

Рецензия

на электронную лекцию «Расчет напряженно-деформированного состояния нагруженных ступенчатых валов в программе Ansys Harmonic Response» для дополнительного изучения отдельных тем учебной дисциплины «Техническая механика» преподавателя специальных дисциплин **Чемезова Д.А.**

Электронная лекция «Расчет напряженно-деформированного состояния нагруженных ступенчатых валов в программе Ansys Harmonic Response» для дополнительного изучения отдельных тем учебной дисциплины «Техническая механика» предназначена для использования в среднем профессиональном образовании по специальности 151901 «Технология машиностроения». Лекция представляет собой материалы научно-исследовательского характера полностью соответствующие ФГОС по специальности.

Лекция содержит следующие разделы: введение, материалы и методы исследования, результаты и их обсуждение, заключение, библиографический список и вопросы для самостоятельного контроля изученного материала.

Каждый раздел лекции сопровождается понятной для студентов информацией, в которой описывается актуальность проводимого исследования, последовательность выполнения экспериментов, даются рекомендации по возможному использованию полученных результатов на практике.

Представленные лекции позволяют организовать индивидуальную и групповую научно-исследовательскую работу в различных условиях обучения: дифференцированного, интегрированного, самостоятельного и могут использоваться для подведения промежуточных тематических итогов.

Электронная лекция полностью адаптирована к производственному процессу.

Приведенные в лекции задачи могут быть практически выполнены с помощью компьютерных программ трехмерного моделирования и инженерного анализа КОМПАС 3D, SolidWorks, Ansys Workbench.

Электронные лекции рекомендованы для распространения и внедрения передового опыта на территории РФ по специальности 151901 «Технология машиностроения».



Д.С. Чувашев (технический директор - начальник управления ОАО «Завод «Автомобиль»»)

Согласовано

«28» 01 2016г.
В. П. Чувашев



УТВЕРЖДАЮ

«28» 01 2016 г.
Директор ГБПОУ ВО «ВИИ»
А. Н. Уланов



Электронные лекции для дополнительного изучения отдельных тем по учебной дисциплине «Техническая механика»

Тема: «Расчет напряженно-деформированного состояния нагруженных ступенчатых валов в программе Ansys Harmonic Response»

Для обучающихся специальности 151901 (Технология машиностроения)

Разработчик: Чемезов Д.А., преподаватель спец. дисциплин
ГБПОУ ВО «Владимирский индустриальный колледж»

Электронные лекции для дополнительного изучения дисциплины «Техническая механика» представляют собой материалы научно-исследовательского характера отдельных тем курса. Материалы предназначены для самостоятельного изучения студентами.

РАССМОТРЕНО:

Председатель метод. комиссии

 Т.Н.Комарова

«25» января 2016 г.

Лекция 1 (2 ч)

Расчет напряженно-деформированного состояния нагруженных ступенчатых валов в программе Ansys Harmonic Response

План

1. Введение
2. Материалы и методы исследования
3. Результаты и их обсуждение
4. Заключение

Библиографический список

1. Валы и оси [Электронный ресурс] <http://www.prikladmeh.ru/lect6.htm>
2. Этапы решения задач в программном комплексе ANSYS [Электронный ресурс] <http://lib.exdat.com/docs/966/index-11419-1.html>
3. Уравнение регрессии, определение его параметров [Электронный ресурс] http://uchebnikonline.com/statistika/statistika_-_oprya_at/rivnyannya_regresiyi_viznachennya_yogo_parametriv.htm

1. Введение

Валы применяются в тех случаях, когда необходимо передать определенную величину вращающего момента посредством установленных на них зубчатых колес, шкивов, звездочек и других вращающихся деталей.

В процессе эксплуатации, валы воспринимают различные по величине и направлению нагрузки. Наиболее часто, валы подвергаются изгибу и кручению. При этом в материале, из которого изготовлена деталь, возникают деформации и напряжения от приложенной нагрузки. Это негативно сказывается на нормальной работе технологического оборудования и приводит к снижению точности обработки деталей.

Для определения прочности вала при действии нагрузок, необходимо определить максимальное расчетное значение напряжения в материале детали и затем сравнить его с предельно допустимым. Описание методики проведения исследования с применением компьютерных технологий, позволит выполнять комплексный расчет напряженно-деформированного состояния материала детали с различными геометрическими формами и линейными/диаметральными размерами.

2. Материалы и методы исследования

Исследование выполнялось в четыре этапа с описанием выполняемых действий.

1. Анализ детали в соответствии с рабочим чертежом.

Расчет напряженно-деформированного состояния производился для многоступенчатой детали «Вал». Восемь ступеней вала выполняют функции

посадочных, крепежных и свободных поверхностей. Общая длина вала составляет 230 мм. Две посадочные поверхности (после резьбовых поверхностей) предназначены для установки подшипников, имеют $\varnothing 25k6^{+0,015}_{-0,002}$ мм и длины 18 мм и 24 мм, соответственно. Поверхности (со шпоночными пазами) для установки и крепления зубчатых колес на вал имеют $\varnothing 26n6^{+0,028}_{-0,015}$ мм, длину 27 мм и $\varnothing 30n6^{+0,028}_{-0,015}$ мм, длину 59 мм. Для выхода абразивного инструмента во время шлифования посадочных поверхностей, предусмотрены две канавки шириной 3 мм, глубиной 0,3 мм с образованием радиусной поверхности $R1$ мм. Крепление детали в узле технологического оборудования обеспечивается резьбами $M22 \times 1,5-8g$ на длине 18 мм и $M24 \times 1,5-8g$ на длине 19 мм. На резьбах выполняются две фаски $2 \times 45^\circ$. Свободными размерами вала являются наибольшие $\varnothing 35$ мм и $\varnothing 40$ мм, имеющие плавный переход фаской $5 \times 35^\circ$. На валу выполнены два закрытых шпоночных паза размерами $8 \times 5 \times 10$ мм и $8 \times 4 \times 22$ мм (радиус закругления паза, образующийся от фрезы 4 мм, внутренние закругления – не более 0,4 мм). Масса детали – 1,25 кг, объем – $159,64 \text{ см}^3$.

2. Построение объемной твердотельной модели детали в программной среде Ansys.

Возможно создание трехмерной модели в CAD-системах «легкого» класса (например, Компас) с последующим сохранением файла в формате IGES и импортом в систему Ansys.

3. Постановка задачи (задание начальных условий имитационного моделирования).

Решение выполнялось в модуле Harmonic Response в следующей последовательности:

а) Принятие материала детали ([Material Data](#)) – конструкционная сталь со следующими физико-механическими свойствами: плотность – 7850 кг/м^3 ; коэффициент Пуассона – 0,3; предел текучести – $2,5 \times 10^8 \text{ Па}$; предел прочности – $4,6 \times 10^8 \text{ Па}$; модуль упругости – $2 \times 10^{11} \text{ Па}$.

б) Разбиение твердотельной модели детали (Mesh) на 93762 узла (62431 элемент) для выполнения высокой точности расчета. Концентрация элементов представлена на рис. 1.

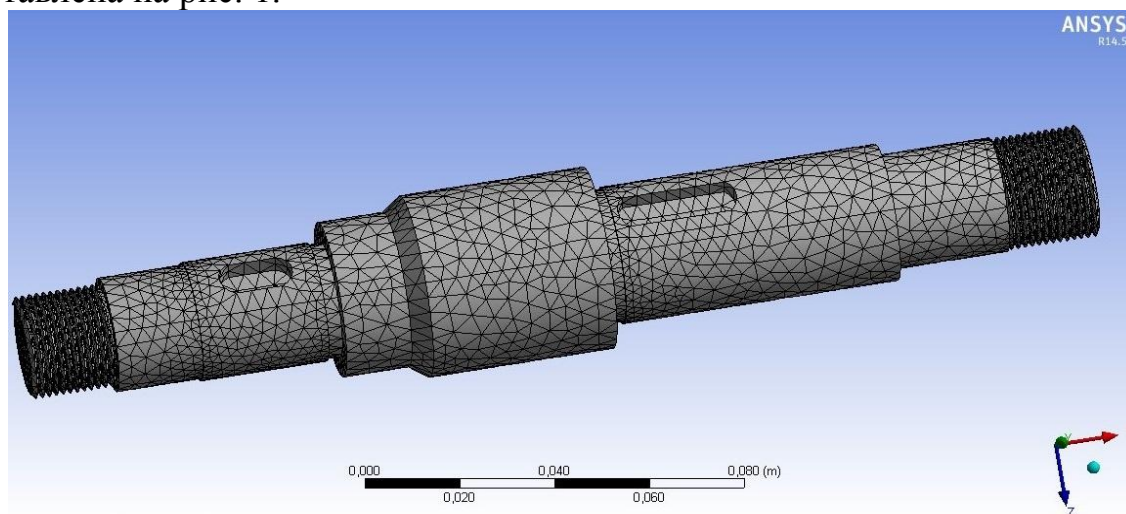


Рисунок 1 – Разбиение твердотельной модели ступенчатого вала

в) Приложение нагрузок (Loads) – два момента сил, величиной $120 \text{ Н} \times \text{м}$ и $150 \text{ Н} \times \text{м}$, направленных в одном направлении и действующих на диаметрах детали со шпоночными пазами (рис. 2). Фиксация вала – за наружные диаметры под подшипники.

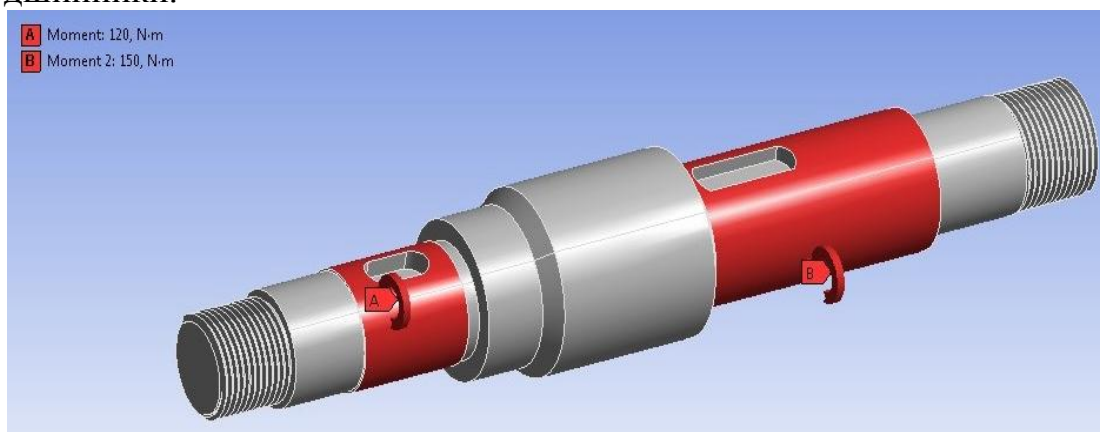


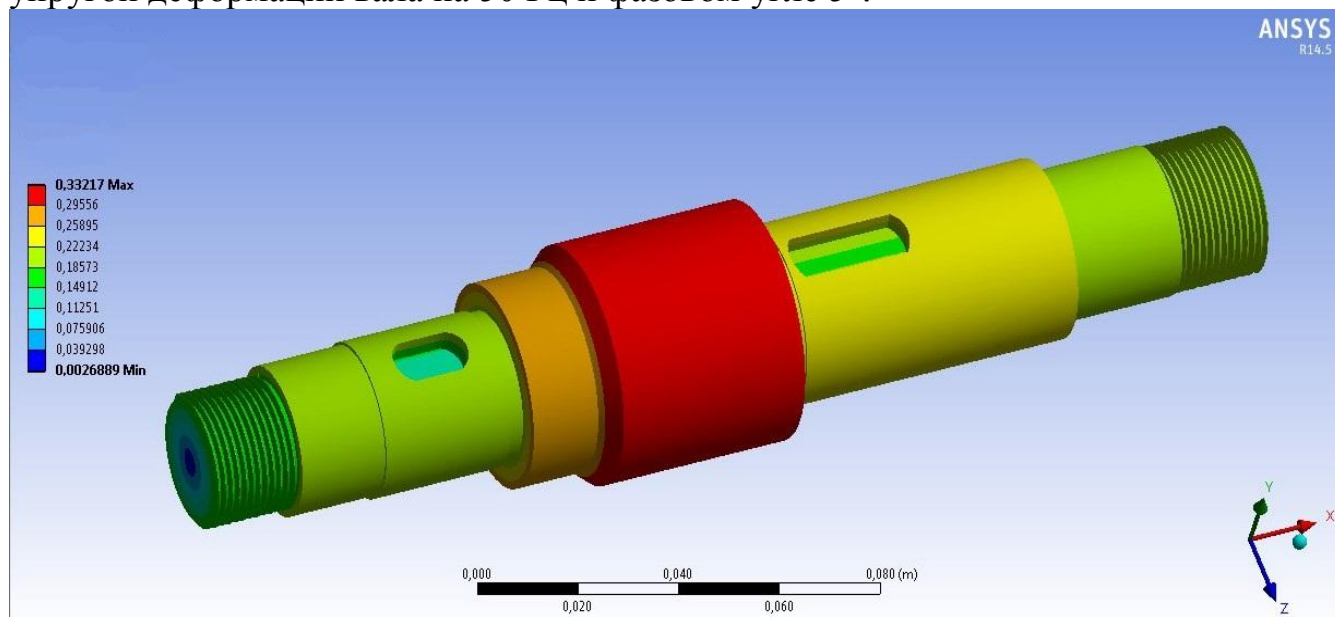
Рисунок 2 – Приложение (направление) моментов сил на ступени вала: А – $120 \text{ Н} \times \text{м}$; В – $150 \text{ Н} \times \text{м}$

г) Задание параметров анализа (Analysis Settings): частотный диапазон 0 – 50 Гц, интервалы решения – 10 (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50), решение задачи – метод наложения.

3. Результаты и их обсуждение

4. Решение и анализ результатов моделирования.

Процесс решения сопровождается обновлением текущих результатов на новые через 2,5 сек, при действии нагрузки на каждом частотном интервале. Результаты расчета представлены в виде эпюры, представляющей собой наложенную цветовую гамму на модель детали. На рис. 3 – 5 отображены эпюры полной деформации, максимального главного напряжения и эквивалентной упругой деформации вала на 50 Гц и фазовом угле 5° .



**Рисунок 3 – Полная деформация вала на частоте 50 Гц и фазовом угле 5° .
Единица измерения м**

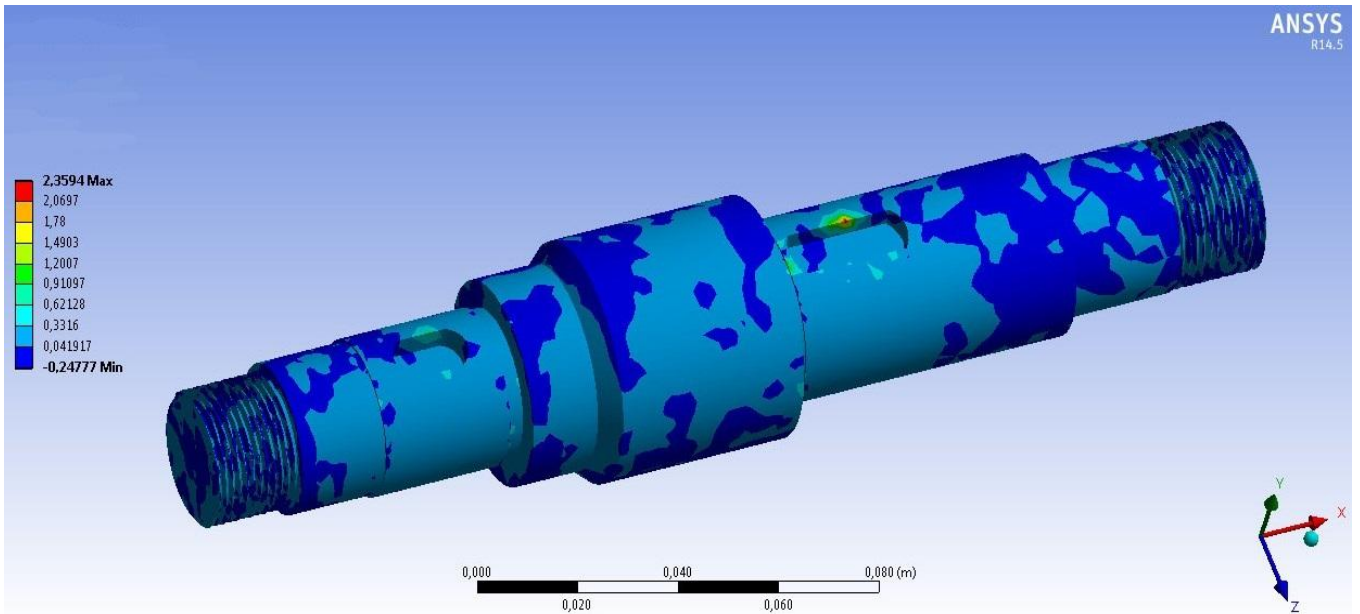


Рисунок 4 – Максимальное главное напряжение вала на частоте 50 Гц и фазовом угле 5°. Единица измерения Па

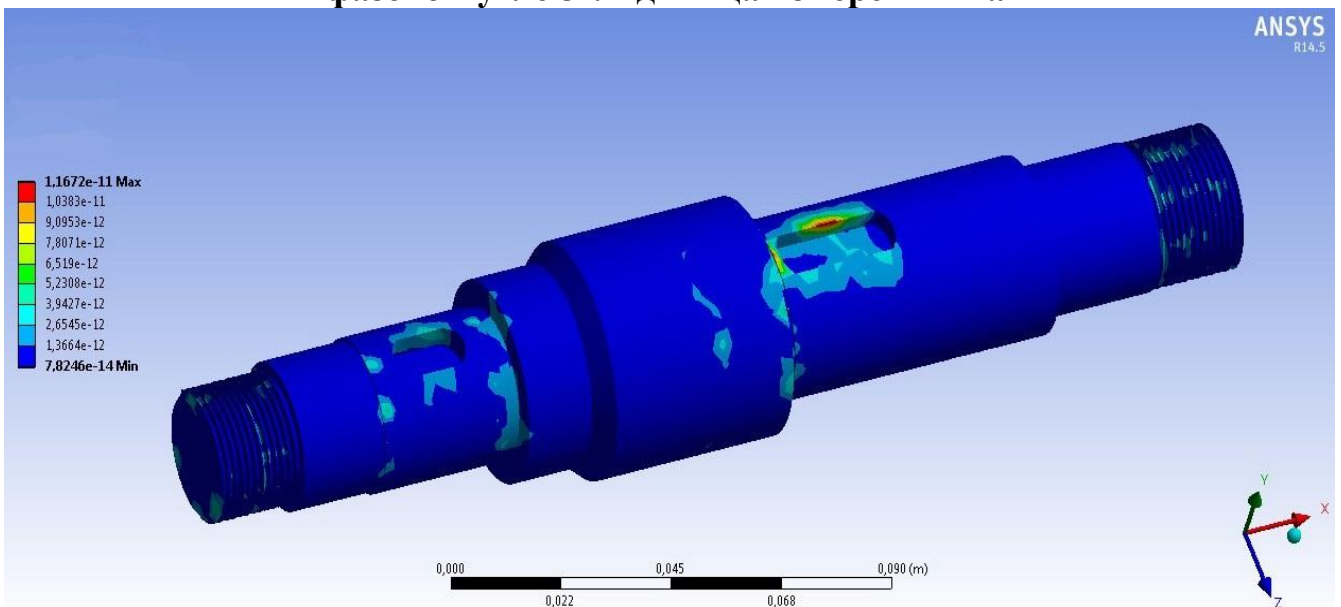
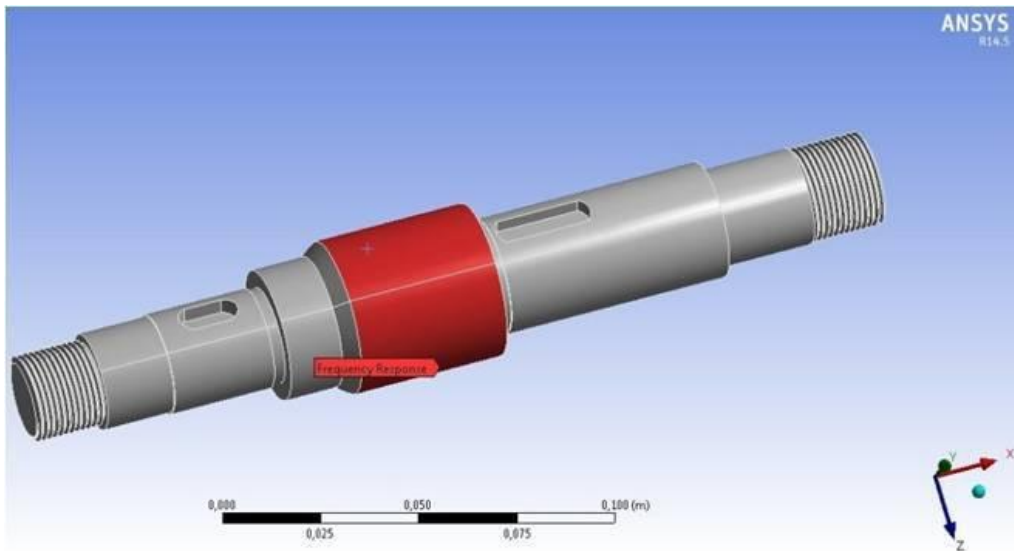
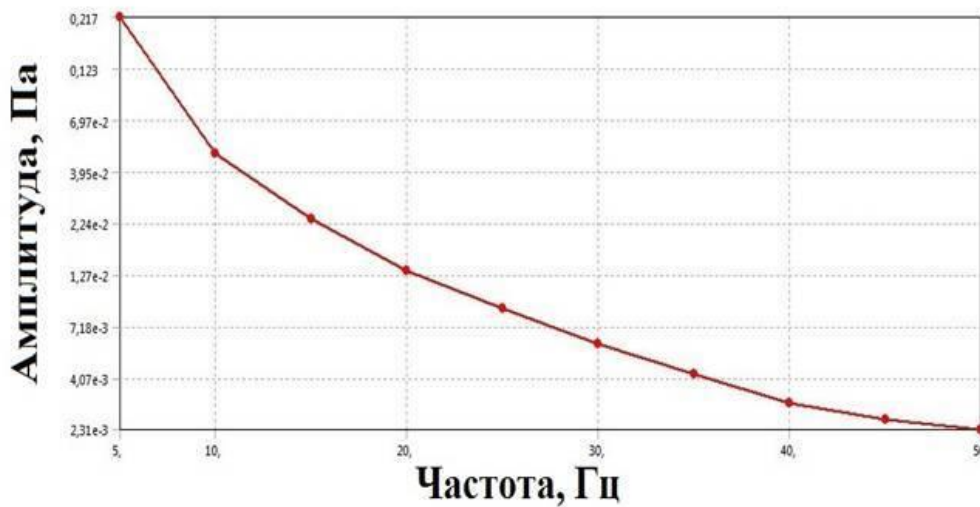


Рисунок 5 – Эквивалентная упругая деформация вала на частоте 50 Гц и фазовом угле 5°. Единица измерения м/м

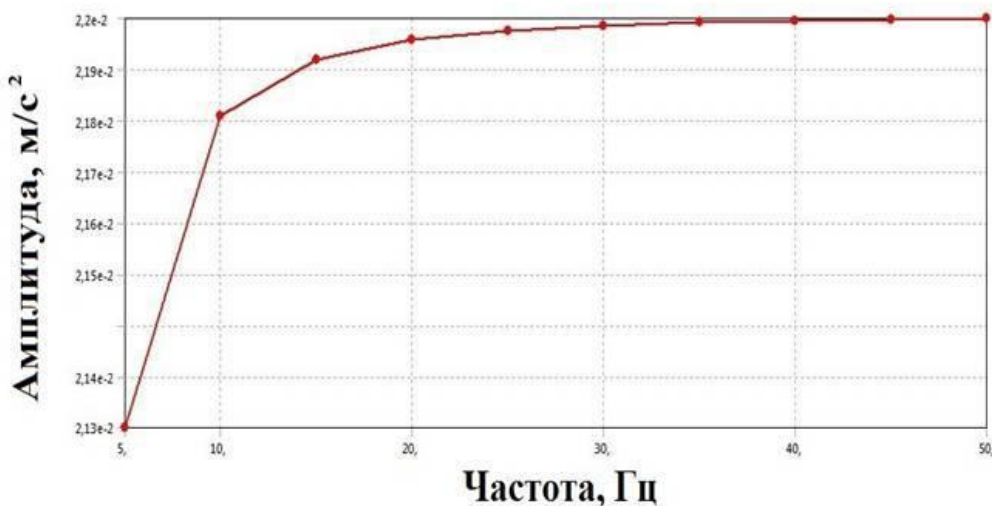
Отмечено, что максимальной деформации подвергаются наибольшие наружные диаметра вала (\varnothing 40 мм), минимальной – объем материала расположенный ближе к оси детали. Упругие деформации вала сосредоточены на краях шпоночных пазов. Напряжение распределено локальными участками на всех поверхностях детали. Характеры изменения амплитуд напряжений и направленного ускорения от величины частоты, определенные в результате отклика выбранных поверхностей вала, графически представлены на рис. 6 – 12.



а)



б)



в)

Рисунок 6 – Характеристики частотного отклика: а – поверхность вала (Ø 40 мм), с которой снимались показания; б – зависимость амплитуды напряжений от частоты; в – зависимость амплитуды направленного ускорения деформации от частоты

Для Ø 40 мм определены следующие зависимости амплитуд: наибольшая величина напряжения материала возникает в момент приложения нагрузок, и при дальнейшем их действии уменьшается до достижения минимального значения на частоте 50 Гц; на всем частотном диапазоне, направленное ускорение деформации материала не значительно увеличивается (на $0,07 \times 10^{-2} \text{ м/с}^2$).

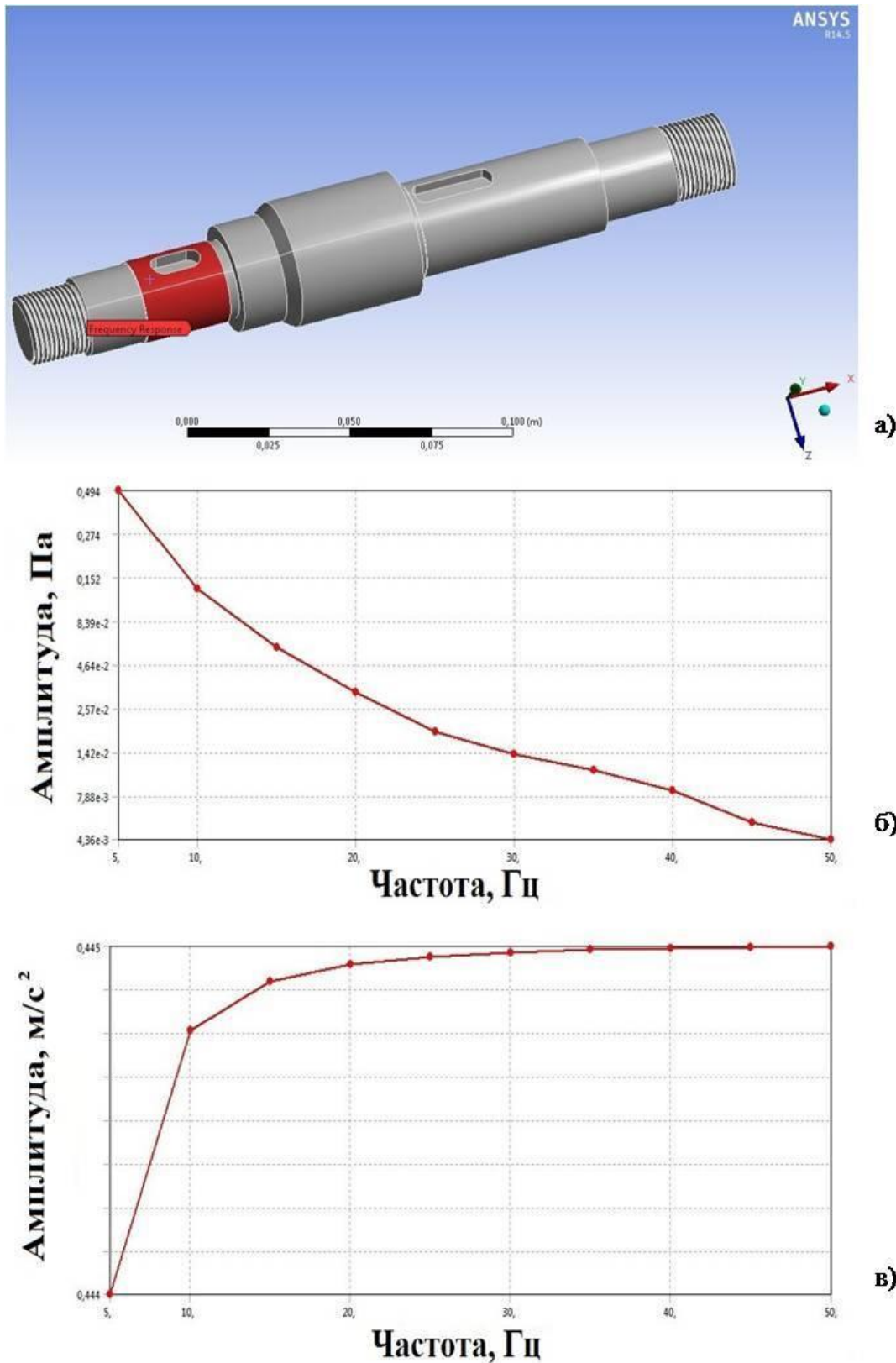


Рисунок 7 – Характеристики частотного отклика: а – поверхность вала (Ø 26 мм), с которой снимались показания; б – зависимость амплитуды напряжений от частоты; в – зависимость амплитуды направленного ускорения деформации от частоты

Для Ø 26 мм определены следующие зависимости амплитуд: размах (уменьшение) амплитуды напряжения материала составляет 0,48964 Па на частотном диапазоне 0 – 50 Гц (характер изменения величины – линейный, без резких уменьшений); на всем частотном диапазоне расчета, направленное ускорение деформации материала детали не значительно увеличивается.

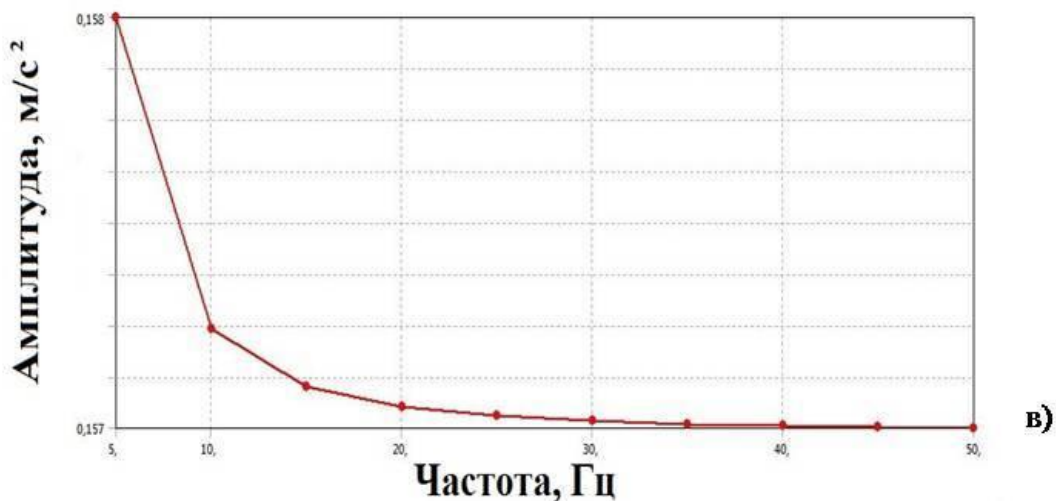
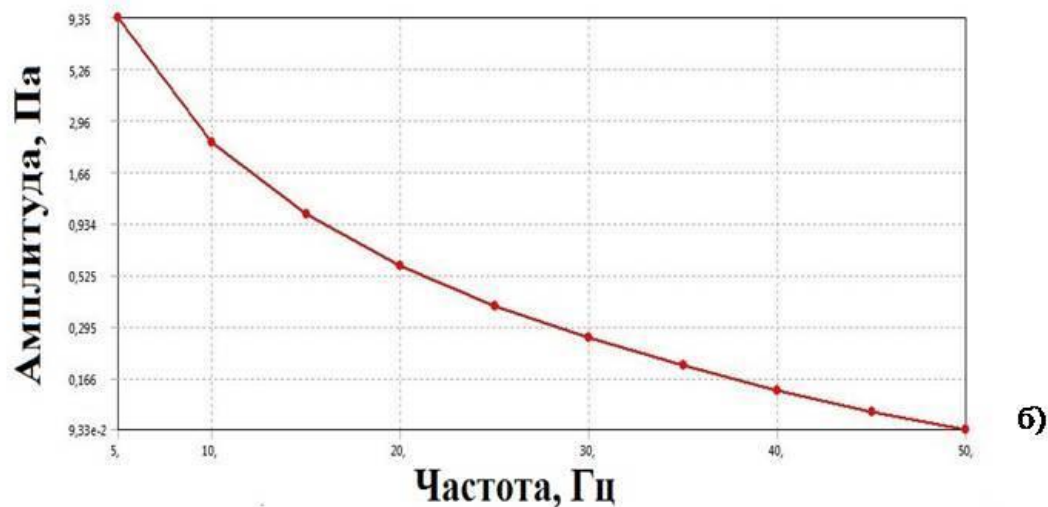
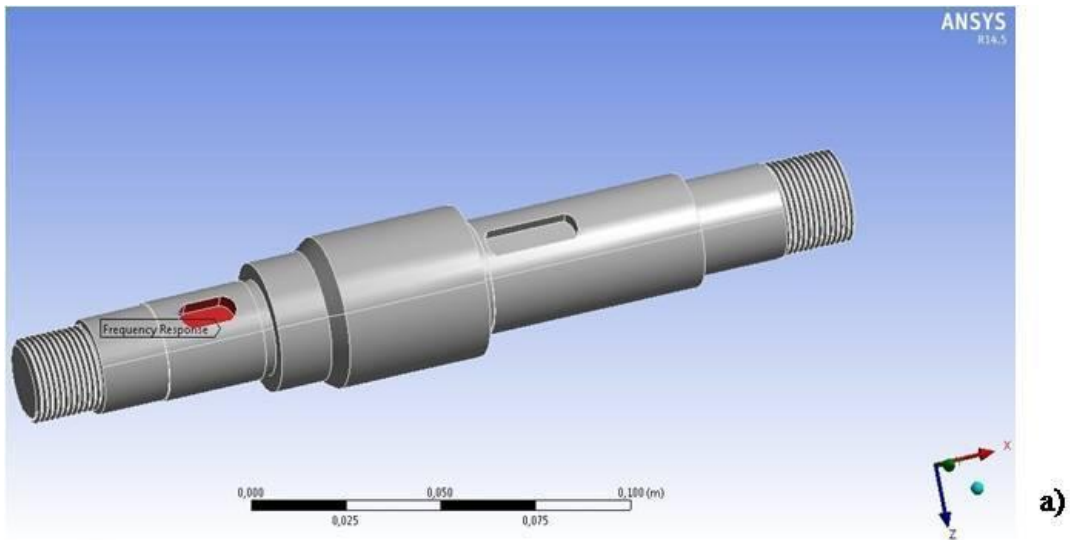


Рисунок 8 – Характеристики частотного отклика: а – поверхность вала (шпоночный паз \varnothing 26 мм), с которой снимались показания; б – зависимость амплитуды напряжений от частоты; в – зависимость амплитуды направленного ускорения деформации от частоты

Для шпоночного паза \varnothing 26 мм определены следующие зависимости амплитуд: размах (уменьшение) амплитуды напряжения материала составляет 9,2567 Па на частотном диапазоне 0 – 50 Гц; величина направленного ускорения деформации материала детали не значительно уменьшается. При расчете учитывались боковые присоединительные поверхности шпоночного паза.

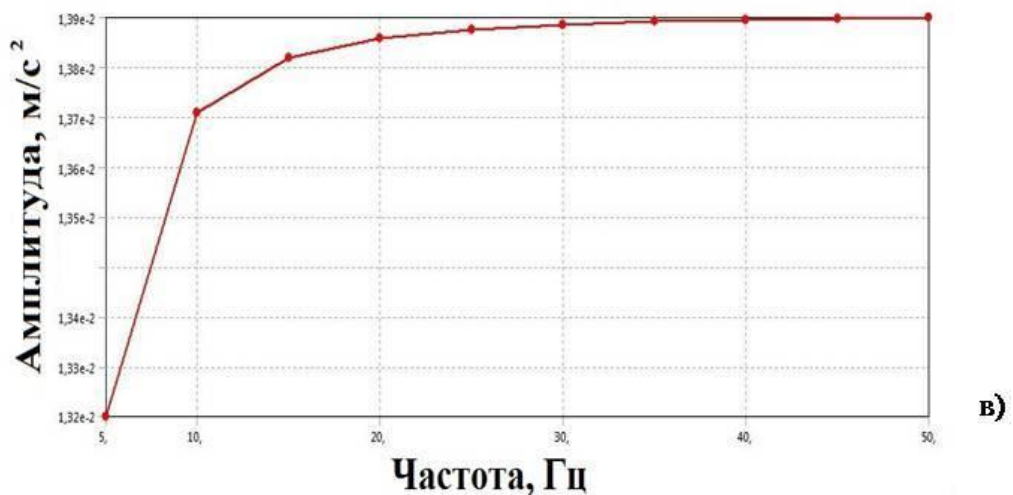
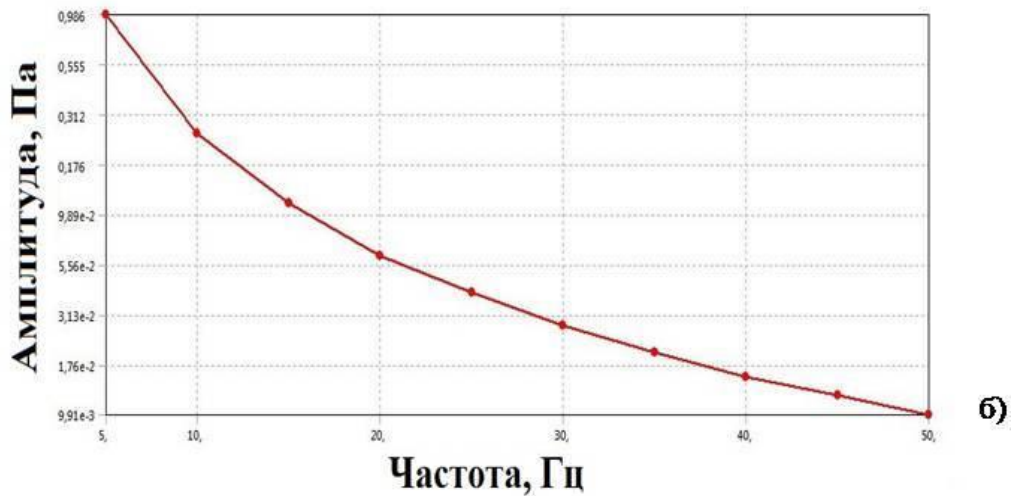
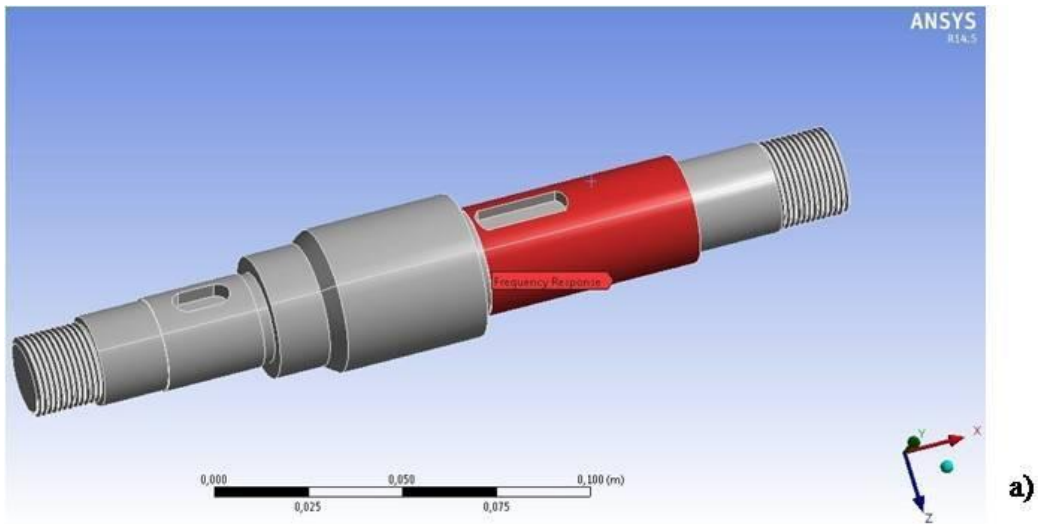


Рисунок 9 – Характеристики частотного отклика: а – поверхность вала (Ø 30 мм), с которой снимались показания; б – зависимость амплитуды напряжений от частоты; в – зависимость амплитуды направленного ускорения деформации от частоты

Для Ø 30 мм определены следующие зависимости амплитуд: размах (уменьшение) амплитуды напряжения материала составляет 0,97609 Па на частотном диапазоне 0 – 50 Гц; величина направленного ускорения деформации материала детали не значительно увеличивается на всем частотном диапазоне ($0,07 \times 10^{-2} \text{ м/с}^2$). Для расчета принята поверхность детали без учета шпоночного паза.

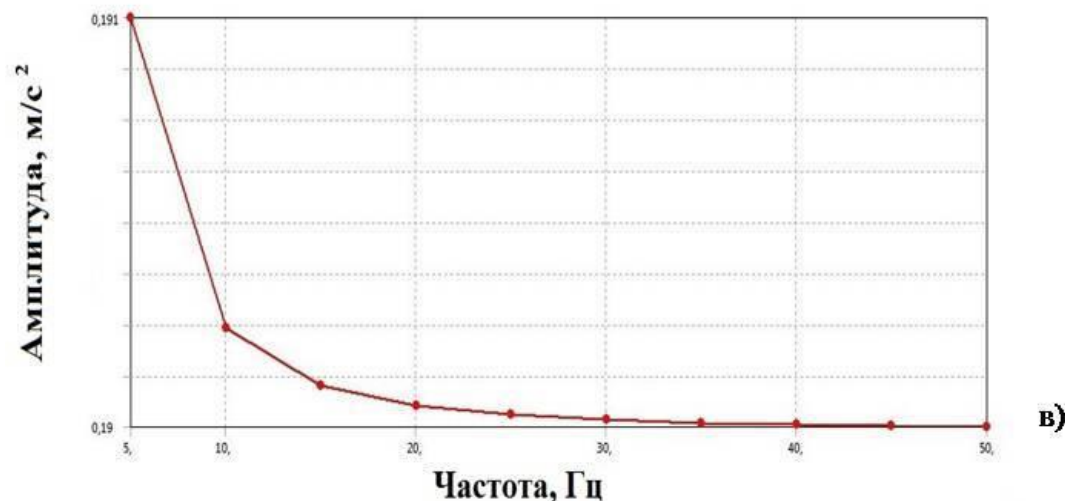
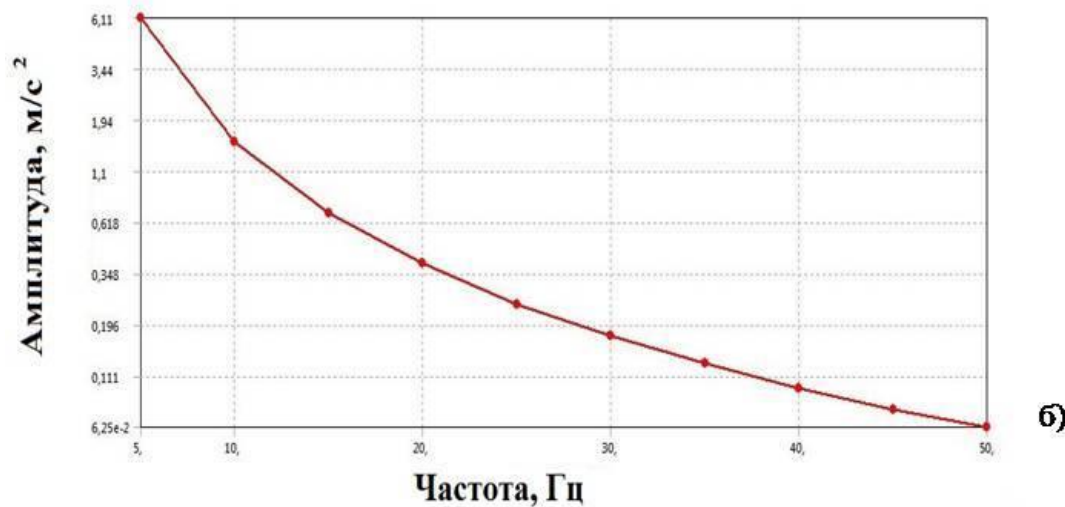
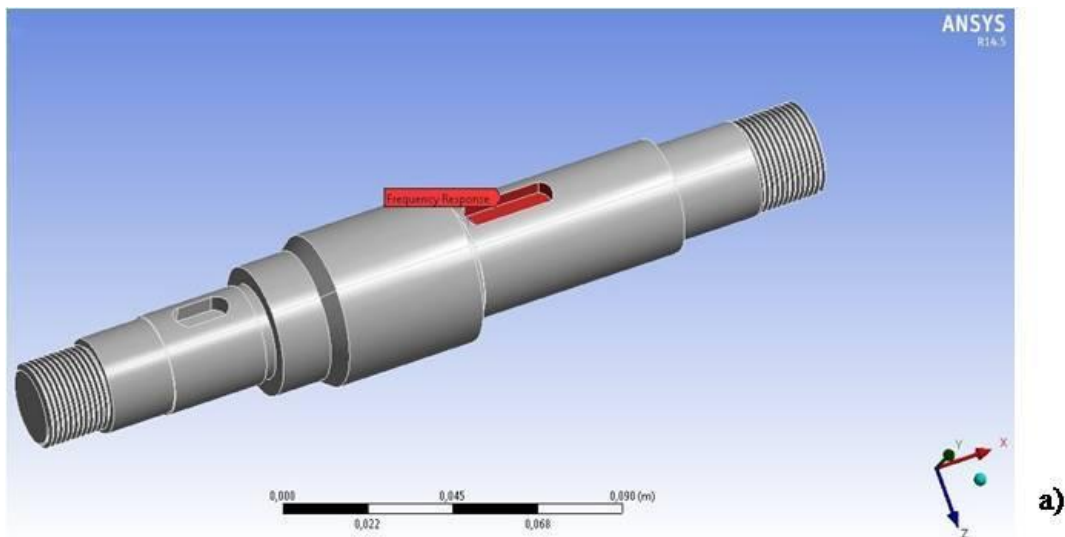
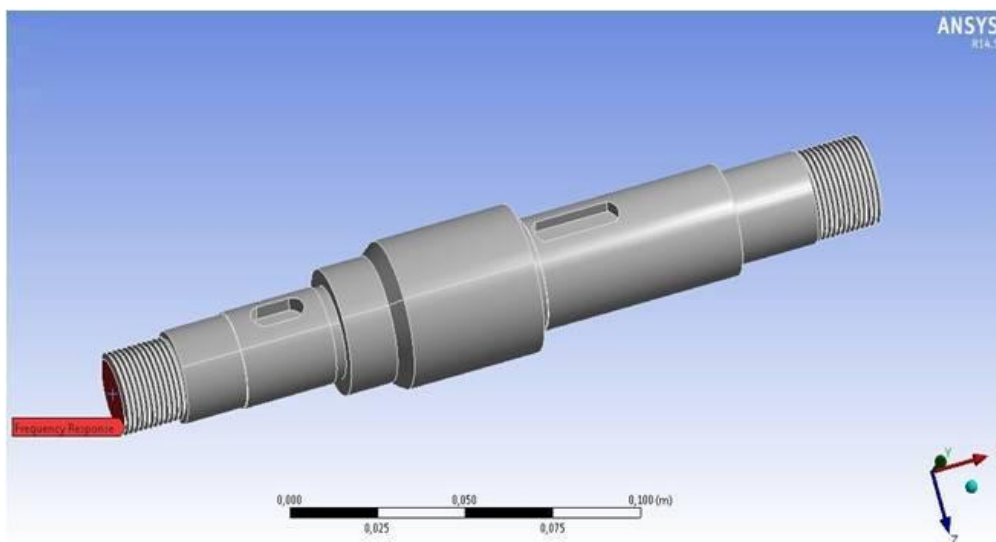
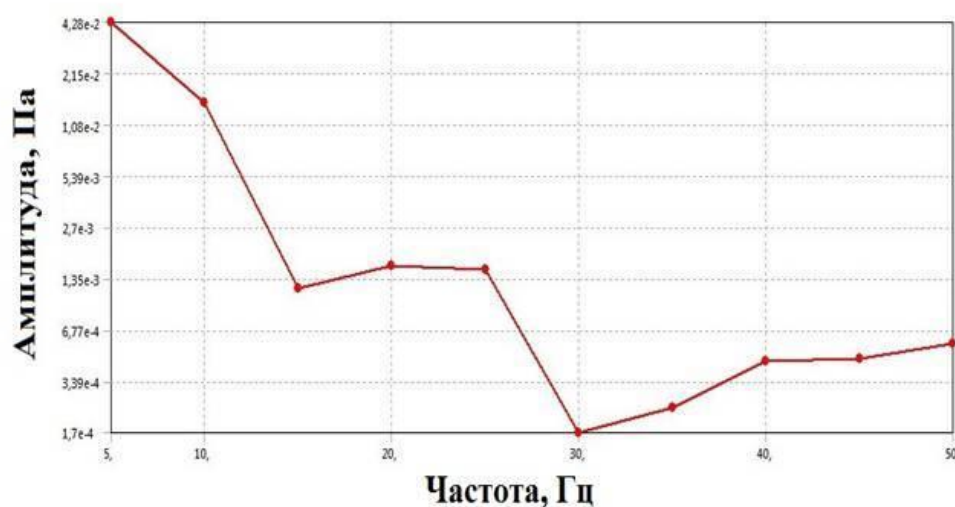


Рисунок 10 – Характеристики частотного отклика: а – поверхность вала (шпоночный паз Ø 30 мм), с которой снимались показания; б – зависимость амплитуды напряжений от частоты; в – зависимость амплитуды направленного ускорения деформации от частоты

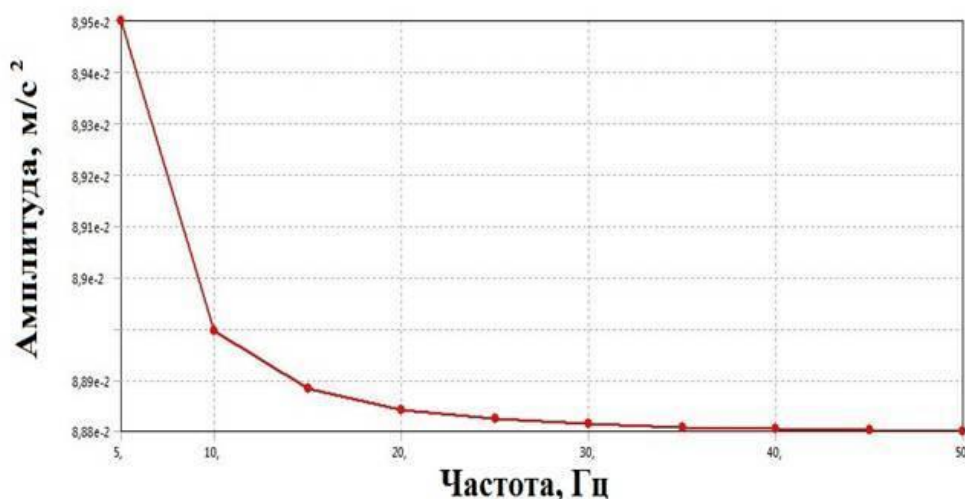
Для шпоночного паза Ø 30 мм определены следующие зависимости амплитуд: размах (уменьшение) амплитуды напряжения материала составляет 6,0475 Па на частотном диапазоне 0 – 50 Гц; величина направленного ускорения деформации материала детали не значительно уменьшается. При расчете учитывались боковые присоединительные поверхности шпоночного паза.



а)



б)



в)

Рисунок 11 – Характеристики частотного отклика: а – поверхность вала (торцевая поверхность со стороны резьбы), с которой снимались показания; б – зависимость амплитуды напряжений от частоты; в – зависимость амплитуды направленного ускорения деформации от частоты

Для торцевой поверхности со стороны резьбы определены следующие зависимости амплитуд: размах амплитуды напряжения материала представлен в виде возрастающих (в интервалах 15 – 20 Гц и 30 – 50 Гц) и убывающих (в интервалах 5 – 15 Гц и 20 – 30 Гц) функций; величина направленного ускорения деформации материала детали не значительно уменьшается (на $0,07 \times 10^{-2} \text{ м/с}^2$).

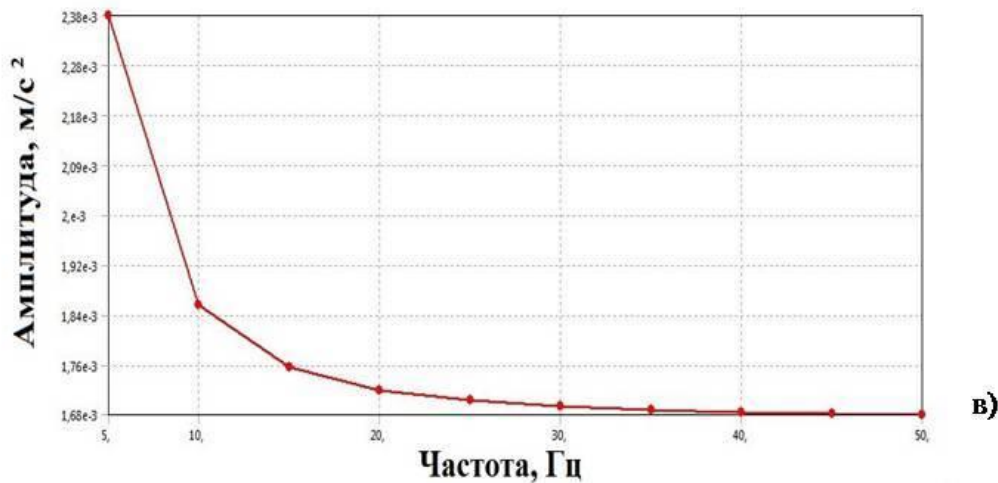
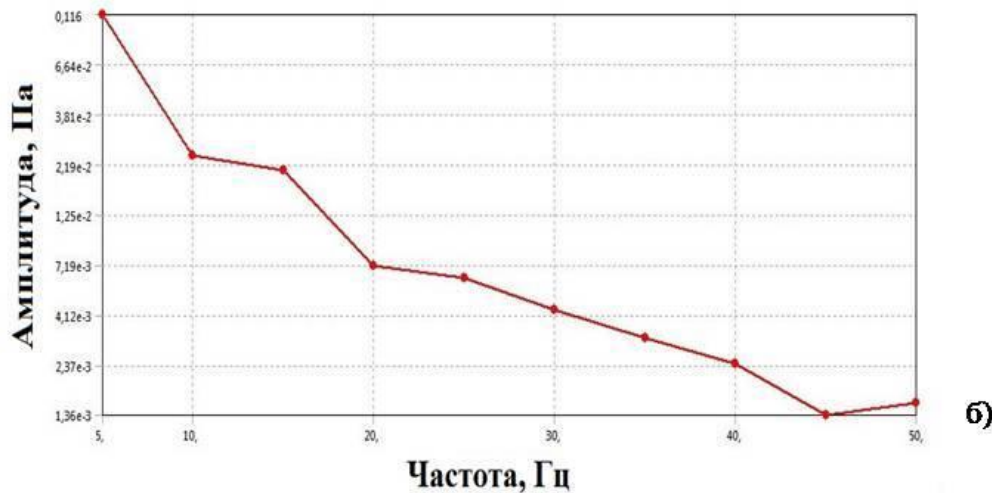
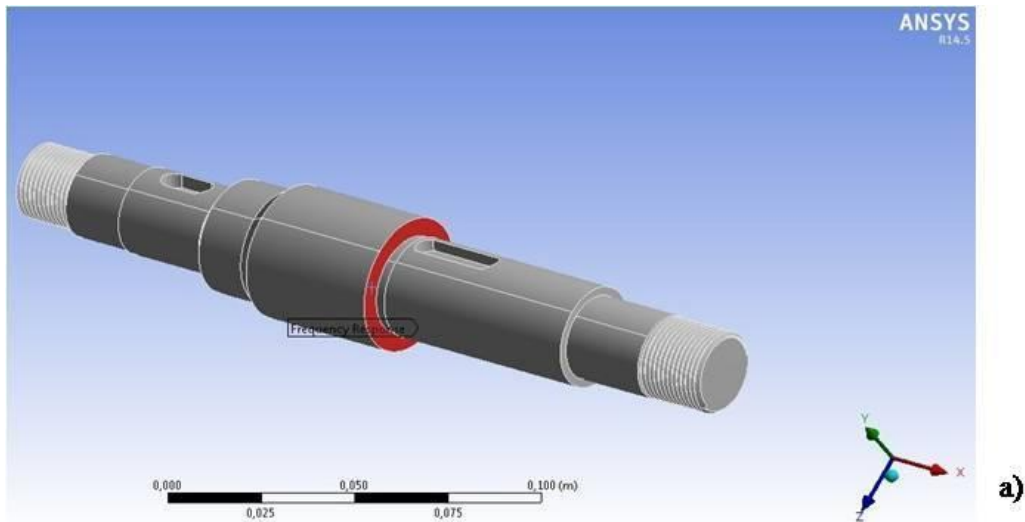


Рисунок 12 – Характеристики частотного отклика: а – поверхность вала (торцевая поверхность $\varnothing 40$ мм), с которой снимались показания; б – зависимость амплитуды напряжений от частоты; в – зависимость амплитуды направленного ускорения деформации от частоты

Для торцевой поверхности $\varnothing 40$ мм определены следующие зависимости амплитуд: напряжение материала на частотном интервале 5 – 45 Гц уменьшается, с 45 Гц увеличивается; величина направленного ускорения деформации материала детали постоянно уменьшается.

Результаты реализации имитационного моделирования напряженно-деформированного состояния ступенчатого вала при действии на него различных

по величине и одинаковых по направлению моментов сил, представлены в сводной табл. 1. Значения напряжения материала детали, выделенные красным цветом – максимальные, зеленым – минимальные.

Таблица 1
Результаты расчета

Наименование и единица измерения параметров	Поверхности детали						
	Ø 40 мм	Ø 26 мм	шпон. паз Ø 26 мм	Ø 30 мм	шпон. паз Ø 30 мм	торцевая поверхн. со стороны резьбы	торцевая поверхн. Ø 40 мм
Макс. амплитуда, Па	0,217	0,494	9,35	0,986	6,11	$4,28 \times 10^{-2}$	0,116
Макс. амплитуда, м/с ²	$2,2 \times 10^{-2}$	0,445	0,158	$1,39 \times 10^{-2}$	0,191	$8,95 \times 10^{-2}$	$2,38 \times 10^{-3}$

4. Заключение

В соответствии с расчетом, определено, что максимальные напряжения возникают на поверхностях шпоночных пазов при непосредственном действии моментов сил. По мере удаления от места приложения нагрузок, напряжение в материале детали уменьшается. Для шпоночного паза Ø 26 мм вала получена математическая модель (1) изменения величины напряжения материала от частоты и момента силы величиной $120 \text{ Н} \times \text{м}$.

$$\sigma = k_1 - k_2 \times \vec{M} - k_3 \times f, \quad (1)$$

где σ – напряжение; k_1, k_2, k_3 – коэффициенты, значения которых зависят от величин момента силы и частоты; M – момент силы; f – частота. При этом должно выполняться следующее условие для коэффициентов: $k_1 > k_2 < k_3$.

Вопросы для самоконтроля

1. Где применяются валы?
2. Определить допуск на размер $\text{Ø } 25k6 \begin{matrix} +0,015 \\ -0,002 \end{matrix}$?
3. Что такое максимальное главное напряжение?
4. Что такое эквивалентная упругая деформация?
5. Для рассмотренного вала, указать наиболее напряженный участок?