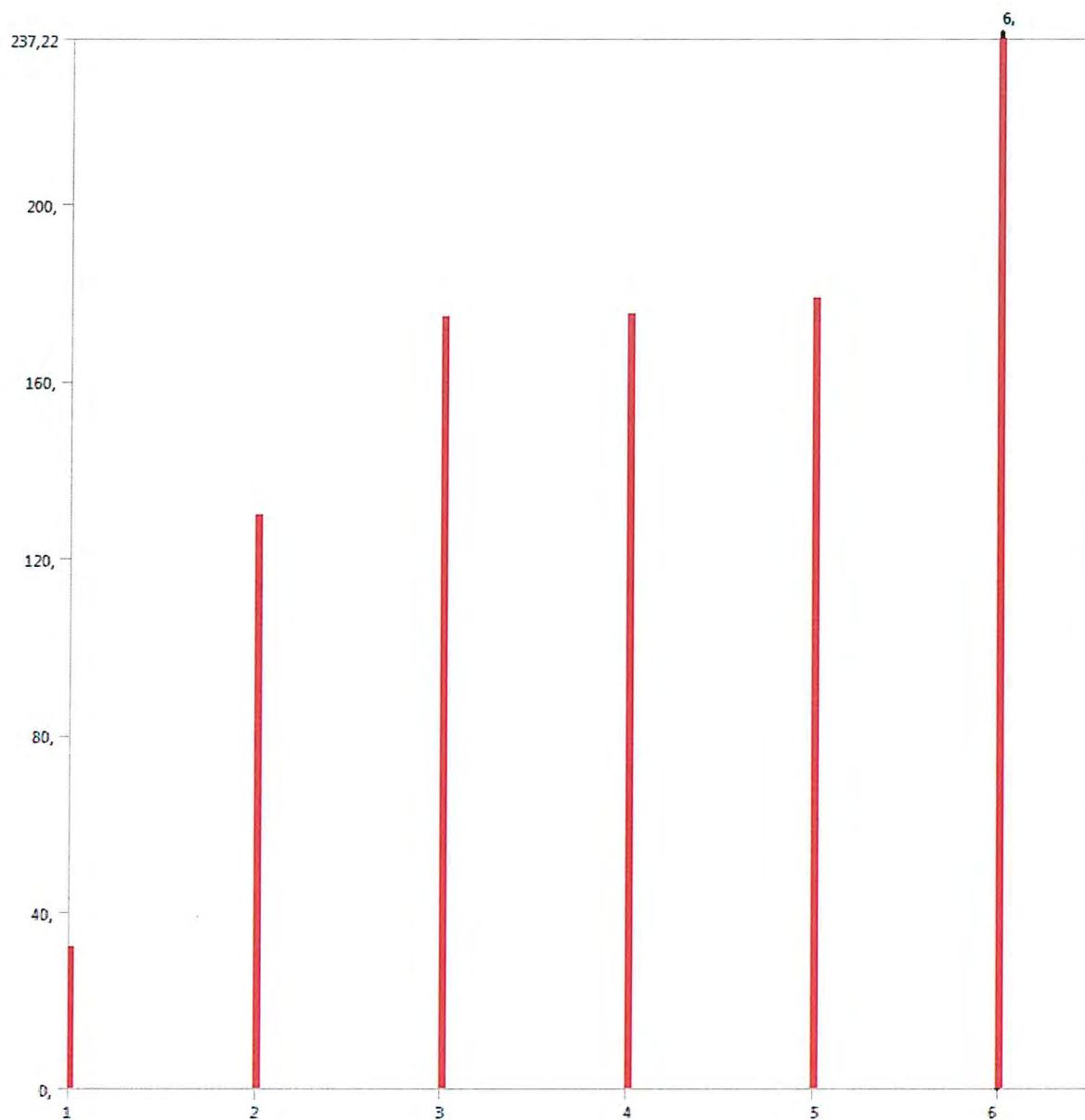


Рис. 3 Гистограмма собственных частот колебаний задвижки



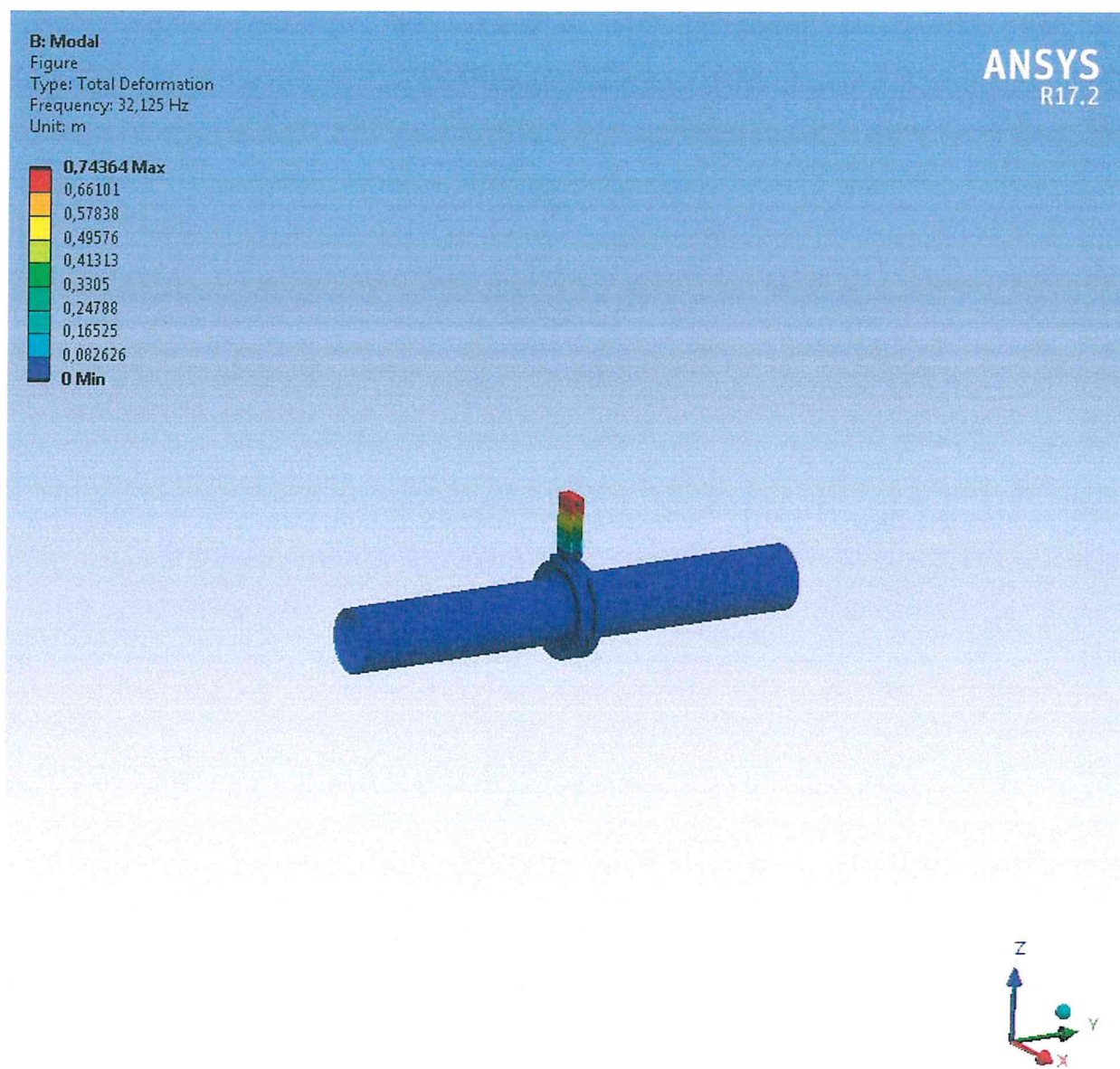


Рис. 4 Амплитуда при 1-й форме колебаний [м]



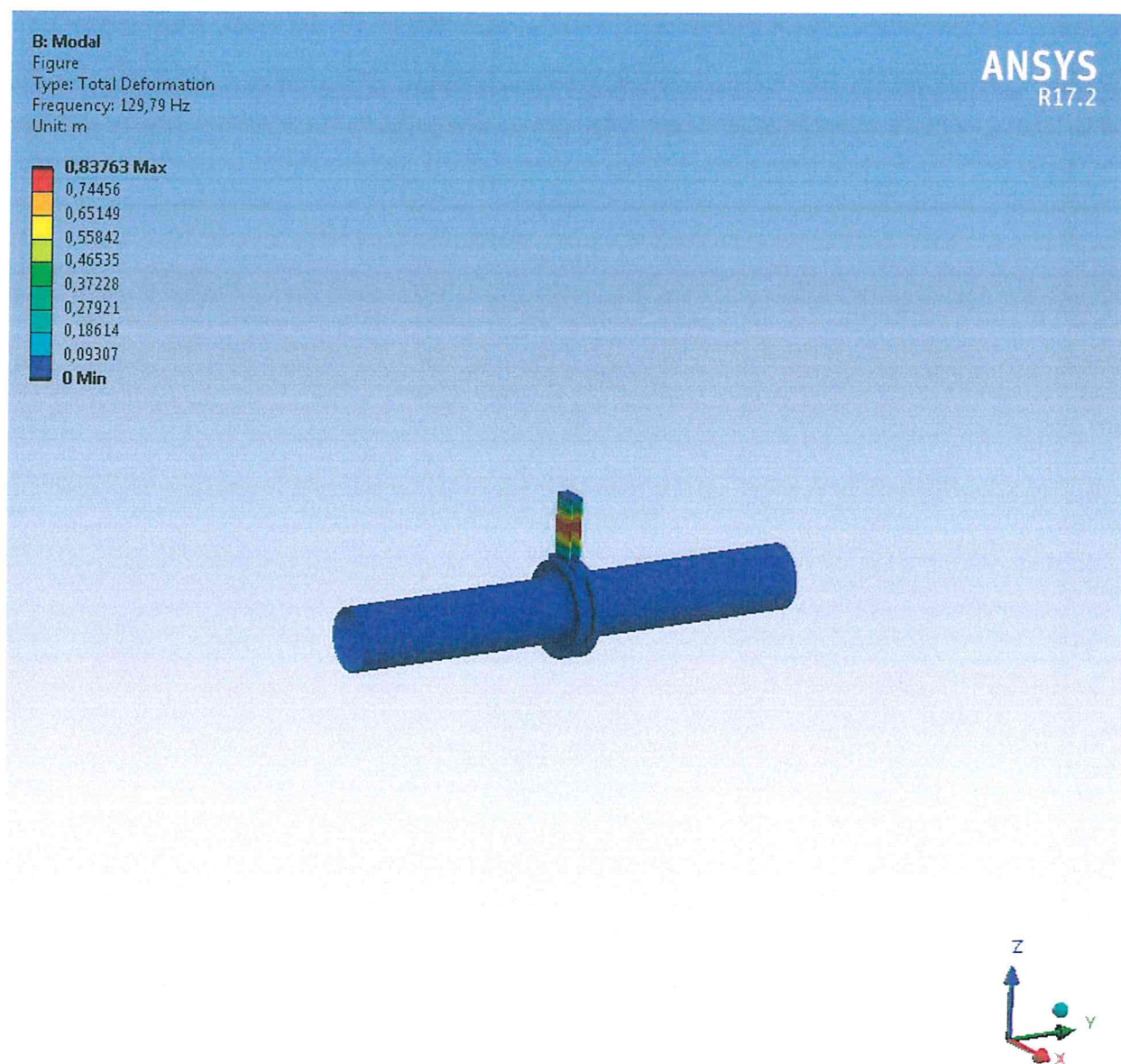


Рис. 5 Амплитуда при 2-й форме колебаний [м]



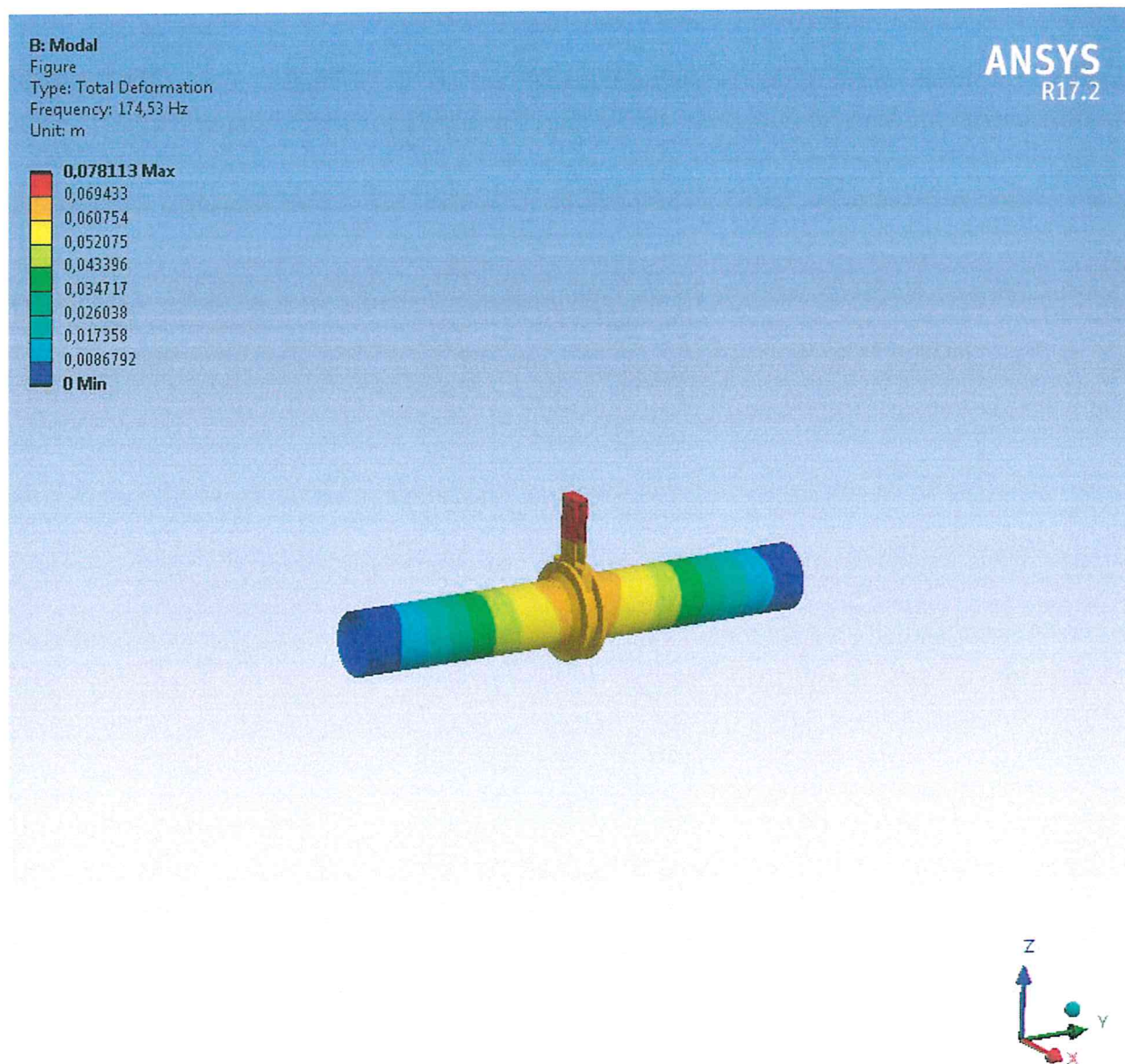


Рис. 6 Амплитуда при 3-й форме колебаний [м]

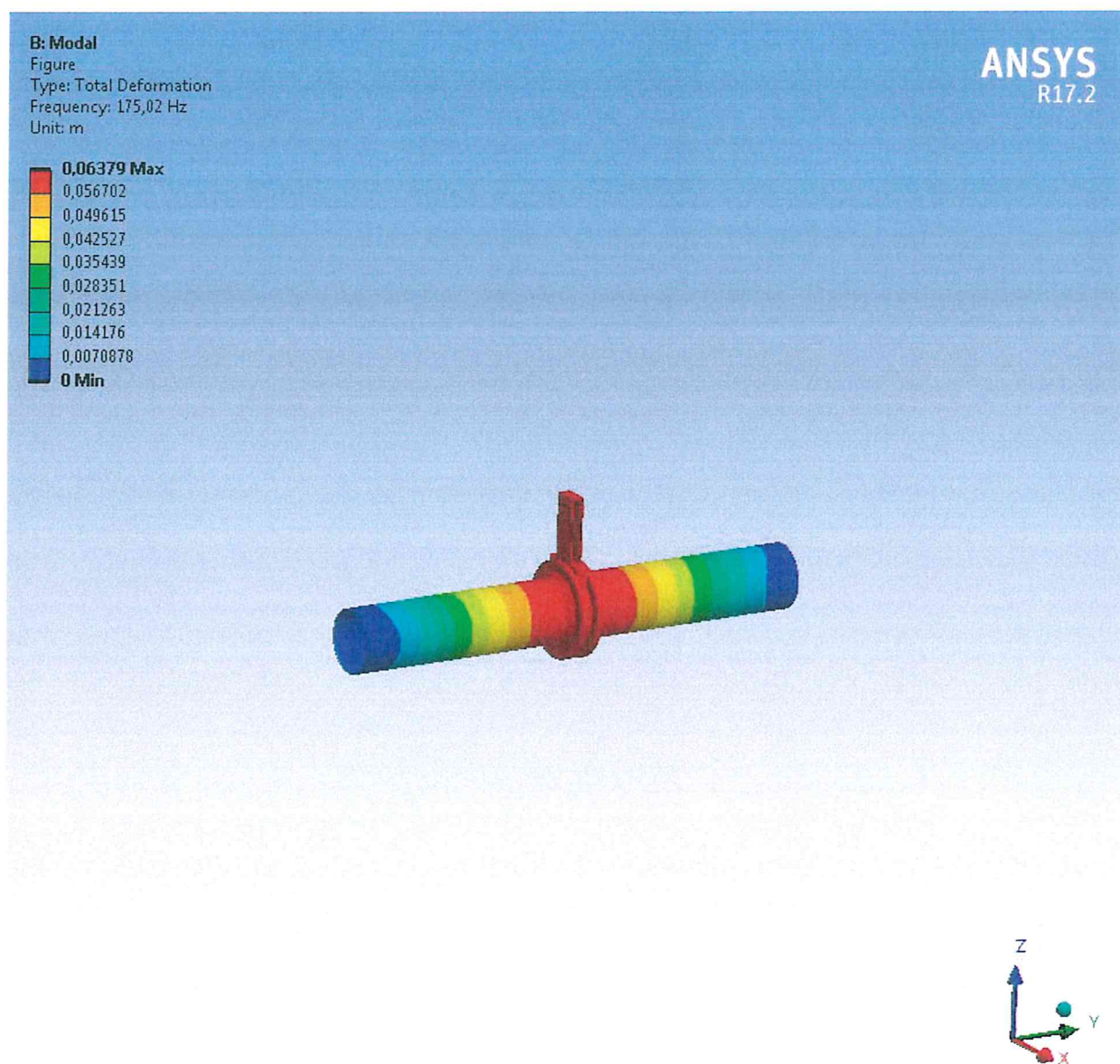


Рис. 7 Амплитуда при 4-й форме колебаний [м]



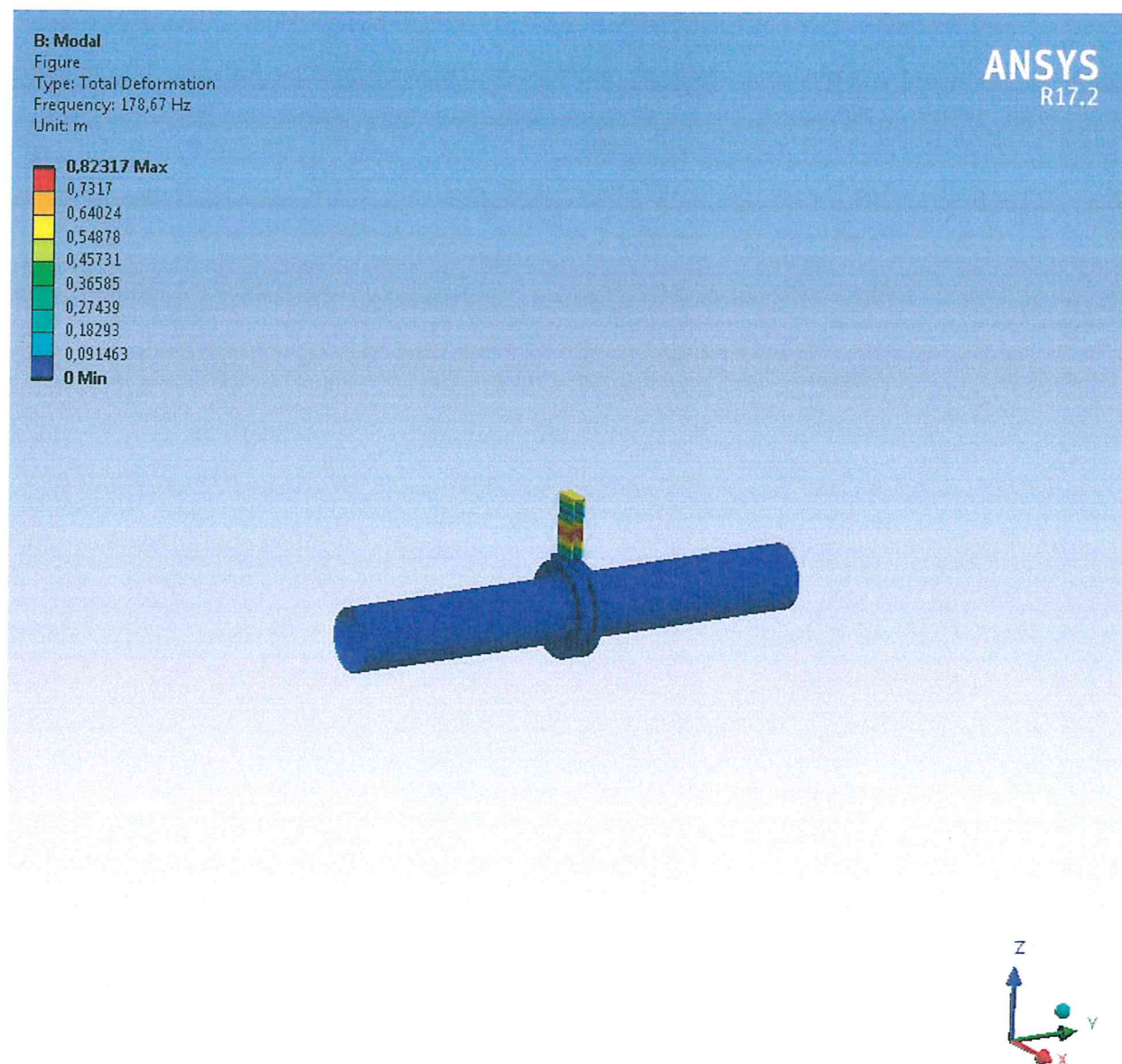


Рис. 8 Амплитуда при 5-й форме колебаний [м]



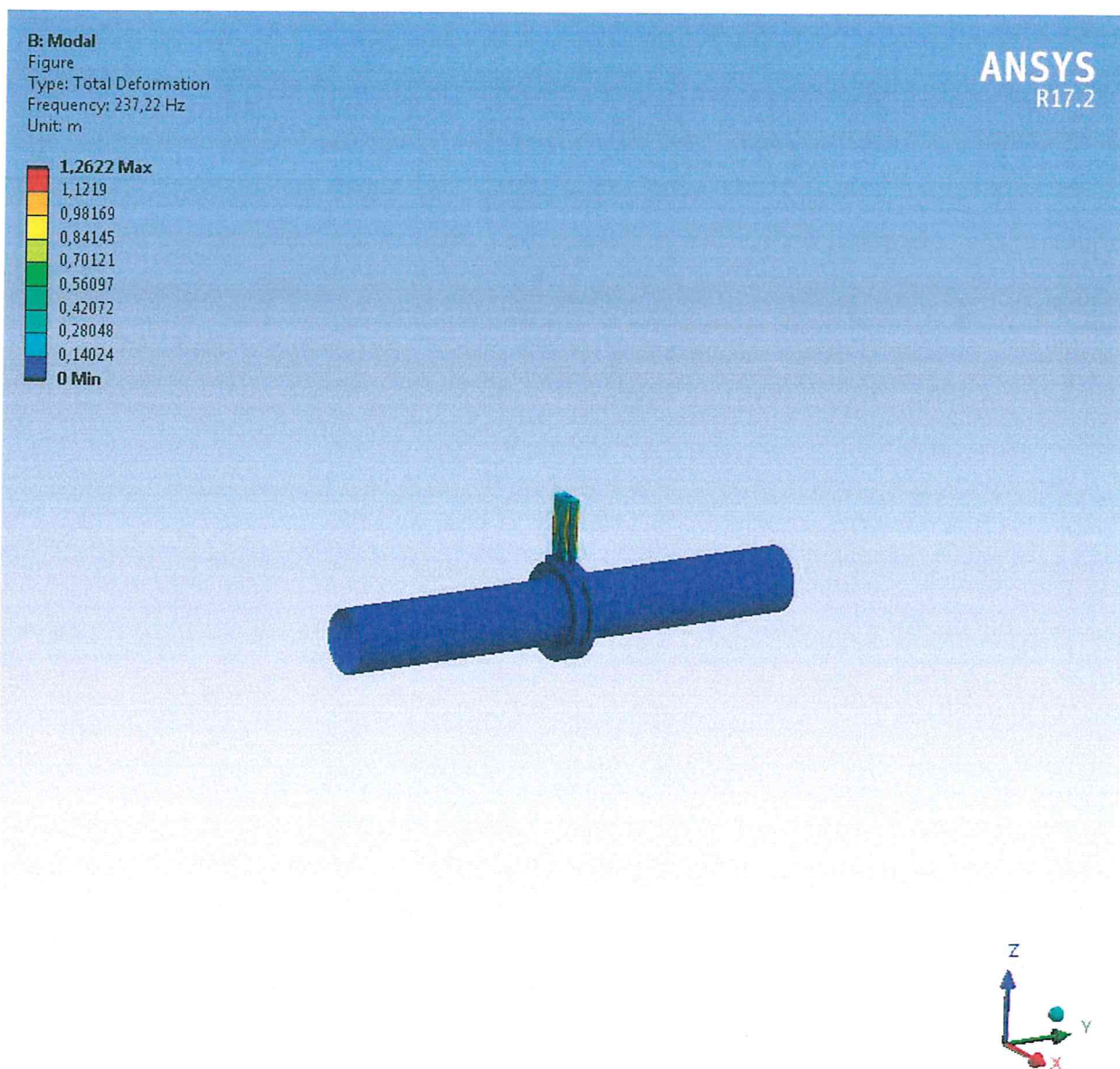


Рис. 9 Амплитуда при 6-й форме колебаний [м]



4. 2 Анализ сейсмического воздействия на задвижку:

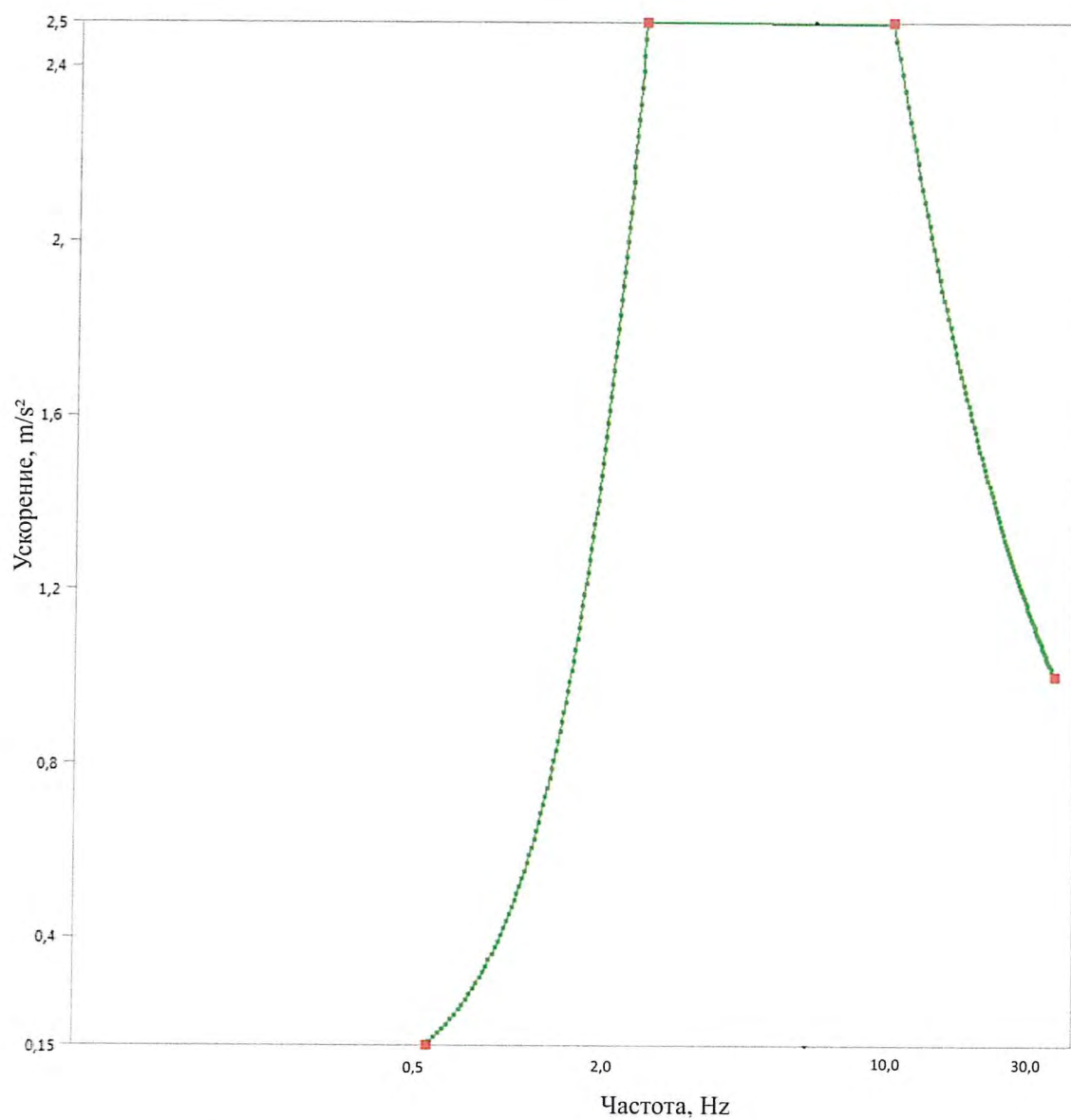


Рис.10 График зависимости между максимальной амплитуды ускорения и частотой синусоидальной вибрации – расчетный спектр воздействия

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



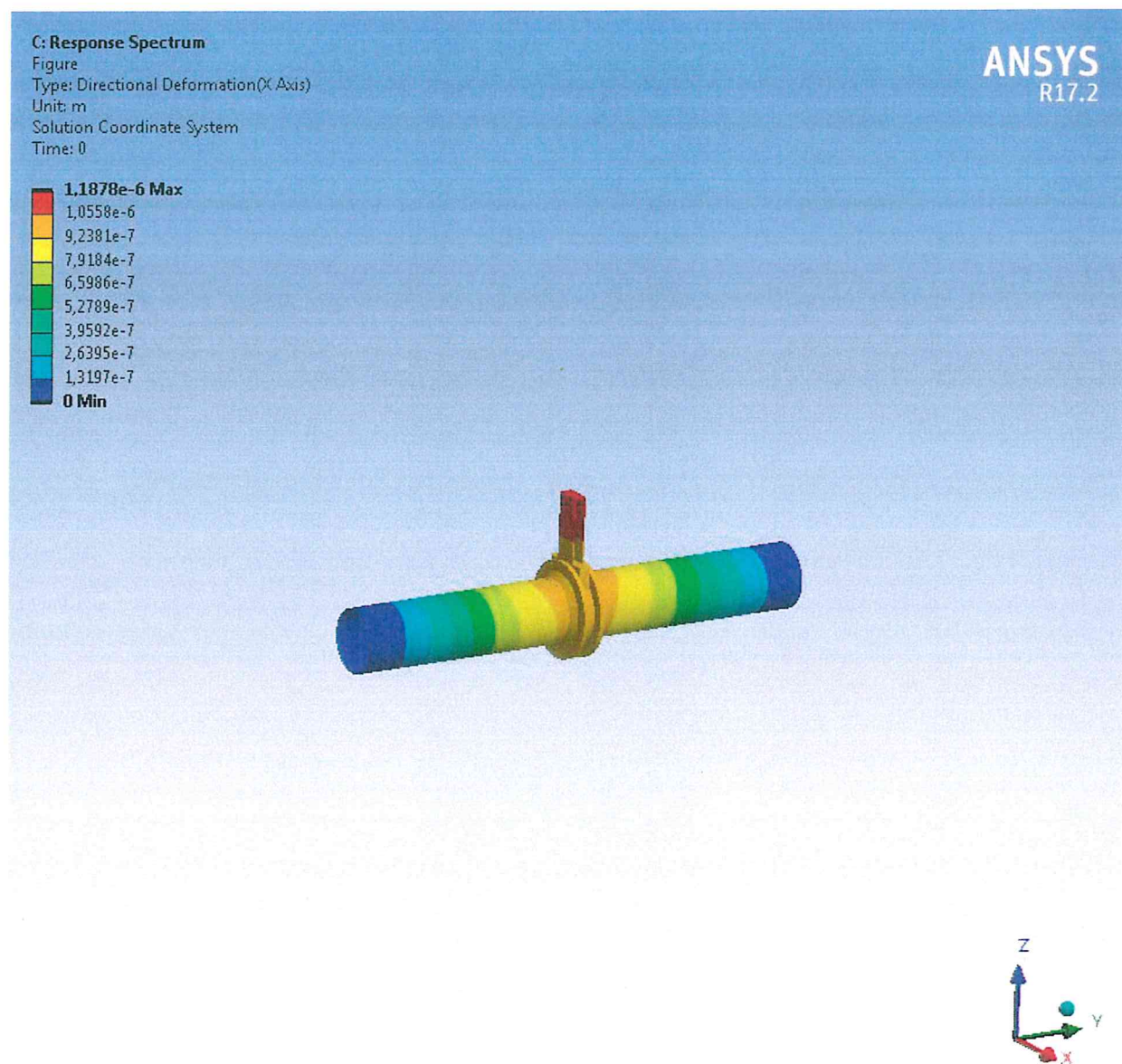


Рис. 11 Перемещения по оси X [м]



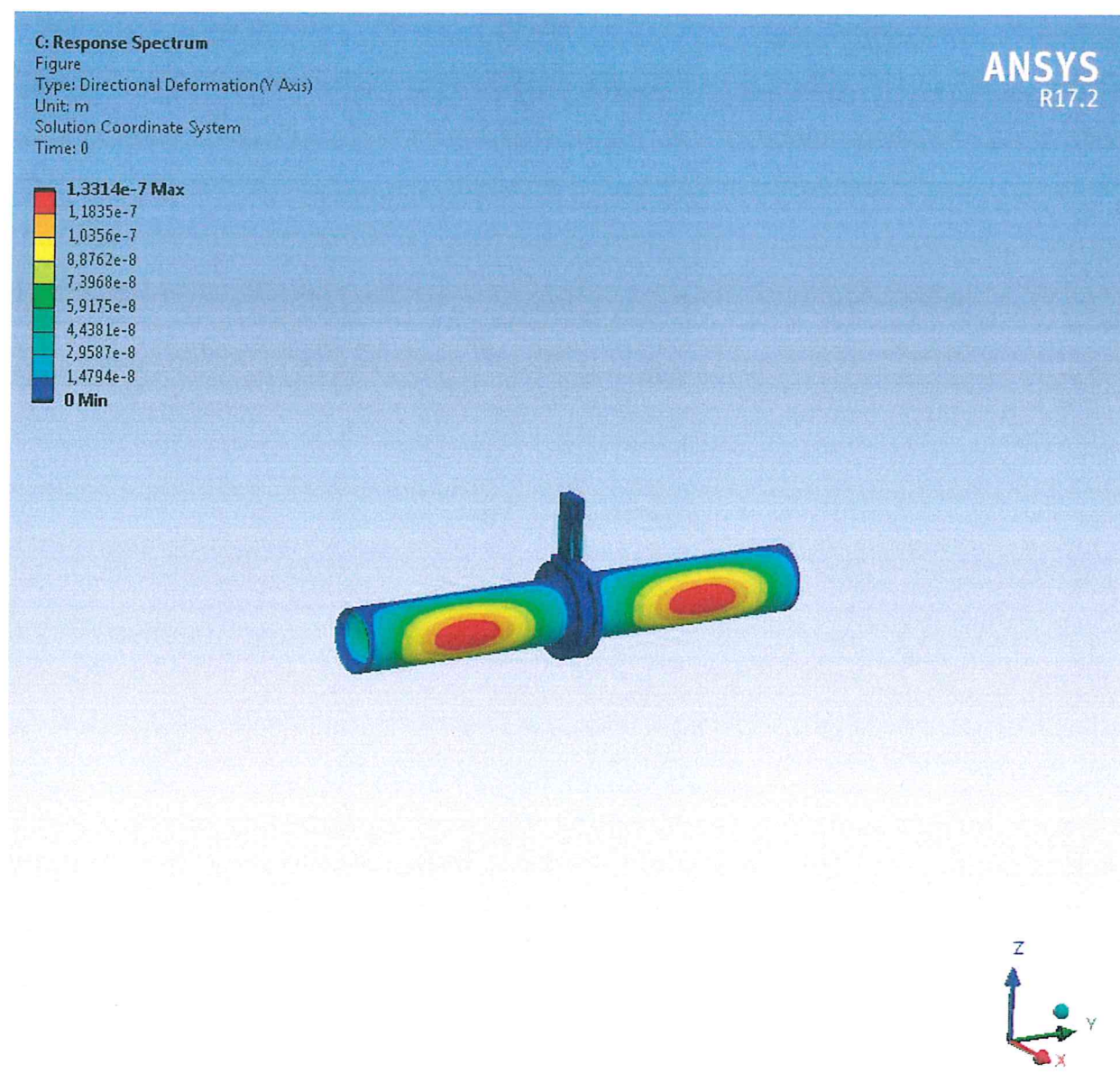


Рис. 12 Перемещения по оси Y [м]



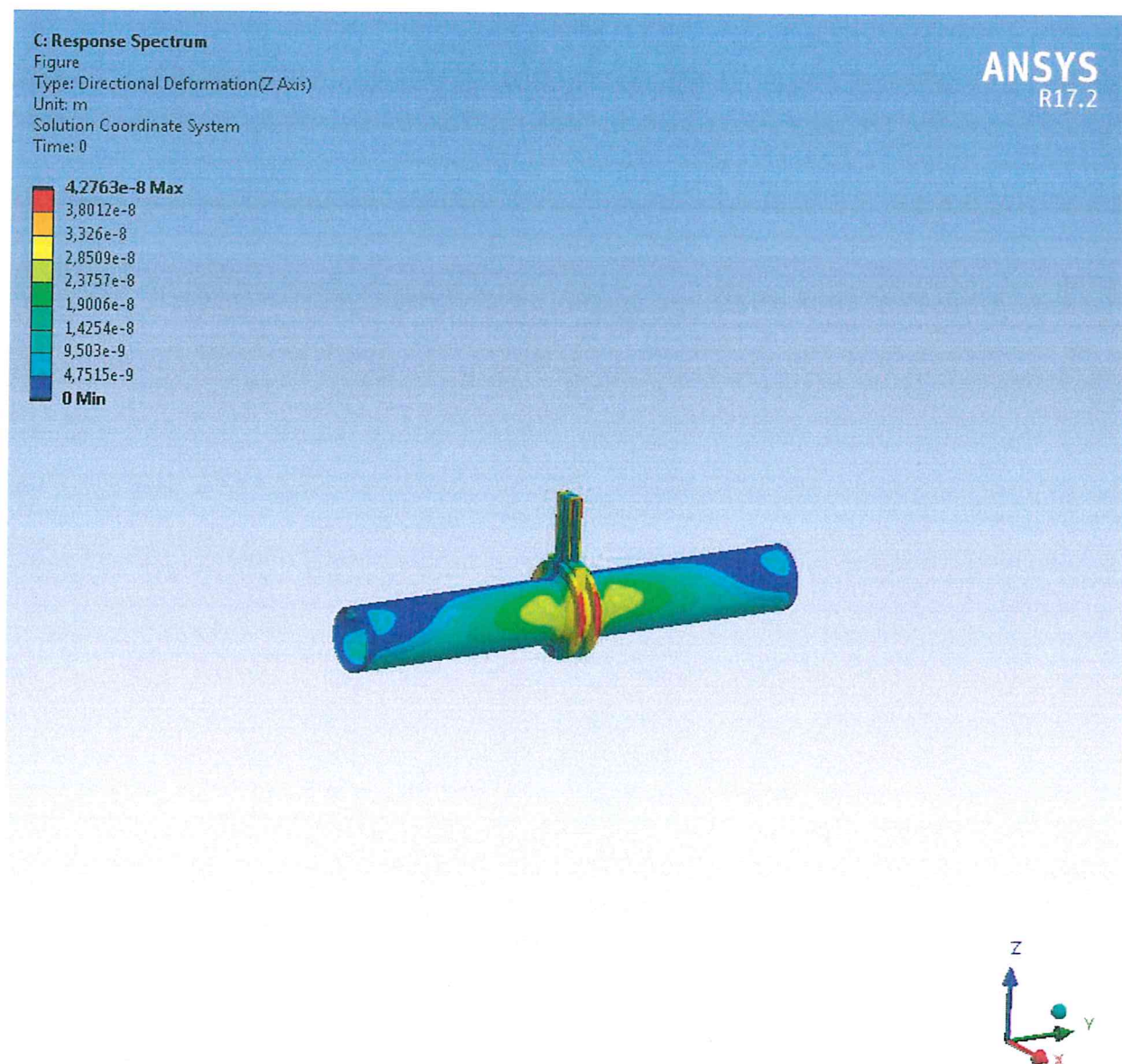


Рис. 13 Перемещения по оси Z [м]



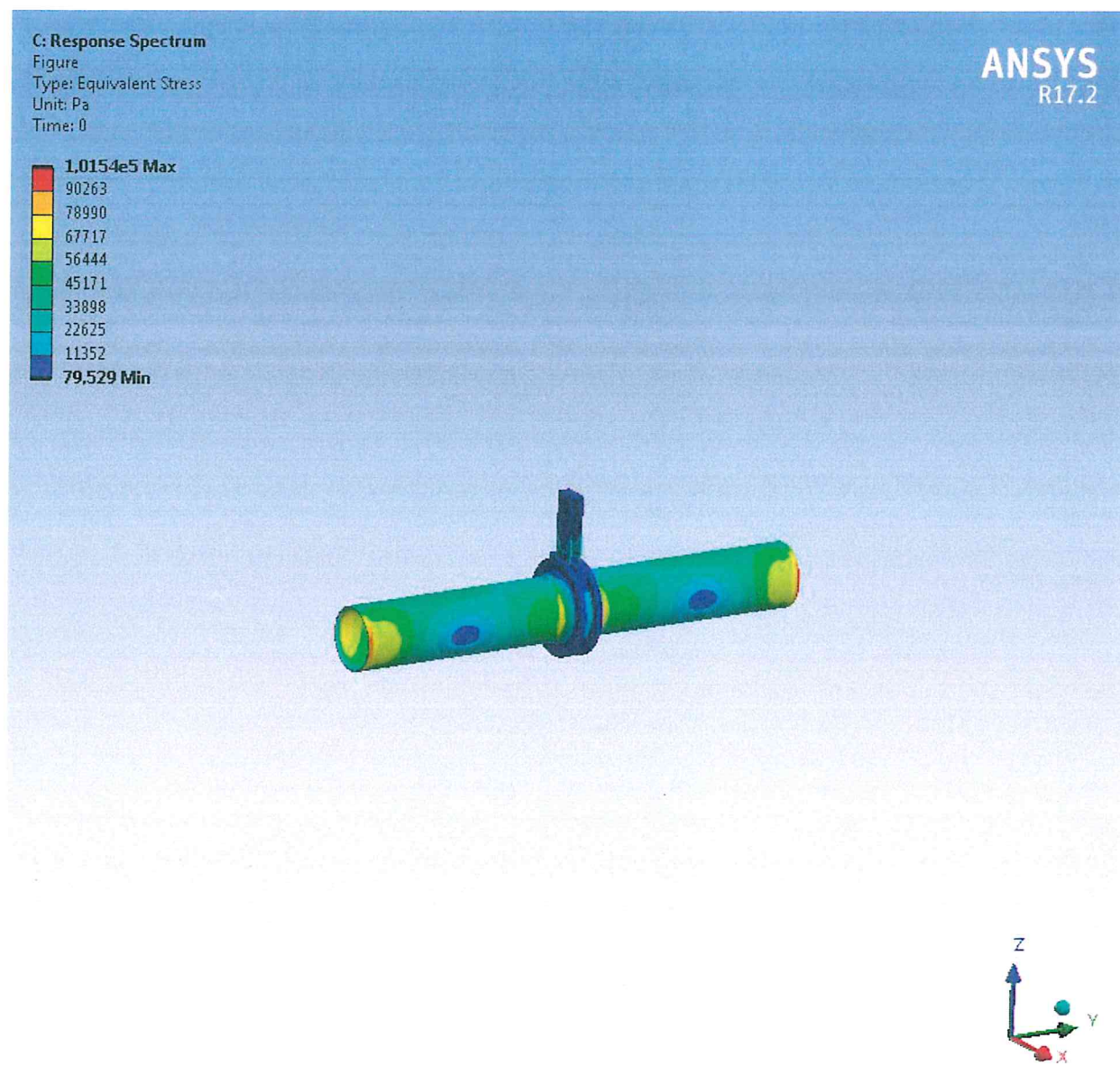


Рис. 14 Эквивалентные напряжения [Па]



4.3 Визуализация коэффициента запаса прочности от сейсмического воздействия:

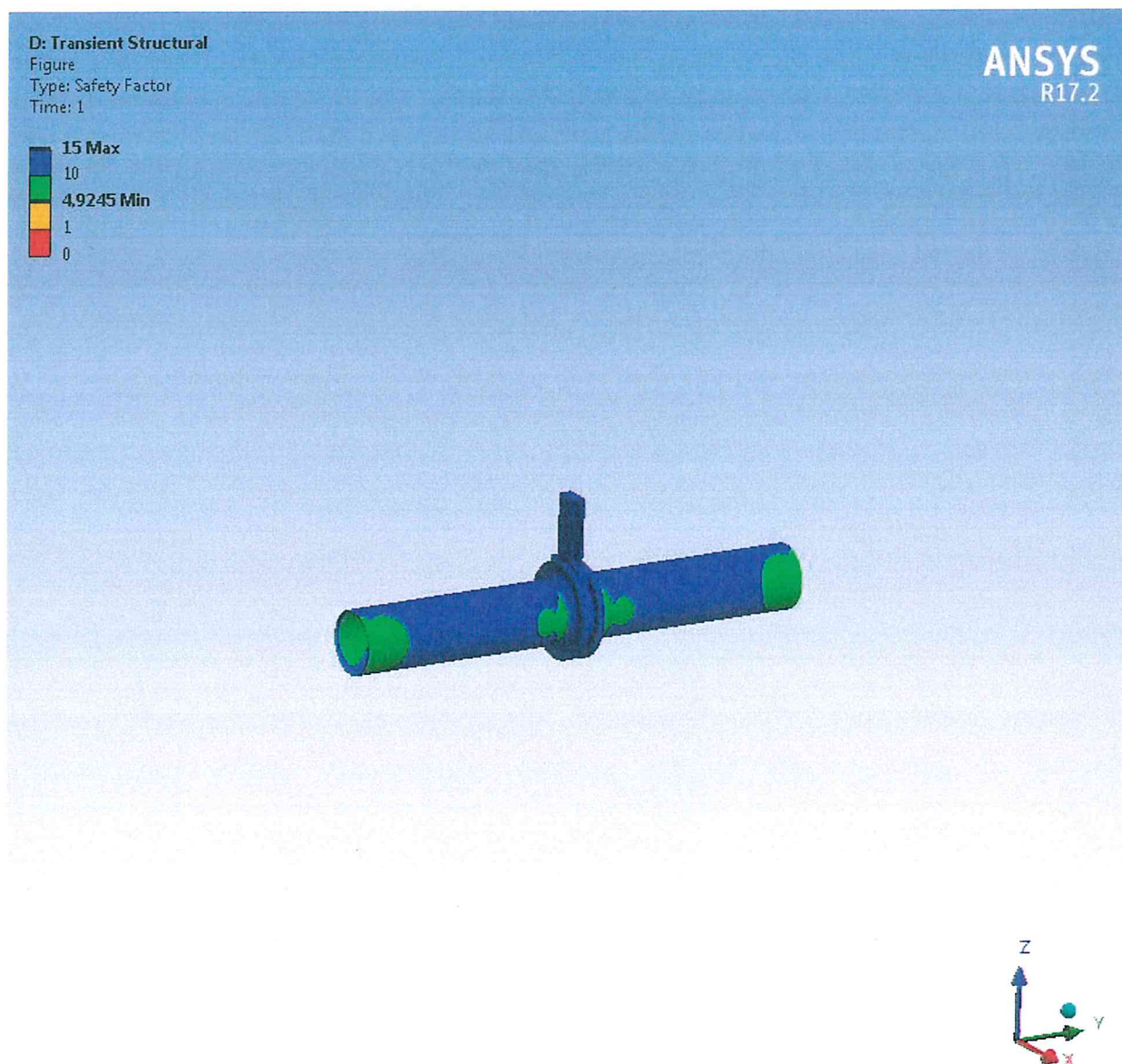


Рис. 18 Визуализация коэффициента запаса прочности



5. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Испытание на сейсмическое воздействие задвижек шиберных ножевых серий ПА500 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 задвижки, сейсмическое воздействие на задвижку, визуализация коэффициента запаса прочности при динамическом воздействии;
3. На основании проведенного испытания можно сделать вывод, что прочность задвижек шиберных ножевых серий ПА500 от сейсмического воздействия в 9 баллов по шкале MSK-64 обеспечена.

