

**Общество с ограниченной ответственностью «СИСТЕМА КАЧЕСТВА»  
(ООО «СИСТЕМА КАЧЕСТВА»)**

302516, Орловская область, Орловский муниципальный округ,  
поселок Куликовский Ливенская улица, дом 9

**Испытательная Лаборатория «СИСТЕМА КАЧЕСТВА»**

302516, Орловская область, Орловский муниципальный округ,  
поселок Куликовский Ливенская улица, дом 9

Телефон: +7 (486) 222-23-60; электронная почта: sistema.teh@rambler.ru

Рег. № РОСС RU.32671.04АЛЯ0ИЛ008 действительно до «8» января 2025 г.



УТВЕРЖДАЮ  
Руководитель ИЛ  
Андреева В.А.

23 октября 2024 г.

Протокол испытаний:	СК-24/10-1173
Дата выдачи протокола:	23.10.2024
Наименование, юридический адрес, фактический адрес места осуществления деятельности (в случае если отличается от юр. адреса) контактные данные заказчика	Общество с ограниченной ответственностью «Томская Арматурно-Насосная Компания» 634050, г. Томск, ул. Лермонтова, 41, строение 2, помещение 14
Изготовитель, юридический адрес, фактический адрес места осуществления деятельности (в случае если отличается от юр. адреса)	Общество с ограниченной ответственностью «Томская Арматурно-Насосная Компания» 634050, г. Томск, ул. Лермонтова, 41, строение 2, помещение 14
Наименование (торговая марка/модель/тип/артикул) образца (ов) испытаний:	Задвижка чугунная с обрешиненным клином
Документ (ы), устанавливающий (е) требования к продукции:	ГОСТ 30546.1-98, ГОСТ 30546.2-98, ГОСТ 30546.3-98 (исполнение сейсмостойкости 9 баллов по шкале MSK-64)
Результаты испытаний настоящего протокола относятся только к представленному образцу (ам). Размножение или перепечатка протокола испытаний без разрешения испытательной лаборатории не допускается. Лаборатория несет ответственность за всю информацию, представленную в протоколе, за исключением случаев, когда информацию предоставляет заказчик.	

**1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

Испытание на сейсмическое воздействие на задвижка чугунная с обрешиненным клином (далее – «изделие»). Расчет выполнен на основании технической документации, ГОСТ 30546.1-98, ГОСТ 30546.2-98, ГОСТ 30546.3-98 (исполнение сейсмостойкости 9 баллов по шкале MSK-64)

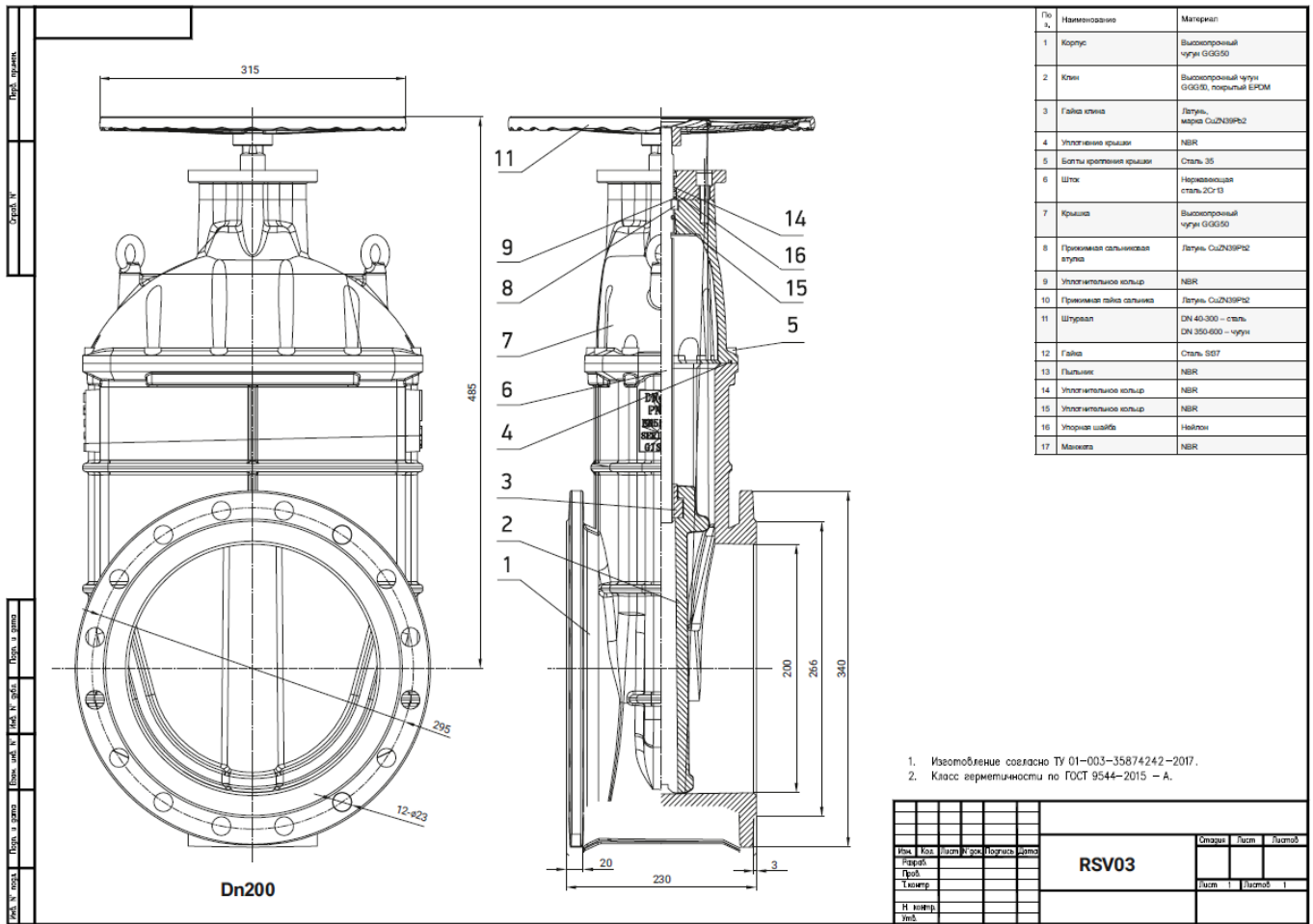


Рис. 1. Общий вид.

**2 НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ИЗДЕЛИЕ**

На основании технической документации рис. 1, была построена модель рис.3.

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

1. собственный вес с коэффициентом 1.05;
2. сейсмическое воздействие в 9 баллов по шкале MSK-64.

**3 МЕТОДИКА РАСЧЕТА**

Расчет, выполняемый программой ANSYS, основан на классических инженерных представлениях и концепциях. ANSYS — универсальная программная система конечно-элементного (МКЭ) анализа. Экспертным советом по аттестации программ для ЭВМ при Ростехнадзоре ФБУ «НТЦ ЯРБ» согласованы и выпущены аттестационные паспорта программ для ЭВМ ANSYS/LS-DYNA и ANSYS Mechanical для выполнения расчетов напряженно-деформированного состояния бетонных и железобетонных строительных конструкций зданий и сооружений (ЗиС) объектов использования атомной энергетики (ОИАЭ) под действием статических и динамических нагрузок, с учетом возможности развития под нагрузкой пластических деформаций и трещинообразования, для режимов нормальной эксплуатации, нарушения нормальной эксплуатации, проектных и запроектных аварий. Аттестационный паспорт №581 от 31 марта 2023 года. Срок действия до 31 марта 2033 года. Настоящий расчёт является консультационным.

Совокупность дискретных областей (элементов), связанных между собой в конечном числе точек (узлов), представляет собой математическую модель системы, поведение которой нужно анализировать. 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 (18) ... (23), обратная матрица записывается в виде (4) и (5);

$\{\varepsilon_{el}\} = \{\varepsilon\} - \{\varepsilon_{th}\}$  - 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 (определяется соотношением (3)).

Компоненты вектора напряжений показаны на Рис. 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.

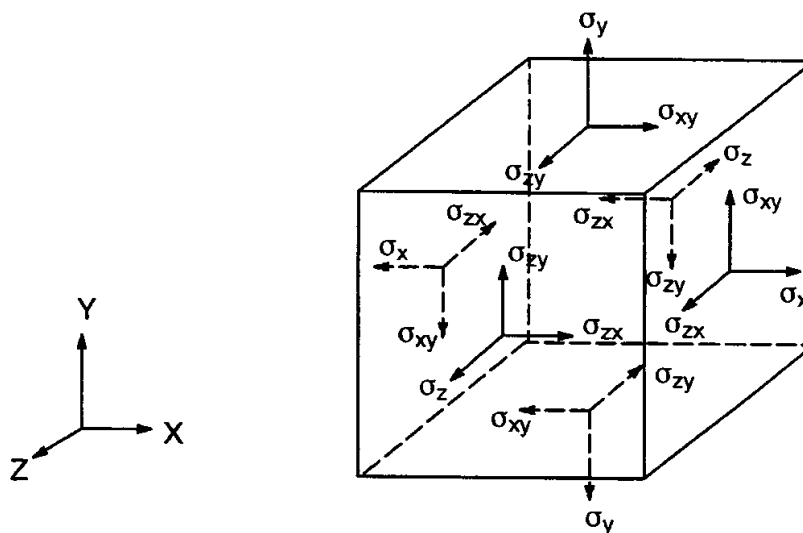


Рис. 2. Компоненты вектора напряжений

Уравнение (1) может быть обращено следующим образом:

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

Для трехмерного случая вектор температурных деформаций определяется в виде соотношения:

$$\{\varepsilon_{th}\} = \Delta T \begin{bmatrix} \alpha_x & \alpha_y & \alpha_z & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} T, \quad (3)$$

где  $\alpha_x$  – коэффициент температурного расширения в направлении оси X

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

$$[D]-1 = \begin{bmatrix} 1/E_x & -\nu_{xy}/E_y & -\nu_{xz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{yx}/E_x & 1/E_y & -\nu_{yz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{zx}/E_x & -\nu_{zy}/E_y & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_z \end{bmatrix} \quad (4)$$

При использовании нормализация по строкам, матрица записывается следующим образом:

$$[D]-1 = \begin{bmatrix} 1/E_x & -\nu^*_{xy}/E_y & -\nu^*_{xz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu^*_{yx}/E_x & 1/E_y & -\nu^*_{yz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu^*_{zx}/E_x & -\nu^*_{zy}/E_y & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{yz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{zx} \end{bmatrix} \quad (5)$$

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:

$$\nu_{yx} / E_x = \nu_{xy} / E_y \quad (6)$$

$$\nu_{zx} / E_x = \nu_{xz} / E_z \quad (7)$$

$$\nu_{zy} / E_y = \nu_{yz} / E_z \quad (8)$$

или

$$\nu^*_{yx} / E_y = \nu^*_{xy} / E_x \quad (9)$$

$$\nu^*_{zx} / E_z = \nu^*_{xz} / E_x \quad (10)$$

$$\nu^*_{zy} / E_z = \nu^*_{yz} / E_y \quad (11)$$

Согласно приводимым 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), (4), а также (6) ... (8), получаем шесть уравнений:

$$\varepsilon_x = \alpha_x \Delta T + \sigma_x / E_x - \nu_{xy} \sigma_y / E_y - \nu_{xz} \sigma_z / E_z \quad (12)$$

$$\varepsilon_y = \alpha_y \Delta T + \sigma_y / E_y - \nu_{yx} \sigma_x / E_x - \nu_{yz} \sigma_z / E_z \quad (13)$$

$$\varepsilon_z = \alpha_z \Delta T + \sigma_z / E_z - \nu_{zx} \sigma_x / E_x - \nu_{zy} \sigma_y / E_y \quad (14)$$

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

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

$$\varepsilon_{xz} = \sigma_{xz} / G_{xz} \quad (17)$$

где  $\varepsilon_x$  - деформация в направлении оси X,

$\varepsilon_{xy}$  - 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 переписывается в развернутом виде, используя обратную матрицу (4), что вместе с уравнениями (3), (6) ... (8) дает шесть соотношений для напряжений:

$$\sigma_x = E_x/h [1 - (\nu_{yz})^2 E_y/E_z] (\varepsilon_x - \alpha_x \Delta T) + E_x/h [\nu_{xy} + \nu_{xz}\nu_{yz} E_y/E_z] (\varepsilon_y - \alpha_y \Delta T) + E_x/h [\nu_{xz} + \nu_{yz}\nu_{xy}] (\varepsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad (18)$$

$$\sigma_y = E_x/h [\nu_{xy} + \nu_{xz}\nu_{yz} E_y/E_z] (\varepsilon_x - \alpha_x \Delta T) + E_y/h [1 - (\nu_{xz})^2 E_x/E_z] (\varepsilon_y - \alpha_y \Delta T) + E_y/h [\nu_{yz} + \nu_{xz}\nu_{xy} E_x/E_y] (\varepsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad (19)$$

$$\sigma_z = E_x/h [\nu_{xz} + \nu_{yz}\nu_{xy}] (\varepsilon_x - \alpha_x \Delta T) + E_y/h [\nu_{yz} + \nu_{xz}\nu_{xy} E_x/E_y] (\varepsilon_y - \alpha_y \Delta T) + E_z/h [1 - (\nu_{xy})^2 E_x/E_y] (\varepsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad (20)$$

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

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

$$\sigma_{xz} = G_{xz} \epsilon_{xz}, \quad (23)$$

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:

$$G_{xy} = (E_x E_y) / (E_x + E_y + 2 v_{xy} E_x) \quad (24)$$

$$G_{yz} = G_{xy} \quad (25)$$

$$G_{xz} = G_{xy} \quad (26)$$

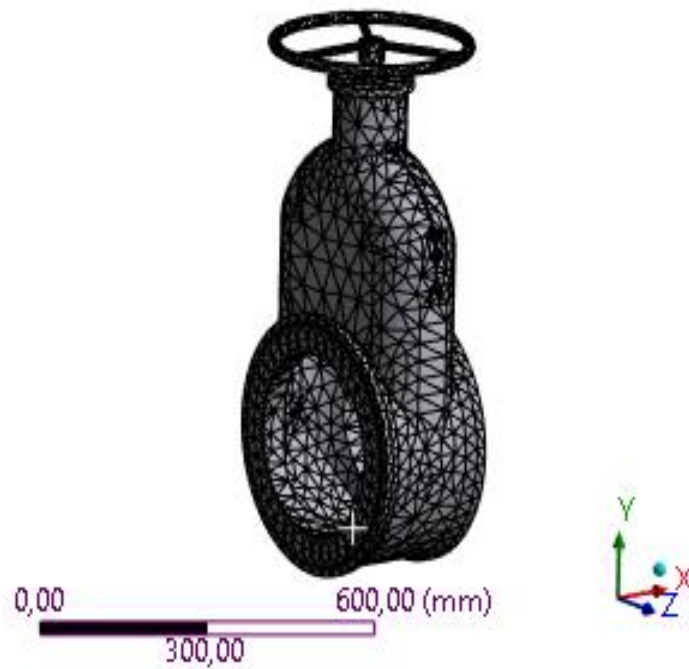


Рис. 3. Расчетная аппроксимированная модель  
Определение собственных частот колебаний изделия:

№ рис.	Форма колебаний	Частота, Гц
5	1	85,1
6	2	90,2
7	3	91,8
8	4	136
9	5	245
10	6	258

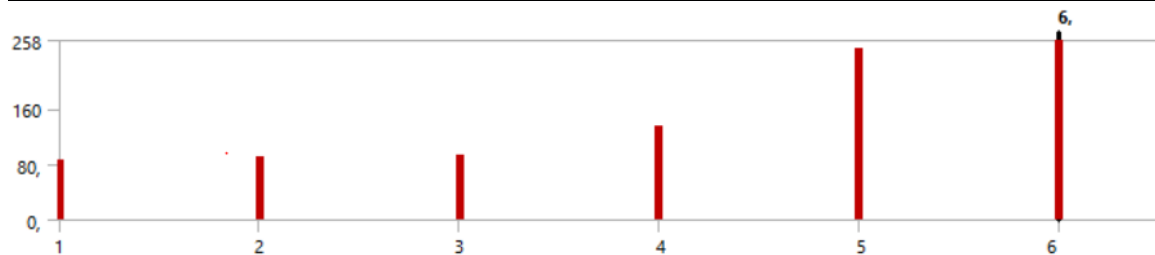


Рис. 4. Гистограмма собственных частот колебаний

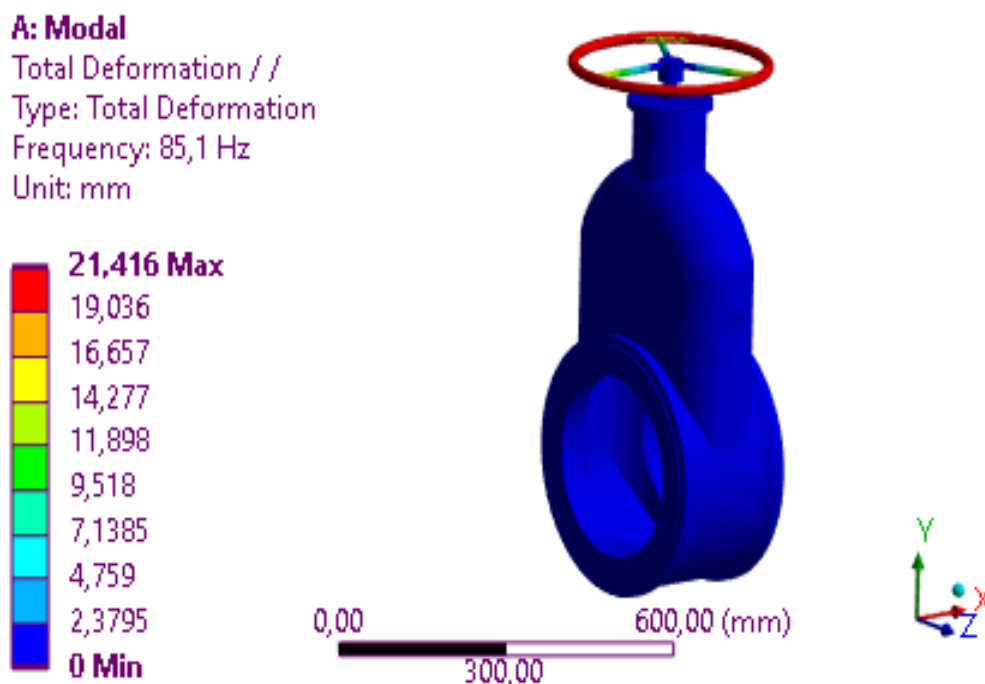


Рис. 5. Амплитуда при 1-й форме колебаний [мм]

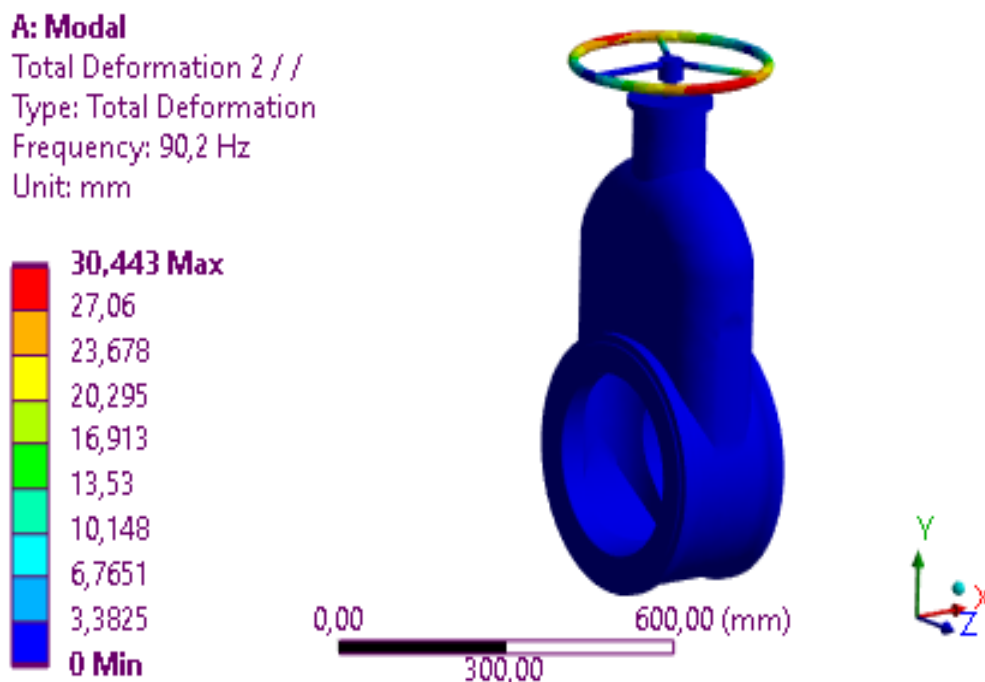


Рис. 6. Амплитуда при 2-й форме колебаний [мм]

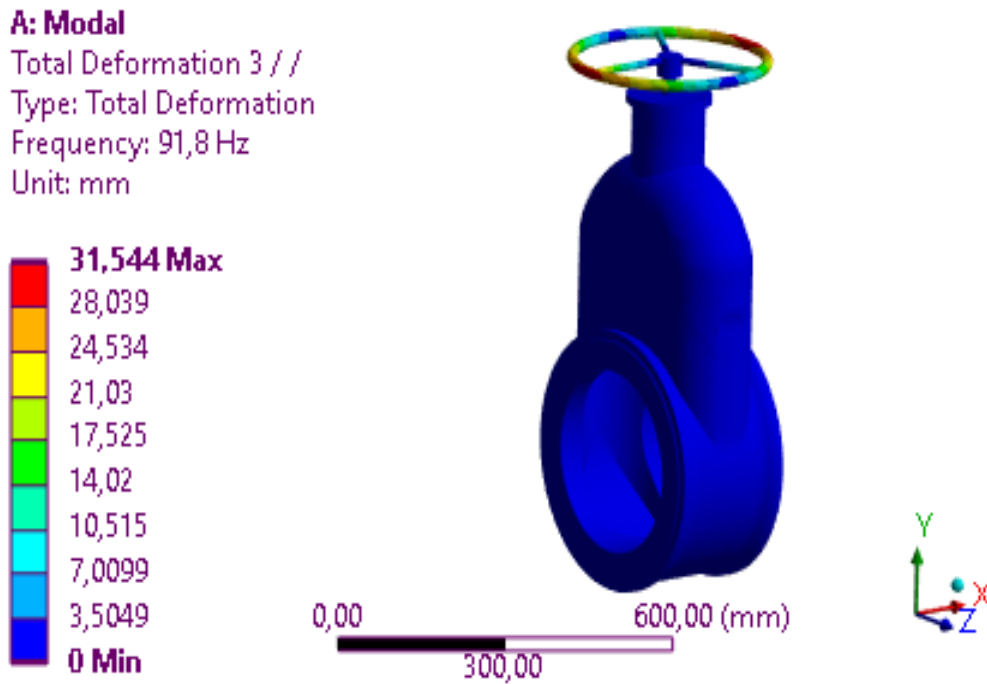


Рис. 7. Амплитуда при 3-й форме колебаний [мм]

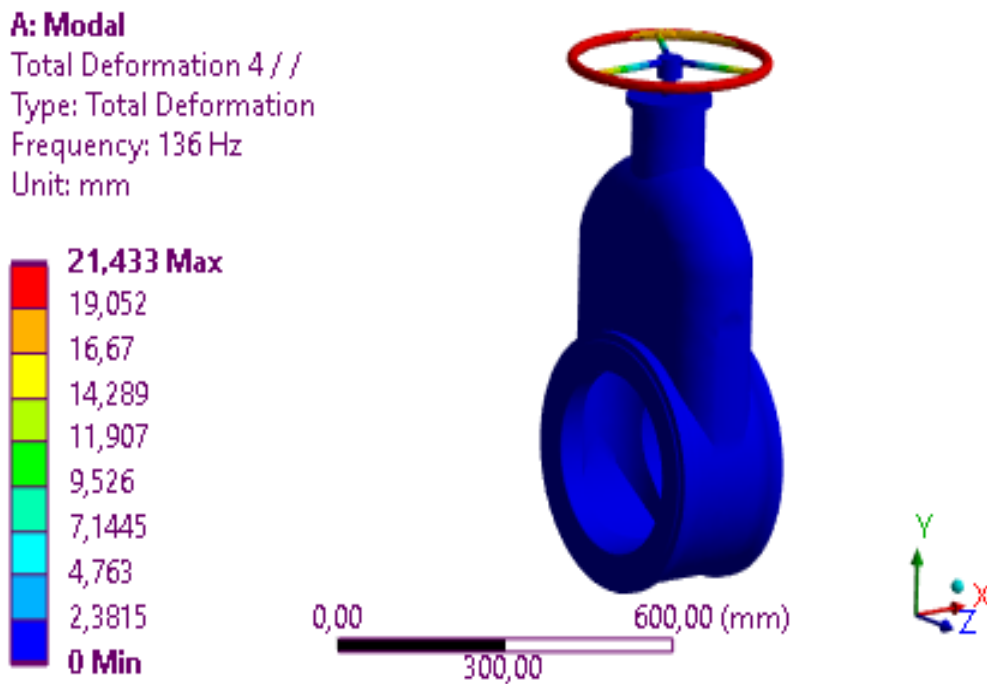


Рис. 8. Амплитуда при 4-й форме колебаний [мм]



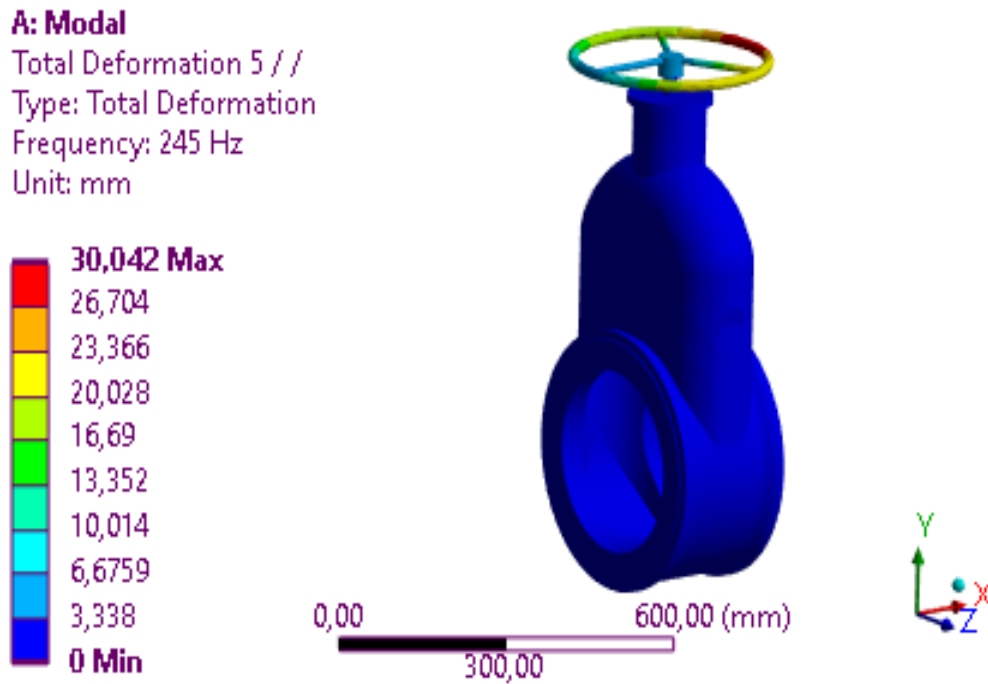


Рис. 9. Амплитуда при 5-й форме колебаний [мм]

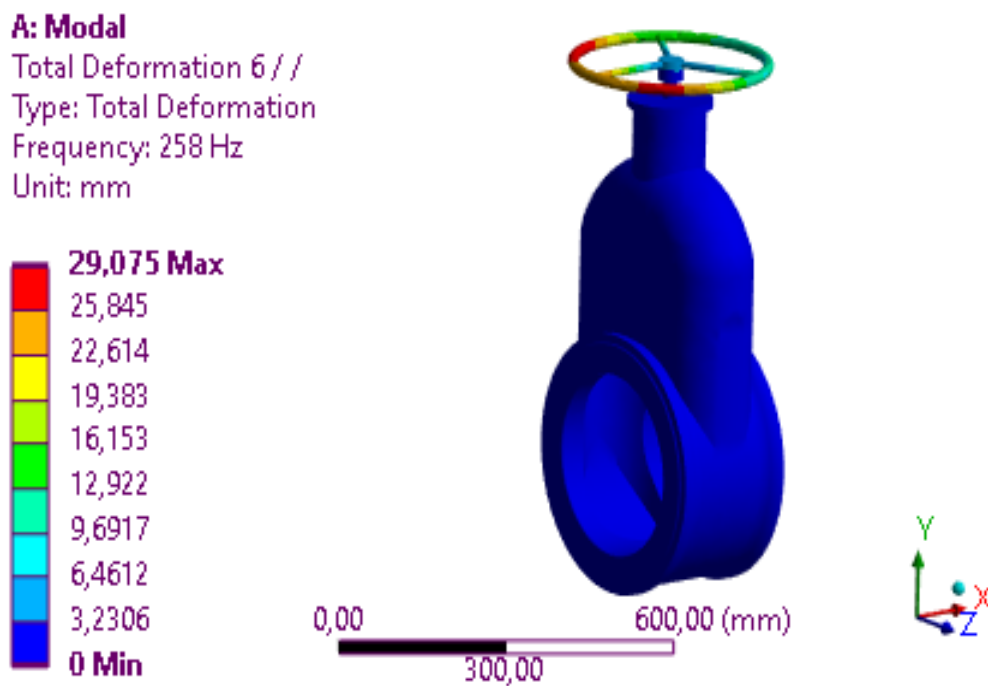


Рис. 10. Амплитуда при 6-й форме колебаний [мм]

Анализ сейсмического воздействия на изделие:

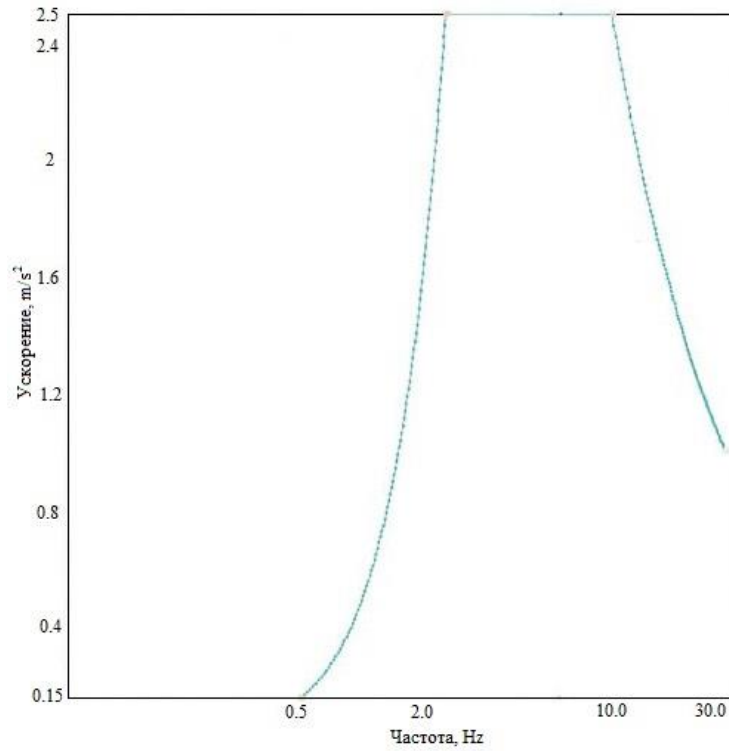


Рис. 11. График зависимости между максимальной амплитудой ускорения и частотой синусоидальной вибрации – расчетный спектр воздействия.

Значение частот и ускорений для характеристических точек по рисунку 11

Частота [Hz]	Ускорение [m/s <sup>2</sup> ]
0.5	0.375
2	6.25
10	
30	2.5

**B: Response Spectrum**

Directional Deformation / /  
Type: Directional Deformation(X Axis)  
Unit: mm  
Solution Coordinate System  
Time: 0 s

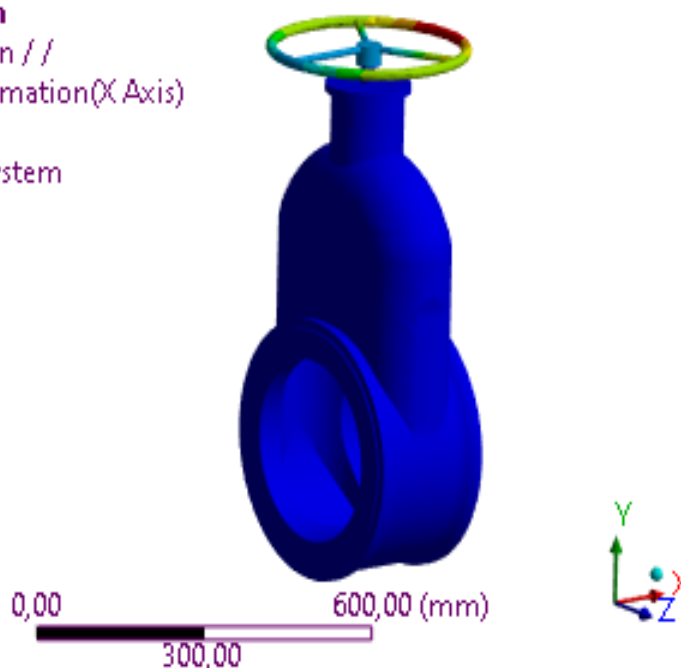
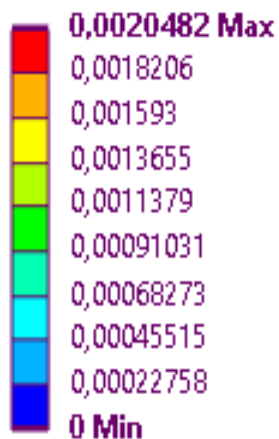


Рис. 12. Деформации по оси X [мм]

**B: Response Spectrum**

Directional Deformation 2 / /  
Type: Directional Deformation(Y Axis)  
Unit: mm  
Solution Coordinate System  
Time: 0 s

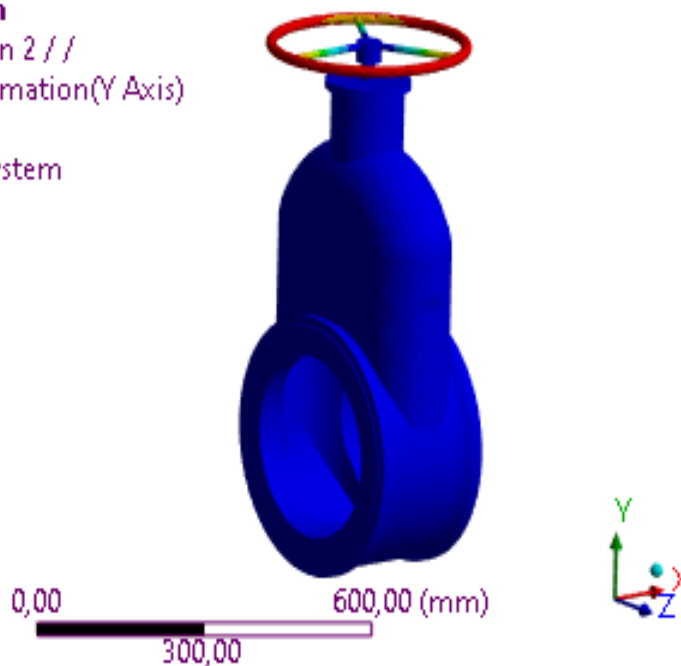
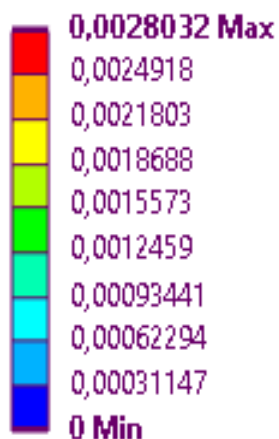


Рис. 13. Деформации по оси Y [мм]

**B: Response Spectrum**

Directional Deformation 3 / /  
Type: Directional Deformation(Z Axis)  
Unit: mm  
Solution Coordinate System  
Time: 0 s

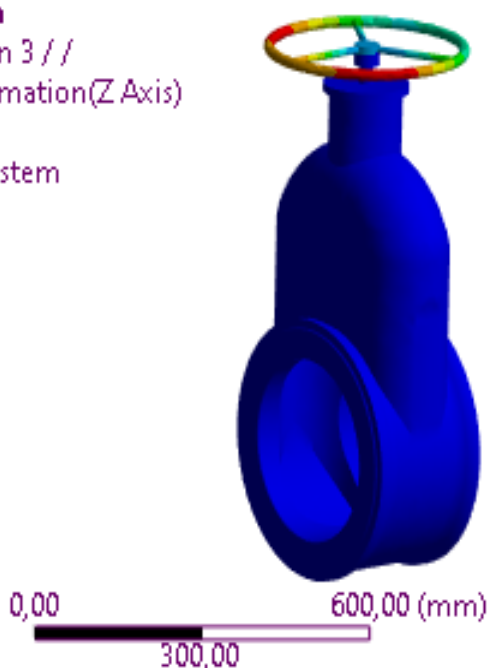
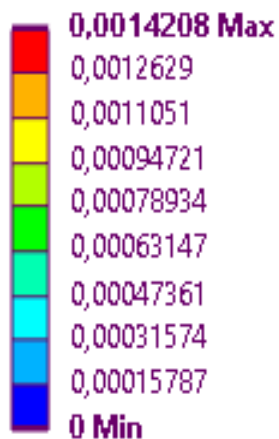


Рис. 14. Деформации по оси Z [мм]

**B: Response Spectrum**

Equivalent Stress 2 / /  
Type: Equivalent Stress  
Unit: MPa  
Time: 0 s

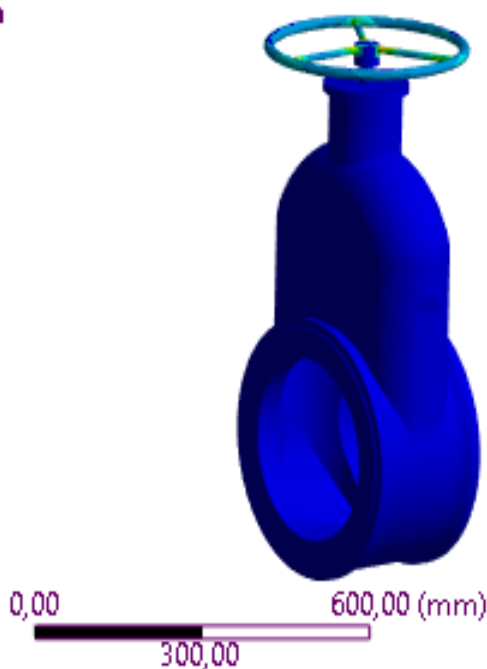
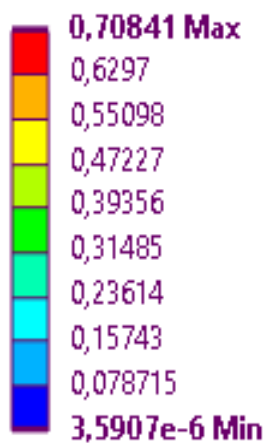


Рис. 15. Эквивалентные напряжения [МПа]

**B: Response Spectrum**

Directional Acceleration 4 / /  
Type: Directional Acceleration  
Unit: mm/s<sup>2</sup>  
Solution Coordinate System  
Time: 0 s

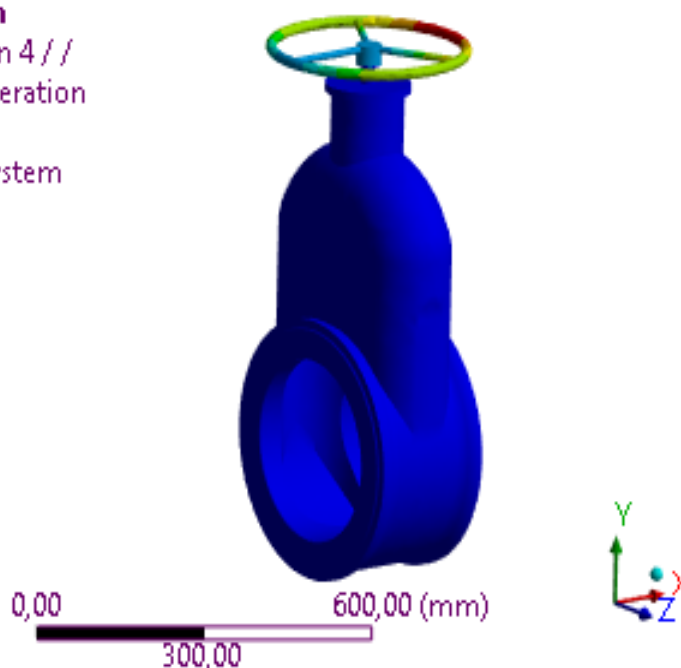
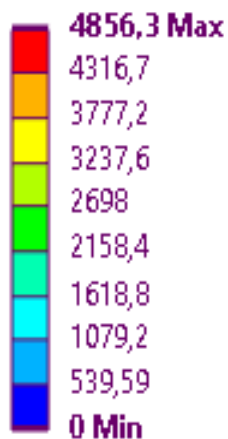


Рис. 16. Ускорения по оси X [мм/с<sup>2</sup>]

**B: Response Spectrum**

Directional Acceleration 5 / /  
Type: Directional Acceleration  
Unit: mm/s<sup>2</sup>  
Solution Coordinate System  
Time: 0 s

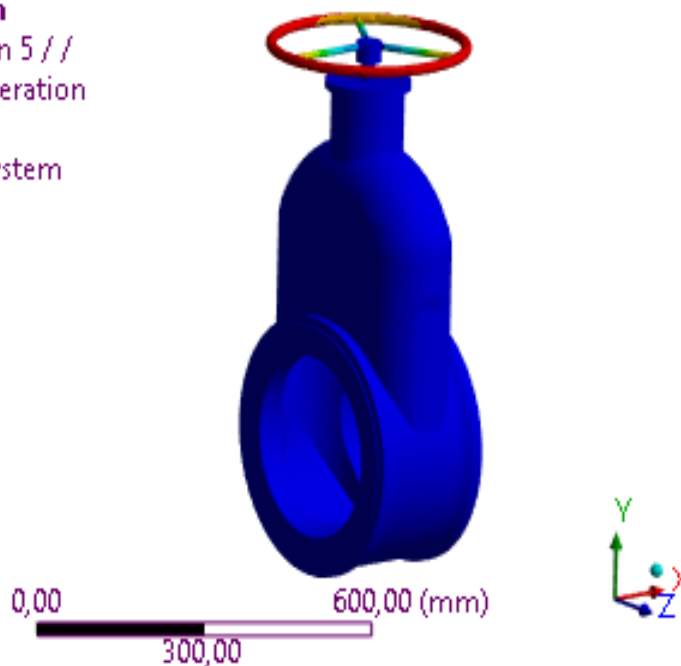
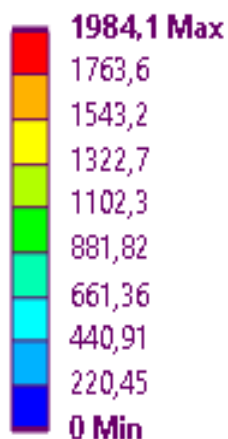


Рис. 17. Ускорения по оси Y [мм/с<sup>2</sup>]

**B: Response Spectrum**

Directional Acceleration 6 //  
Type: Directional Acceleration  
Unit: mm/s<sup>2</sup>  
Solution Coordinate System  
Time: 0 s

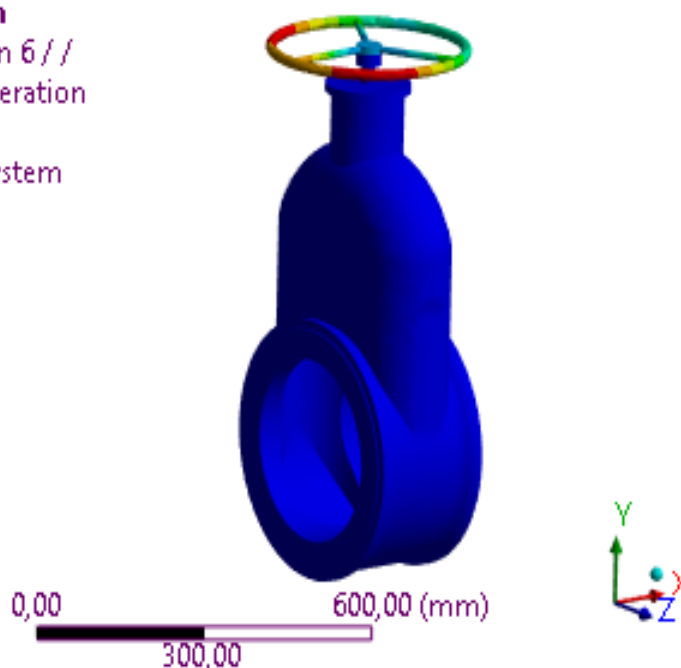
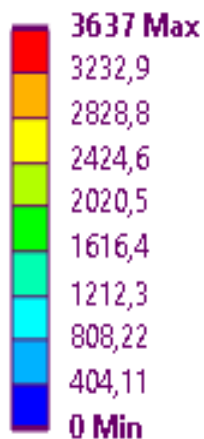


Рис. 18. Ускорения по оси Z [мм/с<sup>2</sup>]

Визуализация коэффициента запаса прочности:

**C: Static Structural**  
Safety Factor //  
Type: Safety Factor  
Time: 1

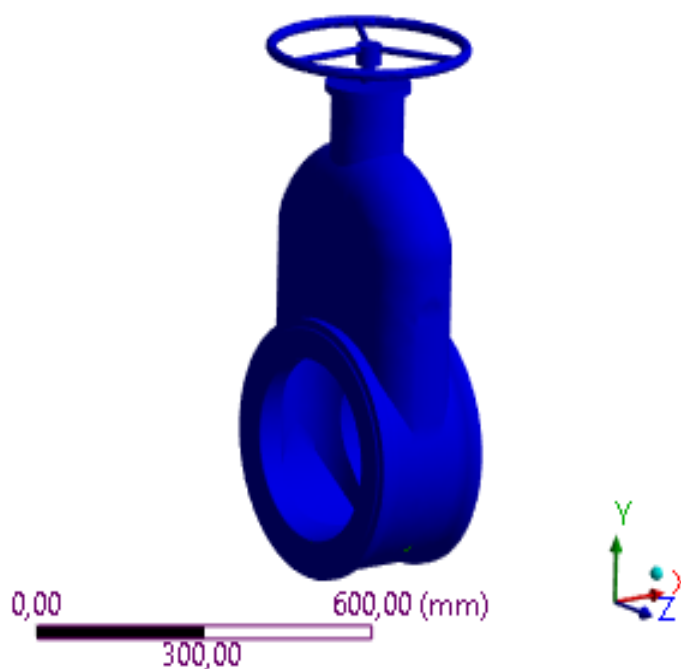


Рис. 19. Визуальный коэффициент запаса прочности

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:**

1. Испытание на сейсмическое воздействие выполнено расчетным методом на основании ГОСТ 30546.1-98, ГОСТ 30546.2-98, ГОСТ 30546.3-98 (исполнение сейсмостойкости 9 баллов по шкале MSK-64)
2. В расчете представлены собственные частоты колебаний изделия, сейсмическое воздействие, визуализация коэффициента запаса прочности;
3. На основании проведенного расчёта можно сделать выводы, что прочность изделия от сейсмического воздействия в 9 баллов по шкале MSK-64 **обеспечена**.

**Конец протокола испытаний**