|  |  |
| --- | --- |
| *voenmeh* | МИНОБРНАУКИ РОССИИ  федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  высшего образования  **«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**  **(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»)** |
| БГТУ.СМК-Ф-4.2-К5-02 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Факультет |  | Е |  | Оружие и системы вооружения |
|  |  | шифр |  | наименование |
| Кафедра |  | Е7 |  | Механика деформируемого твердого тела |
|  |  | шифр |  | наименование |
| Дисциплина |  | Математические методы в механике | | |

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

на тему

|  |
| --- |
| Структурный и модальный анализ вала |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнил студент группы Е7М41 | | | |  |  |
| Трелин А.М. | | | | | |
| Фамилия И.О. | | | | | |
| **РУКОВОДИТЕЛЬ** | | | | | |
| Павлов А.С. | |  |  | | |
| Фамилия И.О. Подпись | | | | | |
| Оценка |  | | | |  |
| «\_\_\_\_\_» |  | | | | 2019г. |

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2019 г.

**Содержание**

[ВВЕДЕНИЕ 4](#_Toc535470019)

[**ОСНОВАНЯ ЧАСТЬ** 5](#_Toc535470020)

[Постановка задачи и геометрическая модель 5](#_Toc535470021)

[Физико–механические характеристики 6](#_Toc535470022)

[Конечно-элементная сетка геометрии 6](#_Toc535470023)

[Граничные условия 7](#_Toc535470024)

[Структурный анализ 7](#_Toc535470025)

[Нагрузка 7](#_Toc535470026)

[Эквивалентные напряжения 8](#_Toc535470027)

[Тангенциальные напряжения в опасном сечение вала 9](#_Toc535470028)

[Модальный анализ 9](#_Toc535470029)

[**ВЫВОД** 11](#_Toc535470030)

[**Список использованных источников** 12](#_Toc535470031)

**РЕФЕРАТ**

Курсовой проект: 14 с., 10 рис., 2 табл., 3 источника.

АНАЛИЗ, СТРУКТУРНЫЙ, МОДАЛЬНЫЙ, ВАЛ, МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.

В процессе работы выполнены следующие этапы:

1. Постановка задачи;
2. Задание граничных условий;
3. Выполнен структурный анализ;
4. Выполнен модальный анализ.

# **ВВЕДЕНИЕ**

Одним из основных элементов большинства машин являются валы различных конструкций, которые рассчитываются на статическую прочность, жесткость, сопротивление усталости и виброустойчивость и т.п. Проведение расчетов по многим параметрам объясняется тем, что в большинстве случаев валы тяжело нагружены и, кроме того, в силу конструктивных особенностей валов нагрузка на них знакопеременна. Данные обстоятельства могут явиться причиной их усталостного разрушения. В связи с этим к определению геометрических параметров необходимо походить ответственно и использовать для этих целей современные средства расчета.

Валы предназначены для передачи крутящего момента от одной вращающейся детали машины к другой. Валы несут на себе детали механизма и поэтому в зависимости от конструкции работают или на совместное действие изгиба и кручения (основной случай) или на кручение.

Выносливость вала в большой степени зависит от конструктивном оформления мест перехода от одного диаметра к другому и мест расположения шлицев, пазов, отверстий и др. Это объясняется тем, что в указанных местах возникает концентрация напряжения изгиба и кручения.

Для повышения выносливости валов применяют различные конструктивные приемы и меры технологического упрочнения. Улучшение конструкции достигается применением более рациональном формы, обеспечивающей снижение концентраций напряжений в местах перехода от одного сечения вала к другому.

Метод конечных элементов (МКЭ) – это метод приближённого численного решения физических задач. В его основе лежат две главные идеи: дискретизация исследуемого объекта на конечное множество элементов и кусочно-элементная аппроксимация исследуемых функций. Основное отличие МКЭ от классических алгоритмов вариационных принципов и методов невязок заключается в выборе базисных функций. Они берутся в виде кусочно-непрерывных функций, которые обращаются в нуль всюду, кроме ограниченных подобластей, являющихся конечными элементами. Это ведёт к ленточной разреженной структуре матрицы коэффициентов разрешающей системы уравнений.

# **ОСНОВАНЯ ЧАСТЬ**

## Постановка задачи и геометрическая модель

Целью данной работы является структурный и модальный анализ вала. Данный вал является частью устройства, вал со единен с электродвигателем муфтой и установлен в корпусе на подшипник. Электродвигатель передает на вал через муфту момент равный 10 Нм.

Вал был сконструированы с помощью SolidWorks, который показан на Рис.1, а затем был импортирован в ANSYS. Размеры вала указаны на Рис.2, размеры в миллиметрах.

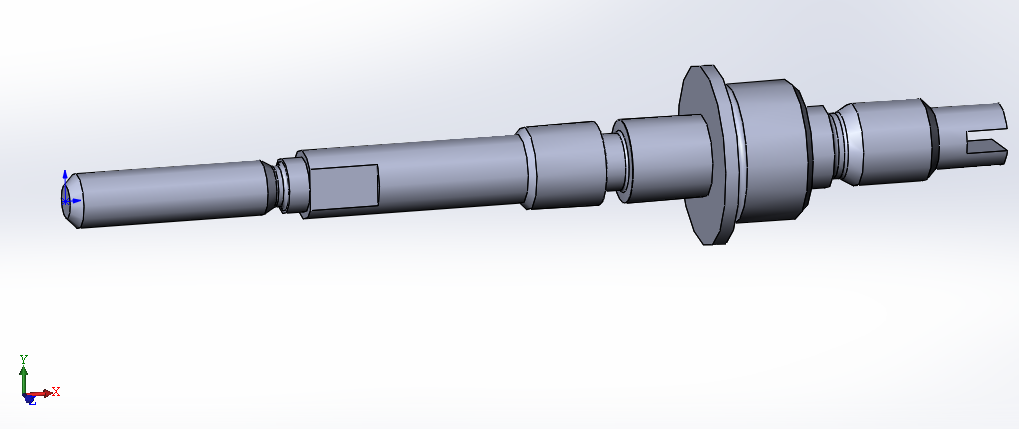


Рисунок 1 - Модель вала

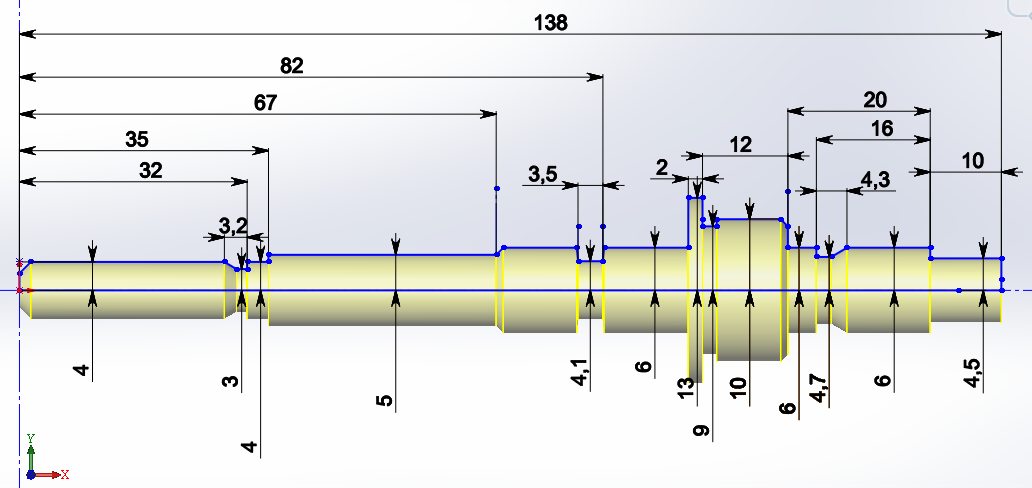


Рисунок 2 - Размеры вала

## Физико–механические характеристики

Вал сделан из материала: сталь 14Х17Н2, ГОСТ 5632-2014.

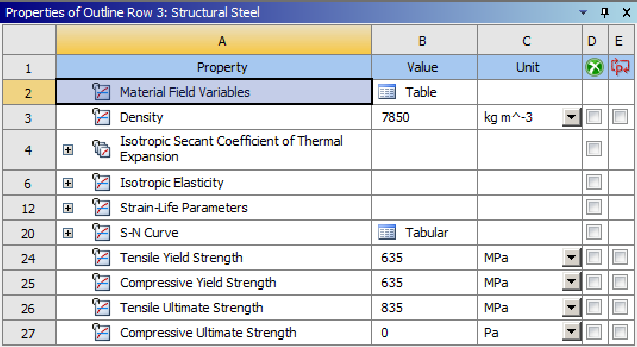
Предел текучести: 635 МПа. Предел прочности: 835МПа.

Модуль упругости: 2,1 ГПа

Коэффициент Пуассона: 0,3

Свойства материала заданные в программе отображены в таблице 1.

Таблица 1 - Свойства материала



## Конечно-элементная сетка геометрии

Вал был разбит на конечные элементы, результат разбиение представлен на Рис.3.

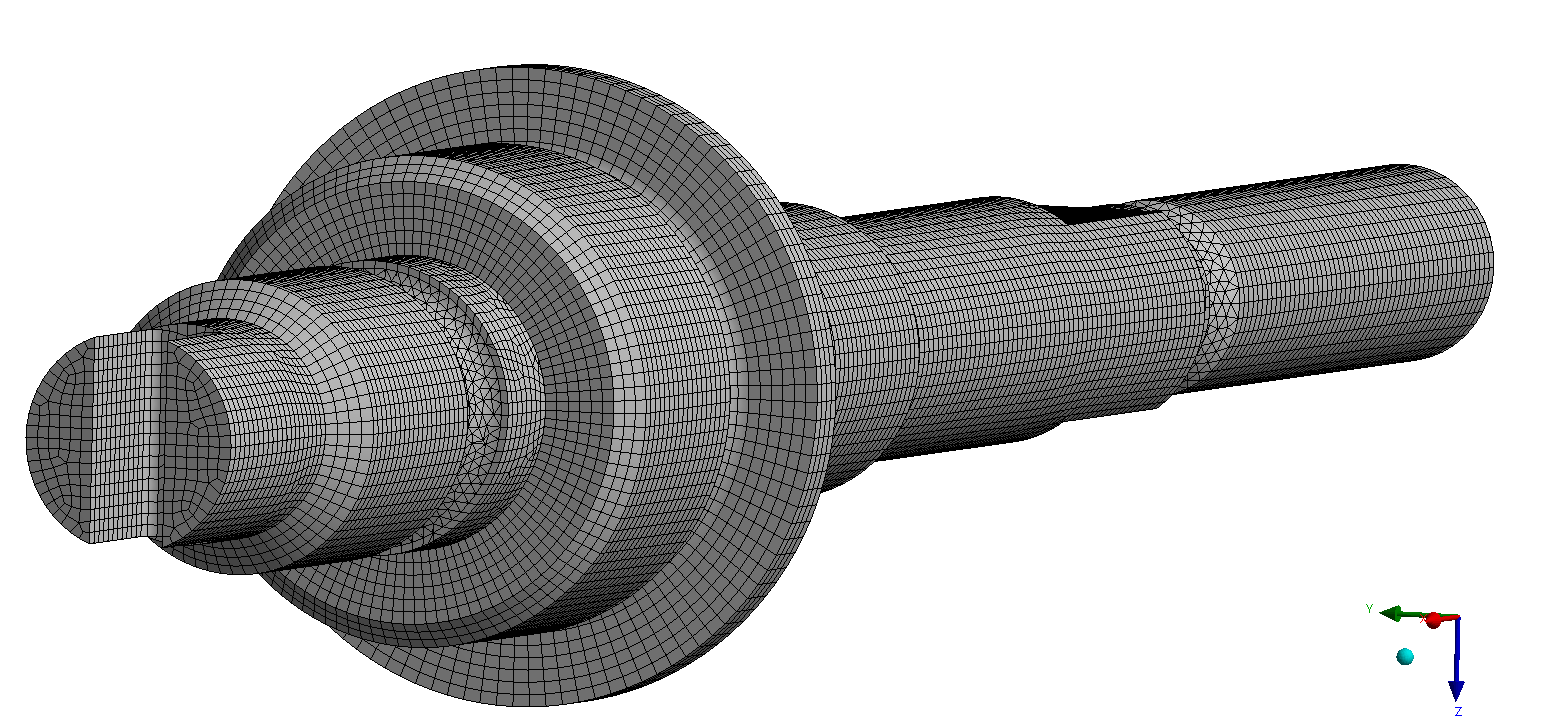


Рисунок 3 - Сетка вала

Параметры сетки, в которой отображены число элементов и узлов сетки, приведены в Табл.2

Таблица 2 – Параметры сетки.

G:\скрины\св-ва сетки.png

## Граничные условия

Вал установлен в корпусе на подшипнике. Подшипник был смоделирован как закрепление, ограничивающее перемещение по осям Z и Y, на Рис. 4 под буквой "В". Другое закрепление - жесткое закреплени, ограничивающие перемещение и повороты по всех осям, обозначенное на Рис. 4 под буквой "С". Момент приложен к месту, где к валу присоединяется муфта, показан на Рис. 4 под буквой "А".

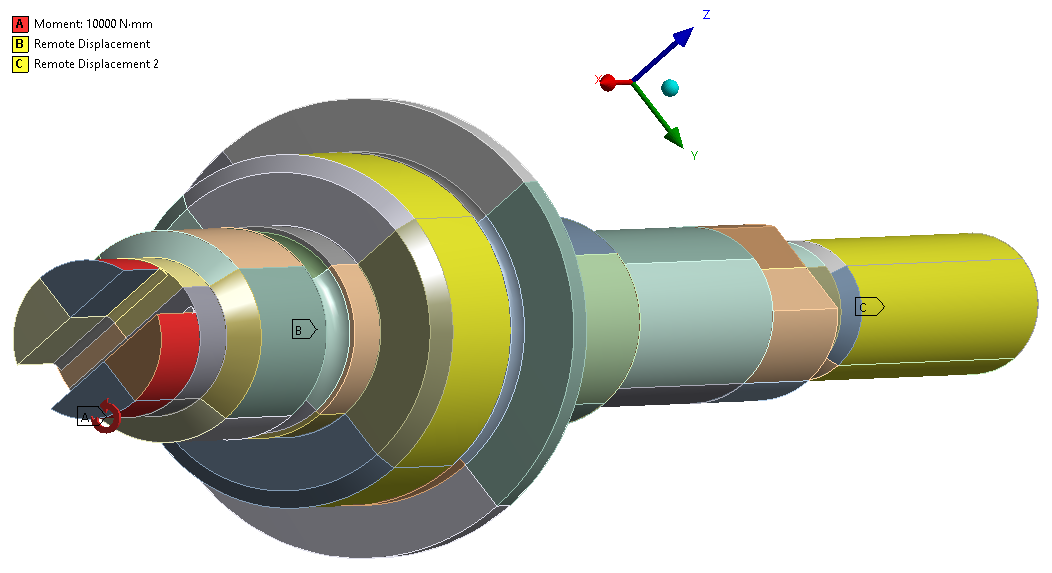


Рисунок 4 - Граничные условия вала

## Структурный анализ

### Нагрузка

Момент величиной 10 Нм приложен к концу вала, где он крепится муфтой к электродвигателю.

### Эквивалентные напряжения

Значения эквивалентных напряжений представлены на Рис. 5, Рис. 6 и Рис.7.

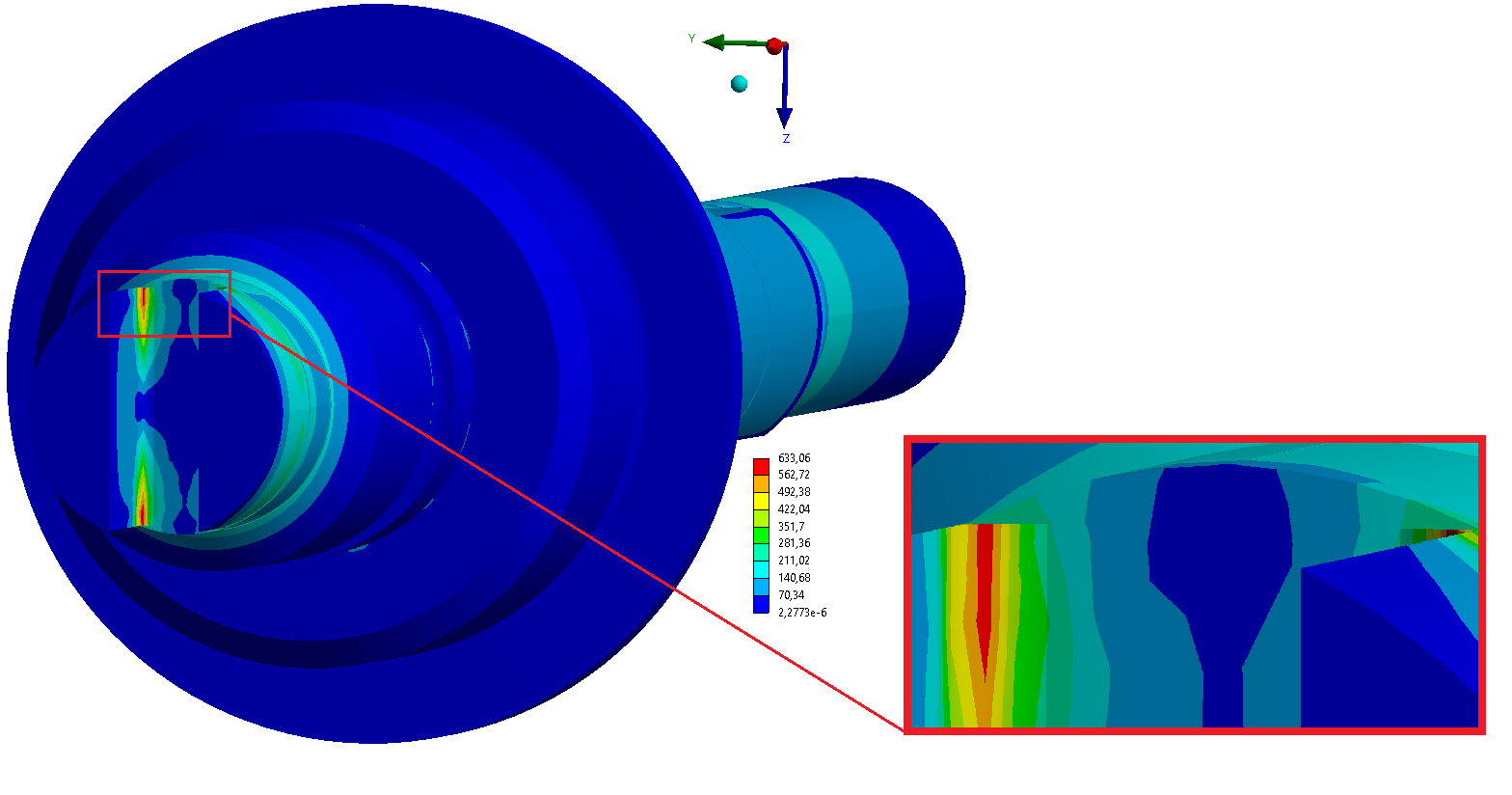


Рисунок 5 - Значения напряжений, где вал соединяется с муфтой

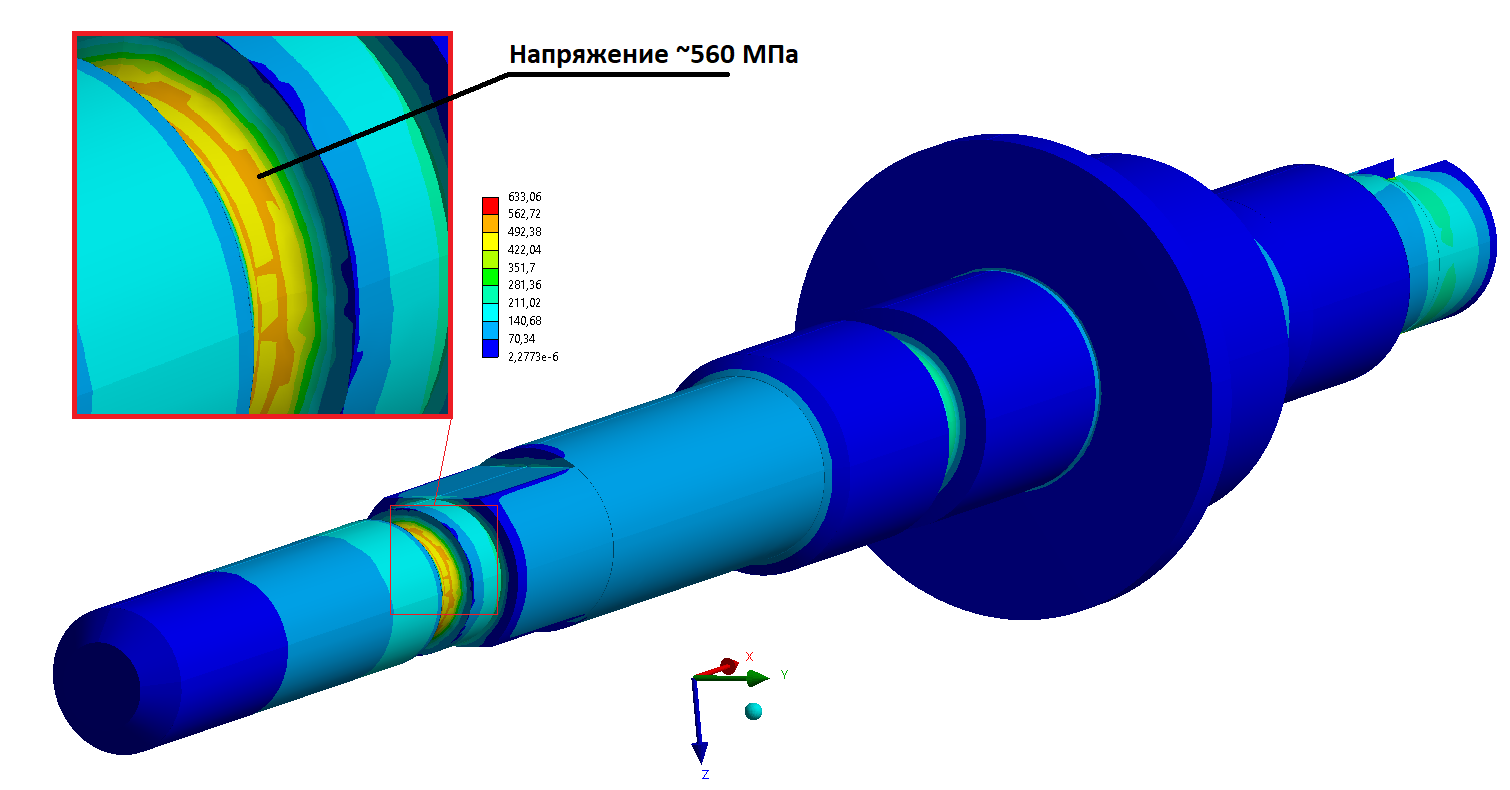


Рисунок 6 - Значения напряжений в опасном сечение

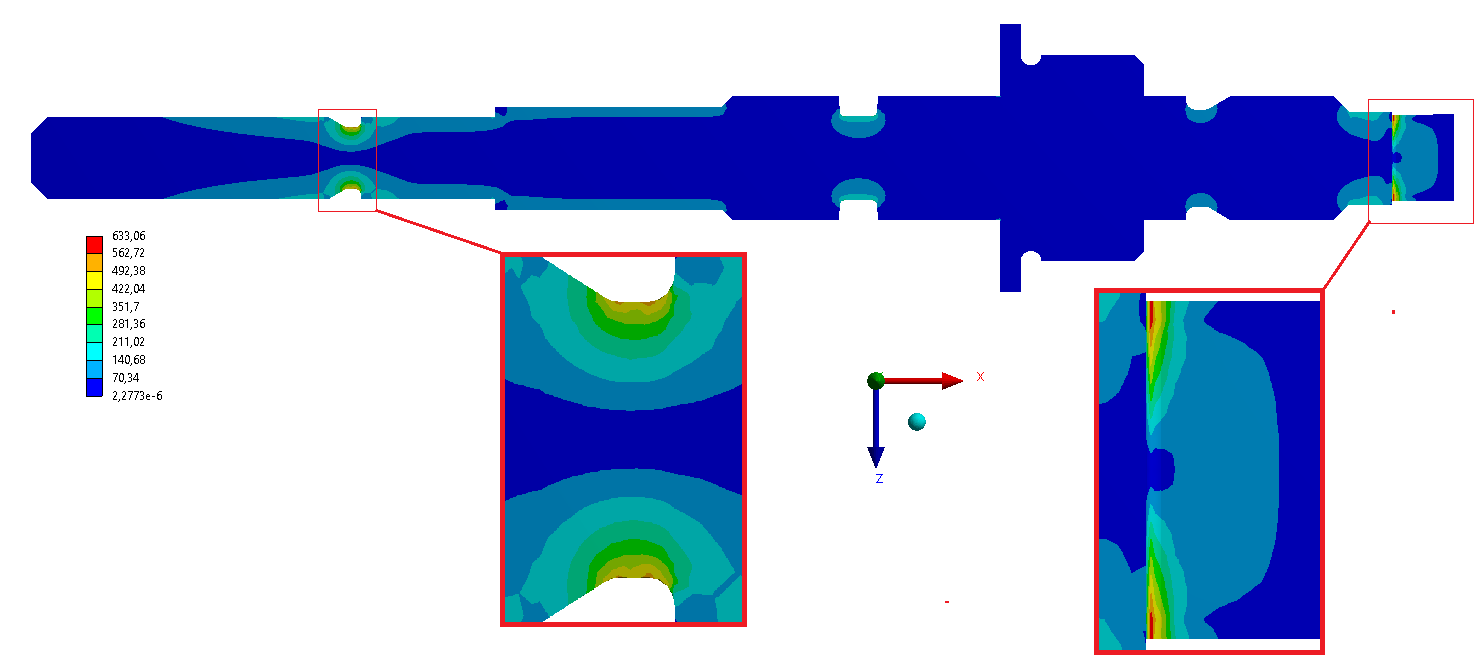


Рисунок 7 - Значения напряжений в разрезе

### Тангенциальные напряжения в опасном сечение вала

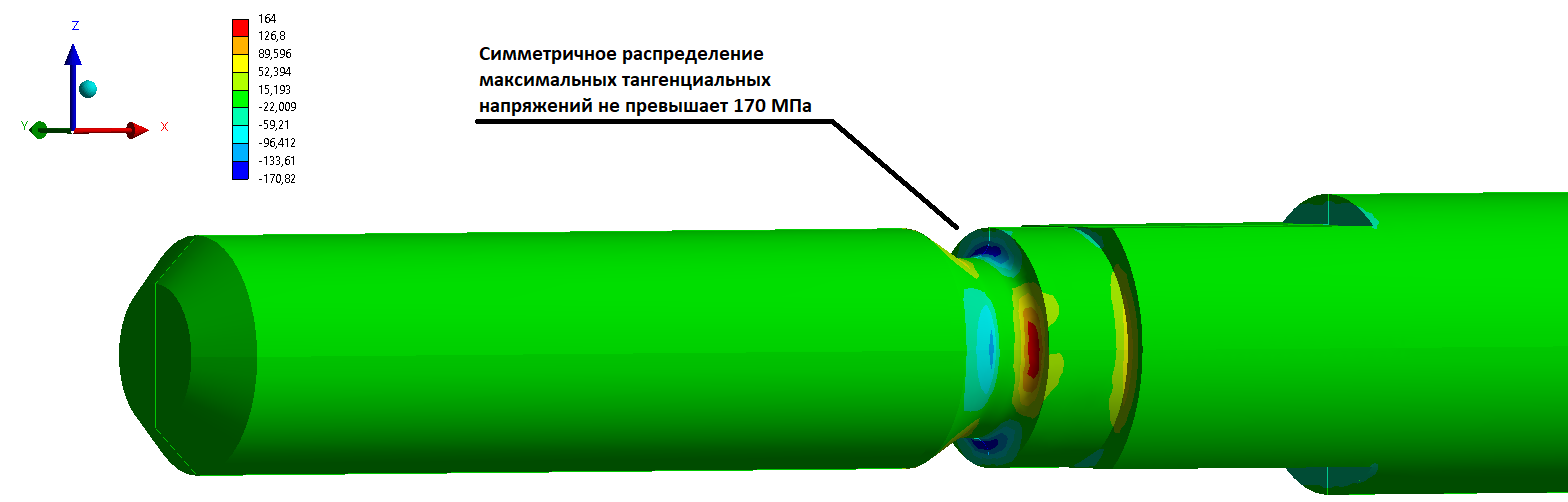


Рисунок 8 - Значения напряжений в разрезе

## Модальный анализ

Модальный анализ проводится для определения частот и форм (мод) собственных колебаний конструкций. Также модальный анализ может быть первым шагом для других видов динамического анализа, таких, как анализ переходных процессов, гармонический и спектральный анализ. Модальный анализ предполагает, что система является линейной. Все виды нелинейности – нелинейное поведение материала, контактные граничные условия, конечные перемещения – игнорируются. Контакты, в зависимости от своего исходного состояния, остаются открытыми или закрытыми.

Необходимость в расчете собственных частот и соответствующих им форм колебаний нередко возникает при анализе динамического поведения конструкции под действием переменных нагрузок. Наиболее распространена ситуация, когда при проектировании требуется убедиться в малой вероятности возникновения в условиях эксплуатации такого механического явления, как резонанс. Как известно, суть резонанса заключается в значительном (в десятки раз и более) усилении амплитуд вынужденных колебаний на определенных частотах внешних воздействий — так называемых резонансных частотах. В большинстве случаев возникновение резонанса является крайне нежелательным в плане обеспечения надежности изделия явлением. Многократное увеличение амплитуд колебаний при резонансе и вызываемые этим высокие уровни напряжений — одна из основных причин выхода из строя изделий, эксплуатируемых в усло­виях вибрационных нагрузок. Для защиты от резонансных воздействий можно использовать различные механические устройства, которые принципиально меняют спектральные характеристики конструкции и поглощают энергию колебаний (демпфирующий эффект может оказывать, например, виброизолятор).

На Рис. 9-10 представлены формы собственных колебаний вала, очертаниями обозначена недеформированная модель.

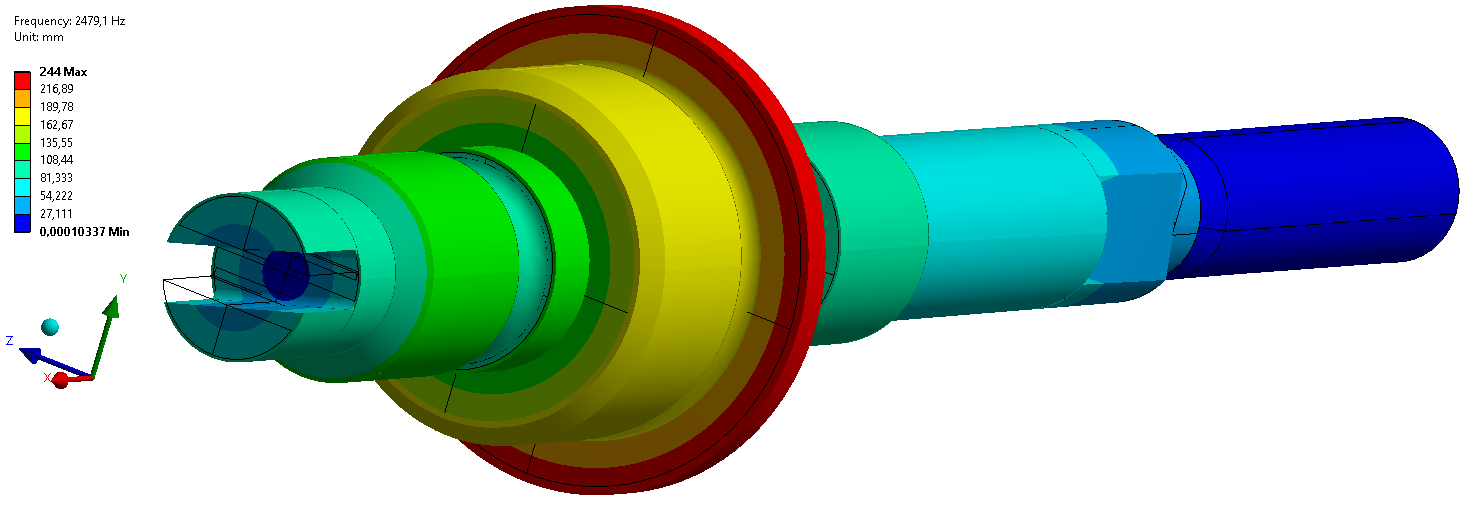


Рисунок 9 - Мода 1

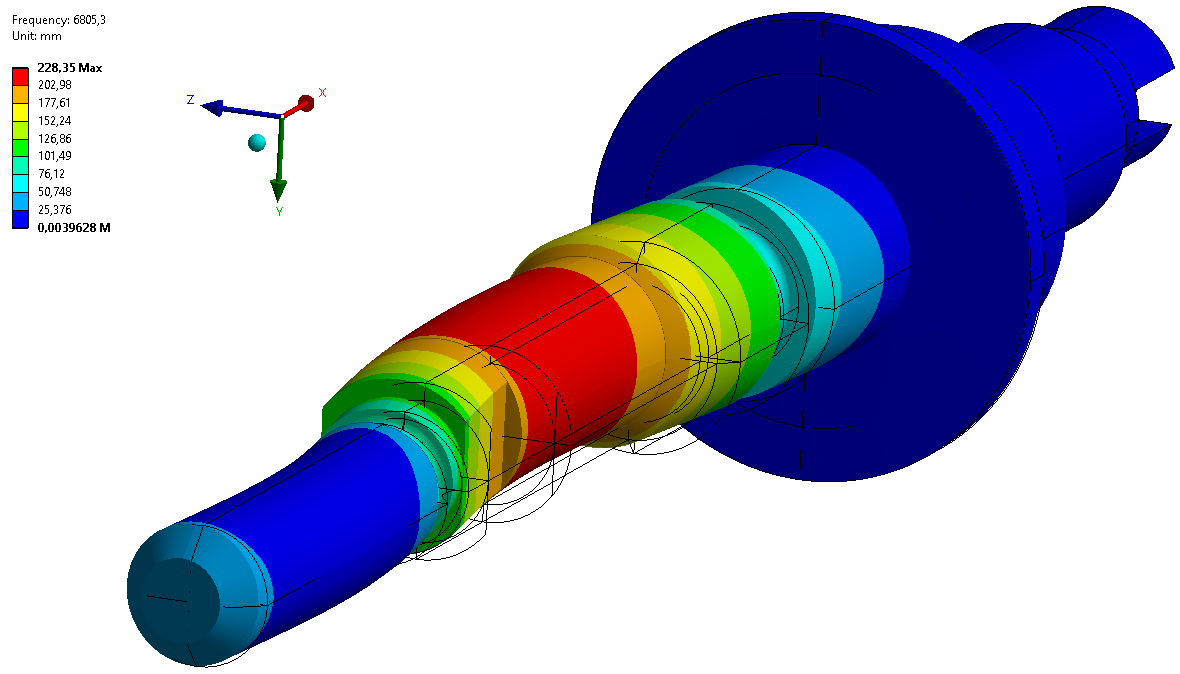


Рисунок 10 - Мода 2

# **ВЫВОД**

В ходе работы была построена модель вала, смоделирована закрепления на нем и приложен момент. Выполнен структурный анализ, модальный. Следует отметить, что вал удовлетворяет условиям прочности. Результатами частотного анализа являются собственные частоты изделия и соответствующие им собственные формы колебаний. Формы колебаний представляют собой относительные амплитуды перемещений конструкции в узлах конечно-элементной сетки. По ним можно определить характер движения, осуществляемого системой на частоте колебаний, соответствующей собственной.

# **Список использованных источников**

1. А.В. Дорошин - ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CAE-ПАКЕТА ANSYS В ЗАДАЧАХ ДИНАМИКИ КОНСТРУКЦИЙ. Самара, 2013 г. 96 с.
2. Метод конечных элементов в механике деформируемого твёрдого тела: Учеб. пособие / В.Г. Фокин. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 131 с.: ил.
3. Н.В. Леонтьев - Применение системы ANSYS к решению задач модального и гармонического анализа. Нижний Новгород, 2006 г. -102с.