

Система добровольной сертификации продукции, услуг,  
систем менеджмента и персонала  
«Сертификационно-Испытательный Центр «Рус-Тест»



# СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ

№ РОСС.RU.HX37.H09967

Срок действия с 14.05.2021

по 13.05.2024

№ 0346477

**ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ** пер. № RU.RU.10HX37

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "СЕРТПРОМЭКСПЕРТ".

Место нахождения: 121359, РОССИЯ, ГОРОД МОСКВА, УЛИЦА МАРШАЛА ТИМОШЕНКО, ДОМ 4, ПОМЕЩЕНИЕ I КОМНАТА 2

Телефон: +7 4953906318, email: sertpromexpert@mail.ru. Аттестат аккредитации № RU.RU.10HX37 от 03.12.2019

## ПРОДУКЦИЯ

Электростанции с газопоршневыми двигателями автоматизированные контейнерного исполнения мощностью более 10 кВт типа "Энерго-П", напряжением до 10,5 кВ включительно. ТУ 27.11.32-057-74760821-2019. Серийный выпуск.

код ОК

27.11.32

## СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

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

код ТН ВЭД

8502 20

## ИЗГОТОВИТЕЛЬ

Общество с ограниченной ответственностью «НГ-Энерго»

Адрес: 188508, Россия, Ленинградская область, Ломоносовский район, Волхонское шоссе, дом 4, квартал 2

Фактический адрес: 188508, Россия, Ленинградская область, Ломоносовский район, Волхонское шоссе, дом 4, квартал 2

ОГРН: 1157847017415, телефон: (812) 334-05-60, адрес электронной почты: info@ngenergo.ru

## СЕРТИФИКАТ ВЫДАН

Общество с ограниченной ответственностью «НГ-Энерго»

Адрес: 188508, Россия, Ленинградская область, Ломоносовский район, Волхонское шоссе, дом 4, квартал 2

Фактический адрес: 188508, Россия, Ленинградская область, Ломоносовский район, Волхонское шоссе, дом 4, квартал 2

ОГРН: 1157847017415, телефон: (812) 334-05-60, адрес электронной почты: info@ngenergo.ru

## НА ОСНОВАНИИ

Протокола испытаний № 04-5278-2021 от 20.04.2021 года, выданного ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ «ГЕРЦ»

ОБЩЕСТВА С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «ЕАК», аттестат аккредитации РОСС RU.32001.04ИБФ1.ИЛ13

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Схема сертификации: Зс

Руководитель органа

подпись

Д.И. Данилова

инициалы, фамилия

Эксперт

подпись

А.В. Жиров

инициалы, фамилия

Сертификат не применяется при обязательной сертификации



## СИСТЕМА ДОБРОВОЛЬНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ

«ПромТехСтандарт»

Зарегистрирована в Едином реестре систем добровольной сертификации Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии Российской Федерации (Росстандарт РФ)

### ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ «ГЕРЦ» ОБЩЕСТВА С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «ЕАК»

115404, РФ, г. Москва, 1-я Стекольная улица, дом 7с8а  
тел. + 7 (495) 201-92-93,  
e-mail: info@gerz-lab.ru  
Аттестат № РОСС RU.32001.04ИБФ1.ИЛ13



#### ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 04-5278-2021 от 20.04.2021 года

|   |   |
|---|---|
| Место проведения испытаний:   | Испытательная лаборатория ООО «ГЕРЦ»  |
| Заявитель:  | Общество с ограниченной ответственностью «НГ-Энерго», 188508, Ленинградская область, Ломоносовский район, Волхонское шоссе, дом 4, квартал 2                        |
| Наименование продукции:   | Электростанции с газопоршневыми двигателями автоматизированные контейнерного исполнения мощностью более 10 кВт типа «Энерго-П», напряжением до 10,5 кВ включительно |
| Изготовитель:   | Общество с ограниченной ответственностью «НГ-Энерго», 188508, Ленинградская область, Ломоносовский район, Волхонское шоссе, дом 4, квартал 2                        |
| Технический регламент нормативные документы, устанавливающие требования к продукции | ГОСТ 30546.1-98, ГОСТ 30546.2-98, ГОСТ 30546.3-98 (исполнение 9 баллов по шкале MSK-64)   |
| Испытано согласно требованиям:  | ГОСТ 30546.1-98, ГОСТ 30546.2-98, ГОСТ 30546.3-98 (исполнение 9 баллов по шкале MSK-64)   |
| Дата получения образца  | -   |

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ .....                                 | 3  |
| 2. НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ИЗДЕЛИЕ ..... | 4  |
| 3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА.....                                | 4  |
| 4. РАСЧЕТ ИЗДЕЛИЯ.....                                  | 8  |
| 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....                                      | 17 |

# 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Испытание на сейсмическое воздействие Электростанции с газопоршневыми двигателями автоматизированные контейнерного исполнения мощностью более 10 кВт типа «Энерго-II» (далее – «изделие») 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 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».

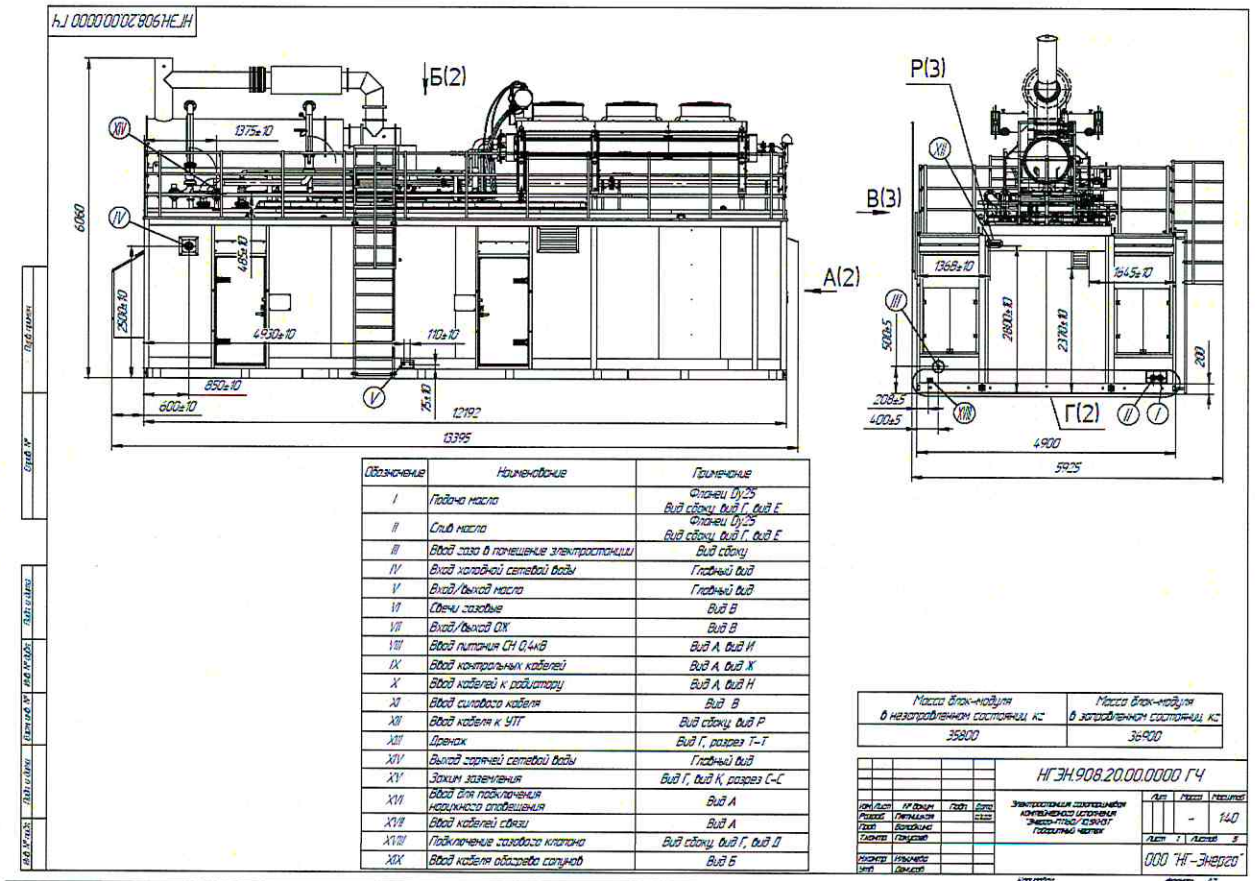


Рис. 1. Общий вид изделия

## 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 1.1;
2. сейсмическое воздействие в 9 баллов по шкале MSK-64.

## 3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА

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, 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:

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

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);

[D] – матрица упругости (описывается уравнениями (1-18) ... (1-23), обратная матрица записывается в виде (1-4) и (1-5);

$\{\epsilon_{el}\} = \{\epsilon\} - \{\epsilon_{th}\}$  - выходной массив;

$\{\epsilon\} = \begin{bmatrix} \epsilon_x & \epsilon_y & \epsilon_z & \epsilon_{xy} & \epsilon_{yz} & \epsilon_{xz} \end{bmatrix}^T$  - вектор полной (суммарной) деформации;

$\{\epsilon_{th}\}$  – вектор температурной деформации (определяется соотношением (1-3).

Компоненты вектора напряжений показаны на Рис. 1-1. 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.

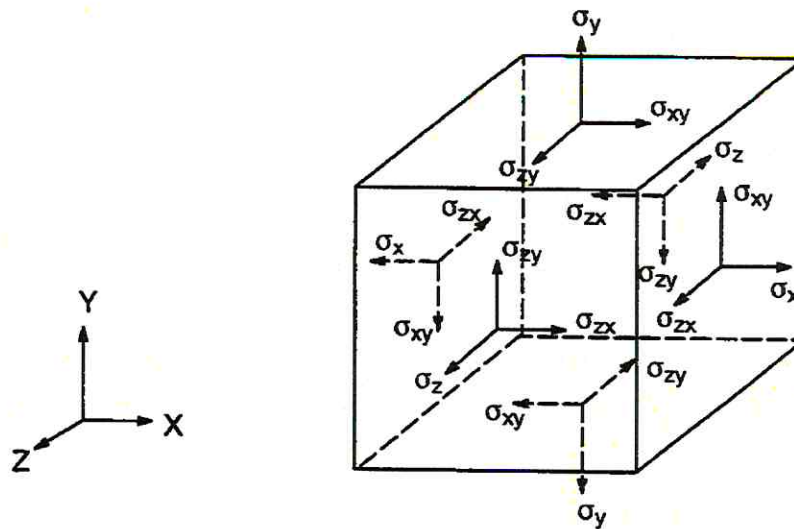


Рис. 2. Компоненты вектора напряжений

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:

$$\{\varepsilon_{th}\} = \Delta T [\alpha_x \alpha_y \alpha_z 0 0 0]^T, \quad (3)$$

где  $\alpha_x$  – коэффициент температурного расширения в направлении оси x,

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

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

При использовании нормализация по строкам, матрица записывается следующим образом:

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

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:

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

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

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

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

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

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

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 (1-1) можно переписывается в развернутом виде, используя обратную матрицу (1-4), что вместе с уравнениями (1-3), (1-6) ... (1-8) дает шесть соотношений для напряжений:

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

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

$$\sigma_z = E_x/h [v_{xz} + v_{yz}v_{xy}] (\epsilon_x - \alpha_x \Delta T) + E_y/h [v_{yz} + v_{xz}v_{xy} E_x/E_y] (\epsilon_y - \alpha_y \Delta T) + E_z/h [1 - (v_{xy})^2 E_x/E_y] (\epsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad (20)$$

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

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

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

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:

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

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

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



#### 4. РАСЧЕТ ИЗДЕЛИЯ

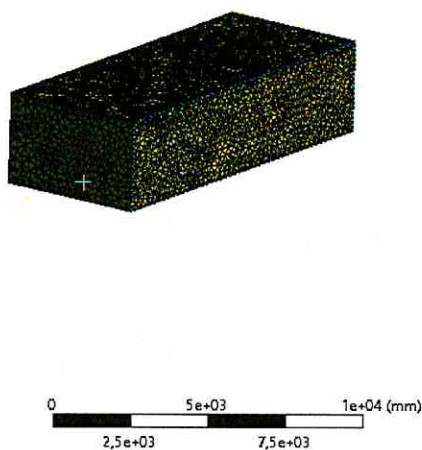


Рис. 3. Расчетная аппроксимированная модель

Определение собственных частот колебаний изделия:

| № рис. | Форма колебаний | Частота, Гц |
|--------|-----------------|-------------|
| 5      | 1               | 4,59        |
| 6      | 2               | 6,05        |
| 7      | 3               | 8,48        |
| 8      | 4               | 11          |
| 9      | 5               | 11,8        |
| 10     | 6               | 14,1        |

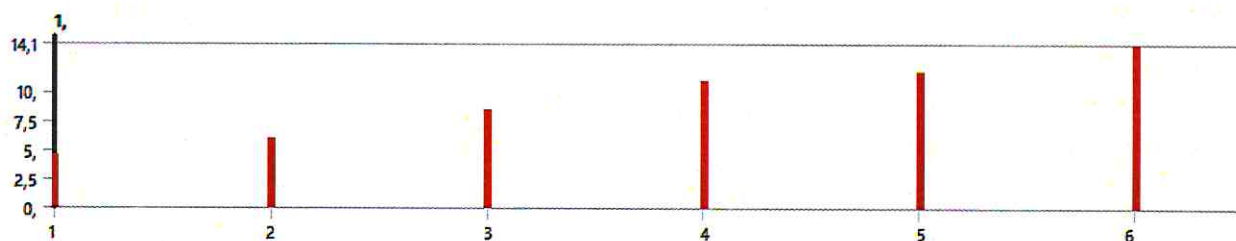


Рис. 4. Гистограмма собственных частот колебаний

**B: Modal**  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Frequency: 4,59 Hz  
Unit: mm  
Deformation Scale Factor: 0.0 (Undeformed)  
11.05.2021 18:38

0,66271 Max  
0,58908  
0,51544  
0,44181  
0,36817  
0,29454  
0,2209  
0,14727  
0,073635  
0 Min

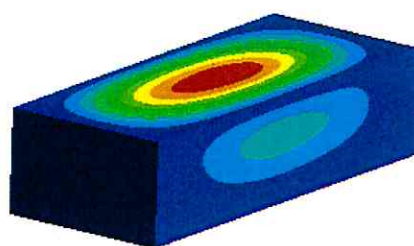


Рис. 5. Амплитуда при 1-й форме колебаний [мм]

**B: Modal**  
Total Deformation 2  
Type: Total Deformation  
Frequency: 6,05 Hz  
Unit: mm  
Deformation Scale Factor: 0.0 (Undeformed)  
11.05.2021 18:38

0,70067 Max  
0,62282  
0,54497  
0,46711  
0,38926  
0,31141  
0,23356  
0,1557  
0,077852  
0 Min

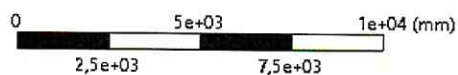
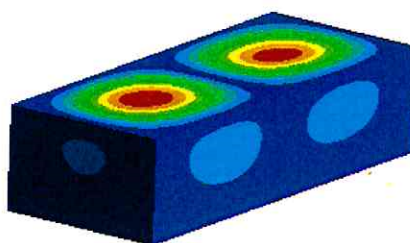


Рис. 6. Амплитуда при 2-й форме колебаний [мм]

**B: Modal**  
Total Deformation 3  
Type: Total Deformation  
Frequency: 8,48 Hz  
Unit: mm  
Deformation Scale Factor: 0.0 (Undeformed)  
11.05.2021 18:38

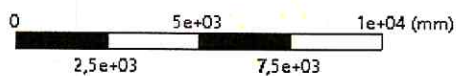
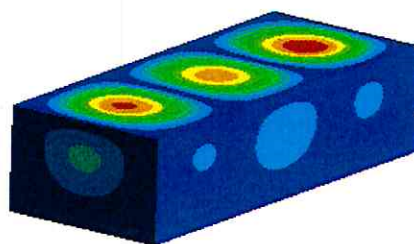
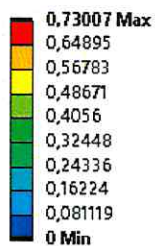


Рис. 7. Амплитуда при 3-й форме колебаний [мм]

**B: Modal**  
Total Deformation 4  
Type: Total Deformation  
Frequency: 11, Hz  
Unit: mm  
Deformation Scale Factor: 0.0 (Undeformed)  
11.05.2021 18:38

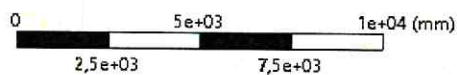
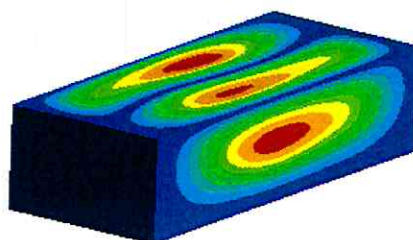
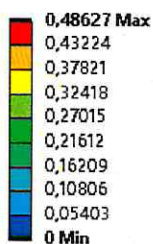


Рис. 8. Амплитуда при 4-й форме колебаний [мм]

**B: Modal**  
Total Deformation 5  
Type: Total Deformation  
Frequency: 11,8 Hz  
Unit: mm  
Deformation Scale Factor: 0.0 (Undeformed)  
11.05.2021 18:39

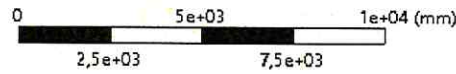
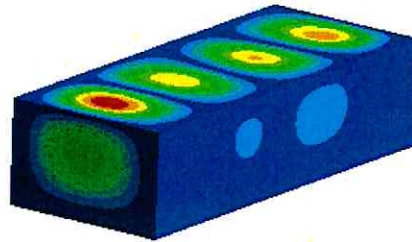
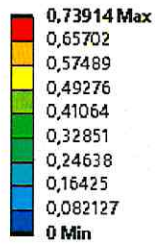


Рис. 9. Амплитуда при 5-й форме колебаний [мм]

**B: Modal**  
Total Deformation 6  
Type: Total Deformation  
Frequency: 14,1 Hz  
Unit: mm  
Deformation Scale Factor: 0.0 (Undeformed)  
11.05.2021 18:39

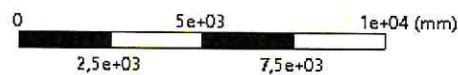
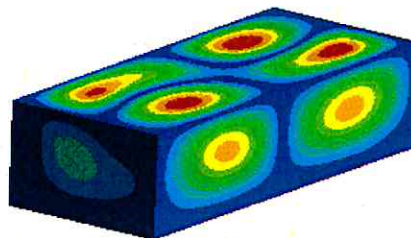
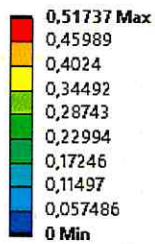


Рис. 10. Амплитуда при 6-й форме колебаний [мм]