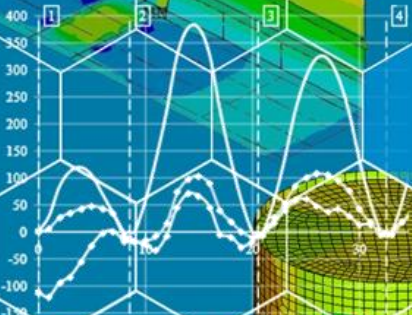


$$S_0 = 0,7 \cdot c_e \cdot c_t \cdot \mu \cdot S_g$$

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

$$SEQV < S_{доп}$$

$$q_{газ} = 10^{(-2)} \cdot p \cdot D$$



$$p_{расчетное} = n \cdot p_{нормативное}$$

$$q_{лед} = 0,17 \cdot b \cdot D_n$$

$$R < R_u$$

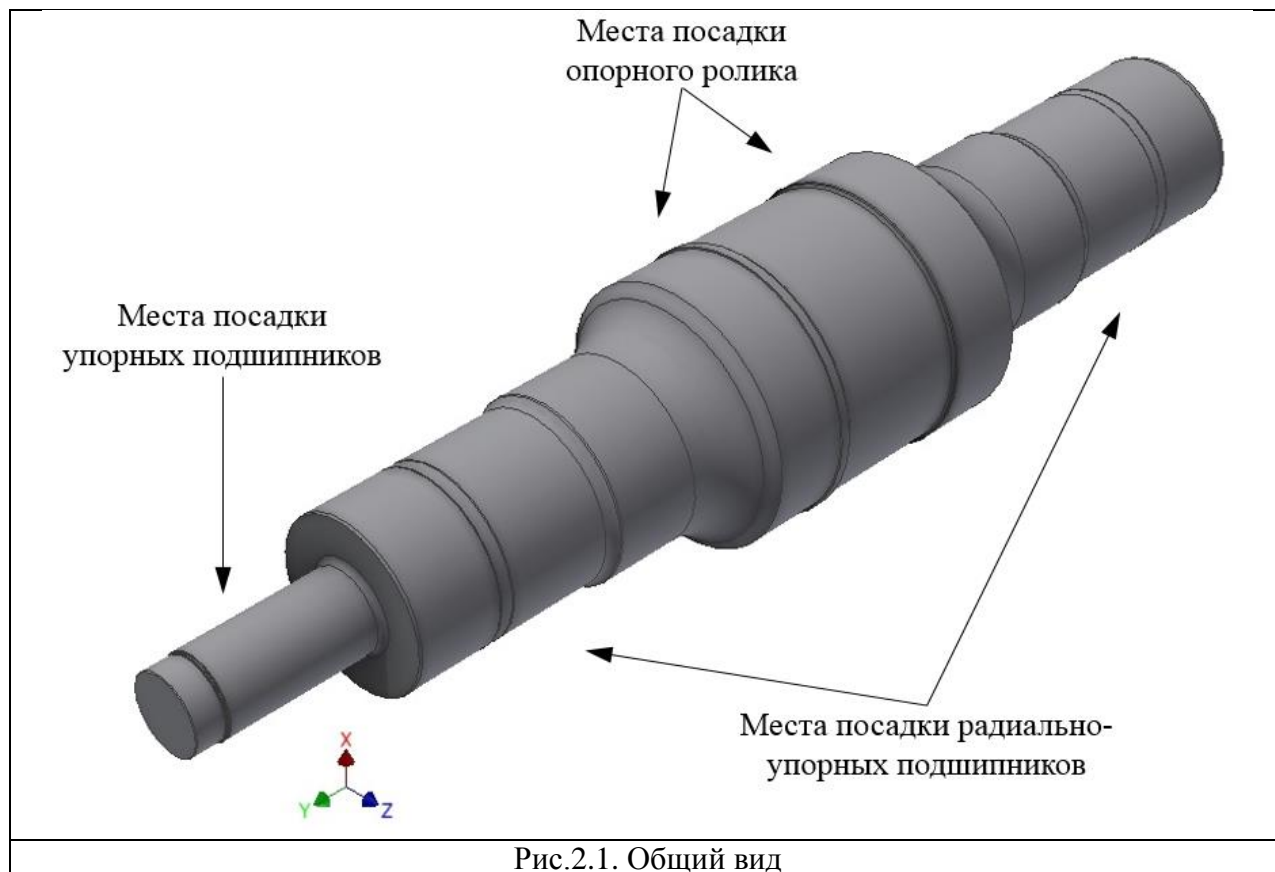
Расчеты статической и усталостной прочности оси

1. Аннотация

В данной работе представлен расчет статической и усталостной прочности оси.

2. Описание

Ось предназначена для передачи радиальной и осевой нагрузки с опорного ролика, который установлен на нее с натягом. В свою очередь ось установлена на два радиально-упорных и два упорных подшипника. Общий вид оси приведен на рис.2.1.



Основные характеристики оси приведены в табл.2.1.

Табл.2.1. Основные характеристики

Характеристики	Параметр	Показатель
Общие	Материальное исполнение	Сталь 45 (ГОСТ 1050-74); группа V, КП 245 (ГОСТ 8479-70)
	Масса, [кг]	10543
Геометрические	Длина, [мм]	4050
	Максимальный / минимальный диаметр, [мм]	870 / 260

3. Общие расчетные положения

Для оценки возможности достижения предельных состояний были проведены следующие поверочные расчеты при нормальных условиях эксплуатации ([1], стр.89):

- 1) расчет на статическую прочность;
- 2) расчет на усталостную прочность.

Расчет на статическую прочность заключался в определении эквивалентных напряжений с учетом кратковременных нагрузок и сопоставлении полученных значений с механическими характеристиками материала.

Расчет на усталостную прочность заключался в определении эквивалентных напряжений без учета кратковременных нагрузок и сопоставлении полученных значений с пределом выносливости $\sigma_{\text{вын}}$.

Эквивалентные напряжения σ_e были определены численными методами расчета по гипотезе максимальных касательных напряжений ([2], п.2.9).

В основу принятых методов расчета оси был положен принцип оценки по следующим предельным состояниям:

- 1) вязкое кратковременное разрушение;
- 2) пластическая деформация по всему сечению;
- 3) усталостное разрушение.

4. Создание модели

В системе трехмерного твердотельного и поверхностного проектирования Autodesk Inventor была создана геометрическая модель оси (рис.4.1) с использованием поверхностей.



Рис.4.1. Геометрическая модель

Затем геометрическая модель была импортирована в программную систему конечно-элементного анализа ANSYS для получения континуальной модели (рис.4.2).

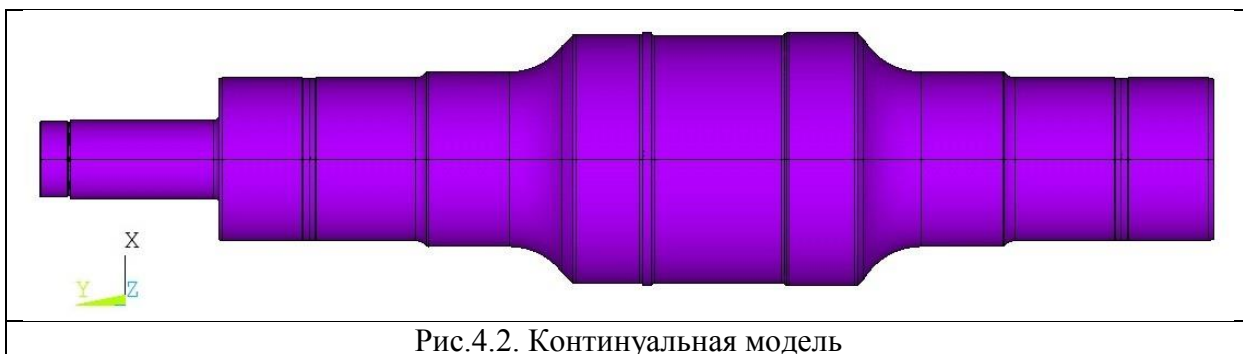


Рис.4.2. Континуальная модель

Континуальной модели были присвоены прочностные и физико-механические свойства материала (табл.4.1).

Табл.4.1. Свойства материала

Параметр	Обозначение	Значение	Источник
Плотность, [кг/м ³]	ρ	7850	[3]
Модуль упругости I рода, [МПа]	E	$2,1 \cdot 10^5$	[4]
Коэффициент линейного температурного расширения, [1/°C]	α	$11,5 \cdot 10^{-6}$	[4]
Предел текучести, [МПа]	$\sigma_{\text{тек}}$	245	[5]
Предел прочности, [МПа]	$\sigma_{\text{пр}}$	470	[5]

Для моделирования диаграммы “напряжение-деформация” была использована линейно-упругая модель поведения материала.

Переход от континуальной модели к дискретной расчетной схеме был осуществлен разбиением модели на регулярную конечно-элементную сетку (рис.4.3).

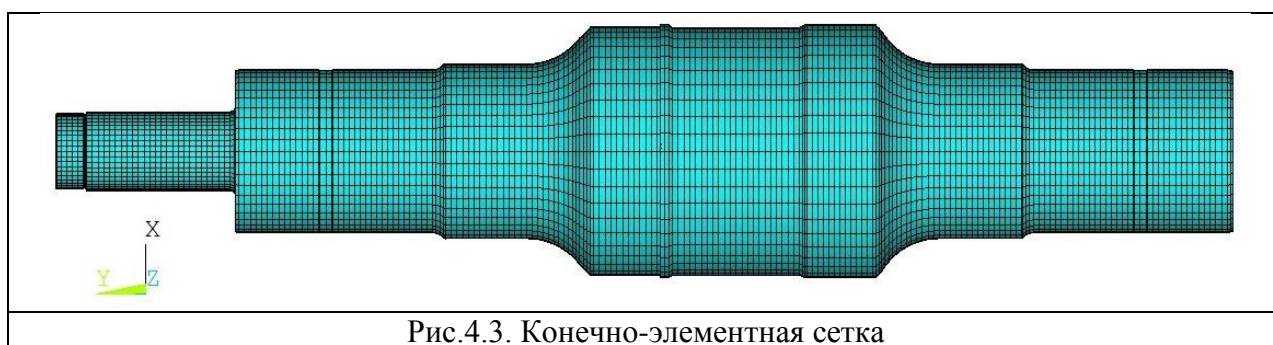


Рис.4.3. Конечно-элементная сетка

Переход к расчетным моделям был осуществлен приложением на конечно-элементную модель соответствующих нагрузок и ограничений степеней свободы.

Таким образом для оценки возможности достижения вышеприведенных предельных состояний были созданы две расчетные модели:

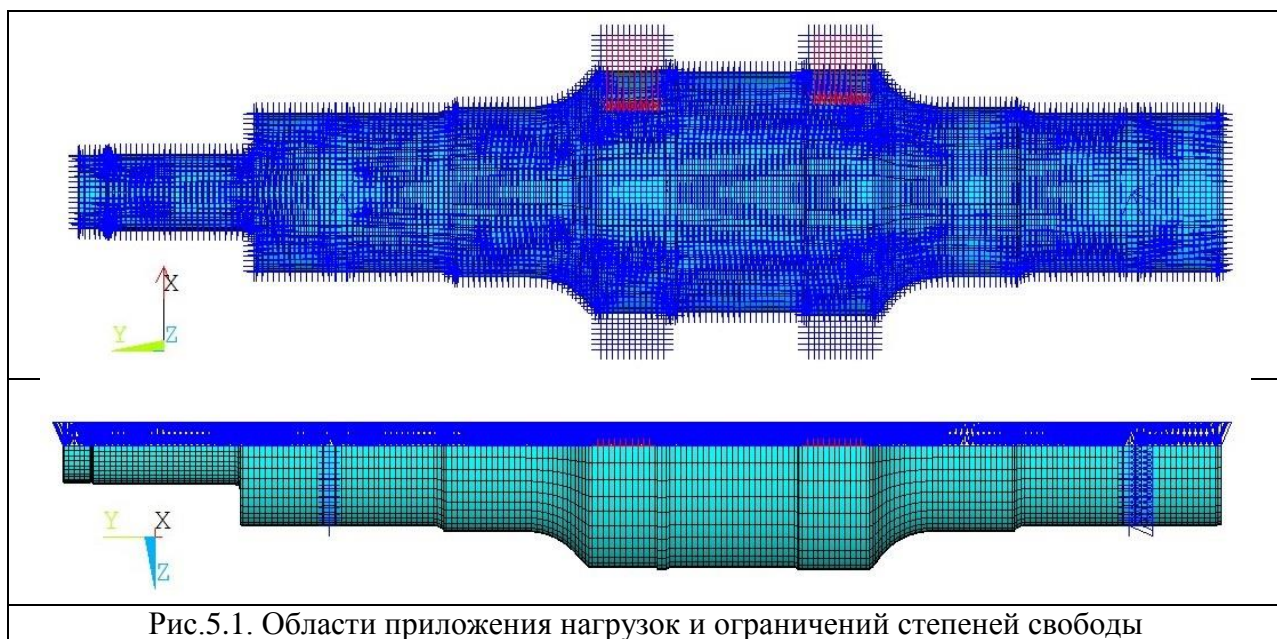
- 1) PM1 для расчета статической прочности;
- 2) PM2 для расчета циклической прочности.

5. Нагрузки

При выполнении расчета были учтены действующие на ось нагрузки – собственный вес оси и нагрузка, передаваемая от ролика.

Начальная и расчетная температура материала была принята равной 20°C.

Области приложения нагрузок и ограничений степеней свободы представлены на рис.5.1.



Коэффициенты интенсификации напряжений, учитывающие реальную геометрию оси и характеристики материала, были учтены автоматически, т.к. расчет был проведен численными методами.

Коэффициент перегрузки, учитывающий кратковременное увеличение нагрузки, был принят равным 1,2.

6. Расчет

Расчет был выполнен с помощью прямого решателя SPARSE. Для поиска формы равновесия был использован автоматический выбор опции метода Ньютона-Рафсона на основе имеющихся в модели нелинейностей.

Общая вычислительная размерность расчетных моделей составила 80796 узлов и 79626 элементов.

6.1. Расчет на статическую прочность

Статическая прочность оси обеспечивается при выполнении условия:

$$\sigma_e \leq \sigma_{\text{тек}}$$

Данный критерий содержит обоснование прочности по достижению предельных состояний – вязкое кратковременное разрушение, пластическая деформация по всему сечению детали.

Значения нагрузок, приложенных к РМ1, представлены в табл.6.1.1.

Табл.6.1.1. Значения нагрузок

Давление ролика, [кН]	Собственный вес, [кг/м ³]
$1,2 \times 550 = 660$	7850

Результаты расчета представлены на рис.6.1.1.

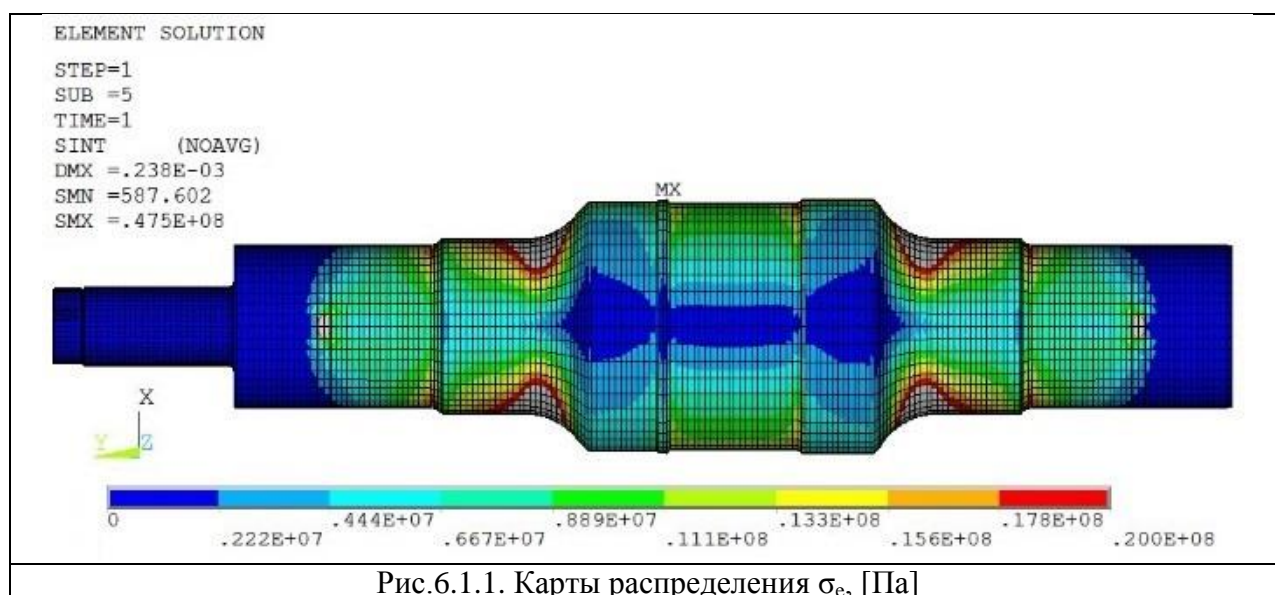


Рис.6.1.1. Карты распределения σ_e , [Па]

Наибольший уровень напряжений возникает в зоне галтельного перехода от наибольшего диаметра.

Вывод:

1) Т.к. $\sigma_e = 48 \text{ МПа} \leq \sigma_{\text{тек}} = 245 \text{ МПа}$, то условие обеспечения статической прочности выполняется для каждой точки оси.

2) Коэффициент запаса по статической прочности равен 5,1, что больше допускаемого значения, находящегося в диапазоне 1,3÷2,0 ([2], п.2.10).

6.2. Расчет на усталостную прочность

В качестве причины переменных напряжений было рассмотрено вращение оси, создающее симметричный цикл нагружения.

Усталостная прочность оси обеспечивается при выполнении условия:

$$\sigma_e \leq \sigma_{\text{вын}}$$

Данный критерий содержит обоснование прочности по достижению предельных состояний – усталостное разрушение.

В зависимости от максимальной шероховатости поверхностей ось была разбита на три участка (выделены соответствующими цветами на рис.6.2.1).

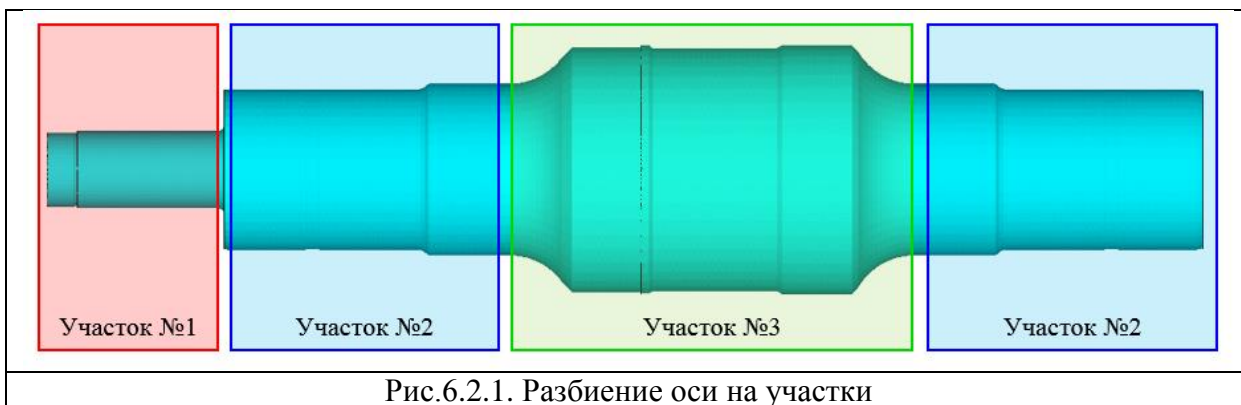


Рис.6.2.1. Разбиение оси на участки

В соответствии с [2], ф.26 для каждого участка была получены соответствующая кривая усталости (рис.6.2.2).

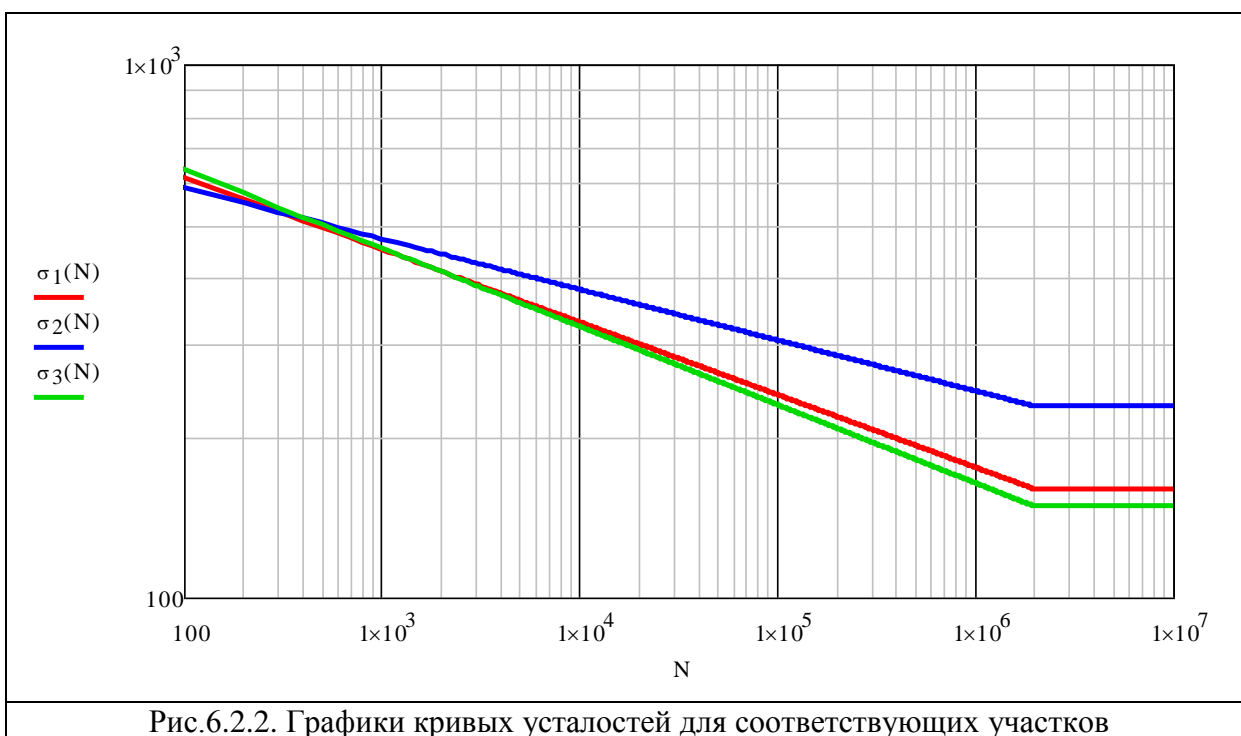


Рис.6.2.2. Графики кривых усталостей для соответствующих участков

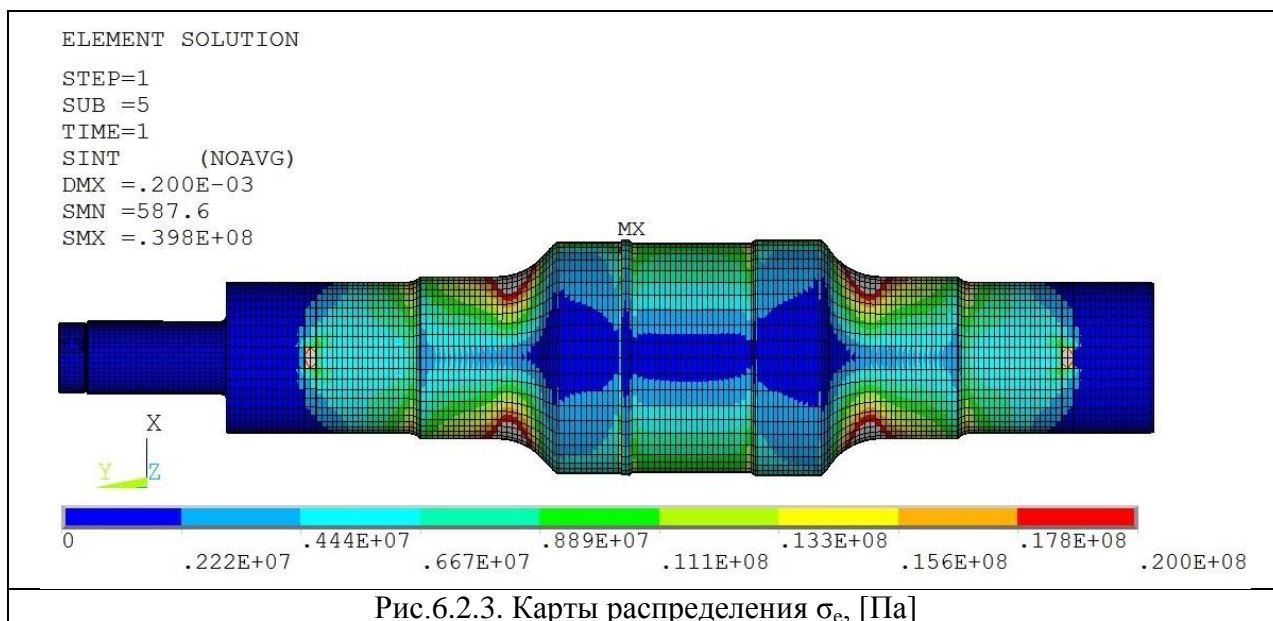
Предел выносливости определяется, как максимальное напряжение цикла, при котором не происходит усталостного разрушения образца после произвольно большого числа циклических нагружений.

Значения нагрузок, приложенных к РМ2, представлены в табл.6.2.1.

Табл.6.2.1. Значения нагрузок

Давление ролика, [кН]	Собственный вес, [кг/м ³]
550	7850

Результаты расчета представлены на рис.6.2.3.



Наибольший уровень напряжений возникает в зоне галтельного перехода от наибольшего диаметра.

Вывод:

1) Т.к. $\sigma_e = 2 \text{ МПа} \leq \sigma_{\text{вын}} = 160 \text{ МПа}$; $\sigma_e = 20 \text{ МПа} \leq \sigma_{\text{вын}} = 228 \text{ МПа}$;
 $\sigma_e = 40 \text{ МПа} \leq \sigma_{\text{вын}} = 148 \text{ МПа}$, то условие обеспечения усталостной прочности выполняется для каждого участка оси.

Максимальный уровень напряжений на каждом участке оси меньше уровня напряжения при абсциссе перелома кривой усталости, равной $2 \cdot 10^6$ ([2], стр.10), поэтому считается, что ось может выдержать бесконечное число циклов.

2) Минимальный коэффициент запаса по усталостной прочности равен 3,7, что больше допускаемого значения, находящегося в диапазоне 1,5÷2,5 ([2], п.3.3.3).

7. Заключение

Ось опорного блока является неравнопрочной и имеет значительное увеличение уровня напряжений в зоне галтельного перехода от наибольшего диаметра.

Ресурс оси при заданных нагрузках неограничен.

Список литературы

1. **Валы и оси.** Конструирование и расчет, Изд. 2-е переработ. Серенсен С.В., Громан М.Б., Шнейдерович Р.М., Когаев В.П., “Машиностроение”, 1970, стр. 320.
2. **Р 50-83-88.** Рекомендации. Расчеты и испытания на прочность. Расчеты на прочность валов и осей.
3. **Физические величины:** Справочник/ А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковский и др.; Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.; Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
4. **ПНАЭ Г-7-002-86.** Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок / Госатомэнергонадзор СССР. - М.: Энергоатомиздат, 1989.-525 с. – (Правила и нормы в атомной энергетике).
5. **Стали и сплавы. Марочник:** Справ. изд. / В.Г. Сорокин и др.; Науч. ред. В.Г. Сорокин, М.А. Гервасьев – М.:”Интермет Инжиниринг”, 2001. – 609 с.: ил.