

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



«28» 01 2016 г.

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»

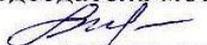
Для обучающихся специальности 151901 (Технология машиностроения)

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.

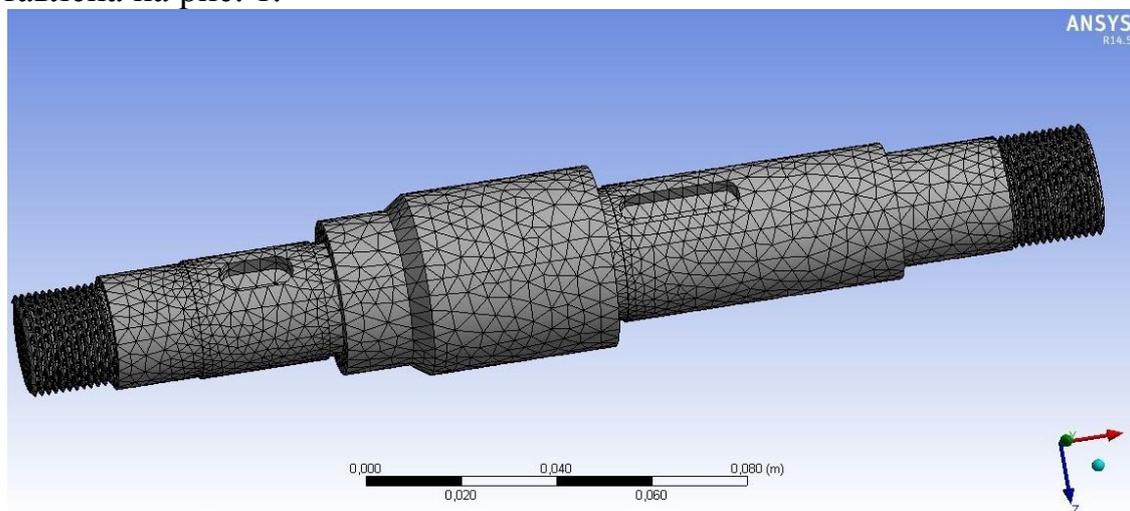


Рисунок 1 – Разбиение твердотельной модели ступенчатого вала

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.

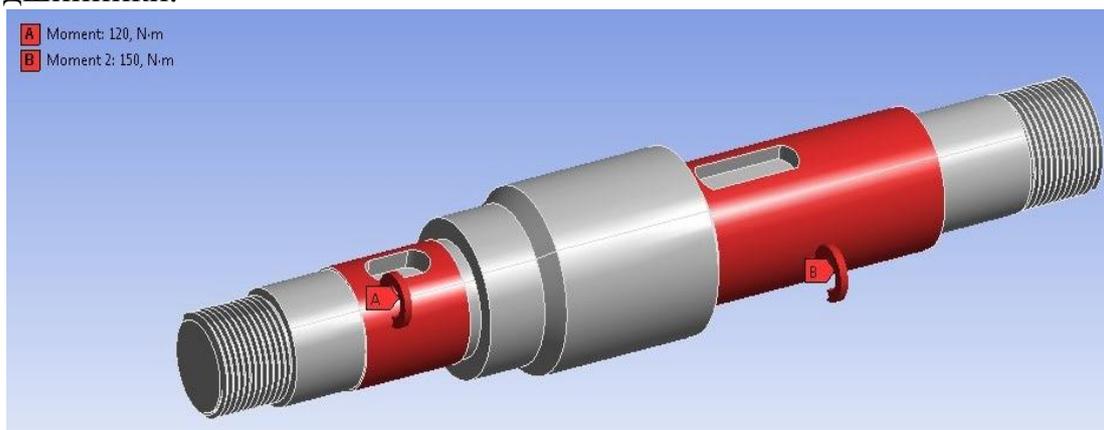


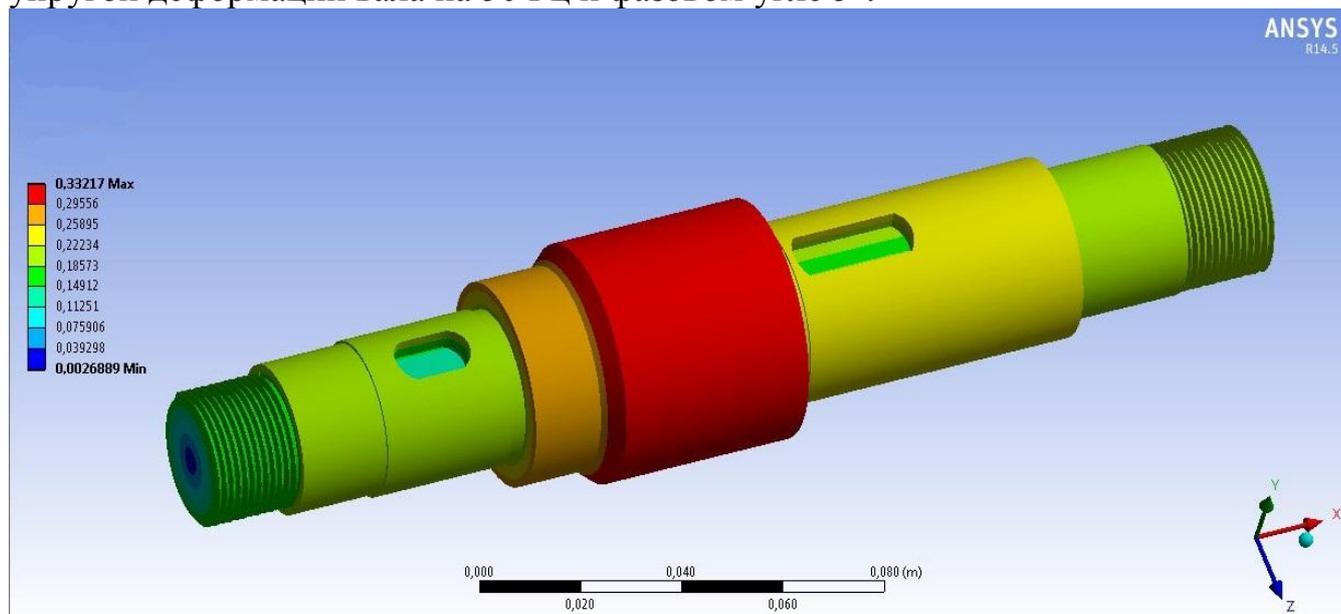
Рисунок 2 – Приложение (направление) моментов сил на ступени вала: А – $120 \text{ Н} \times \text{м}$; В – $150 \text{ Н} \times \text{м}$

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**

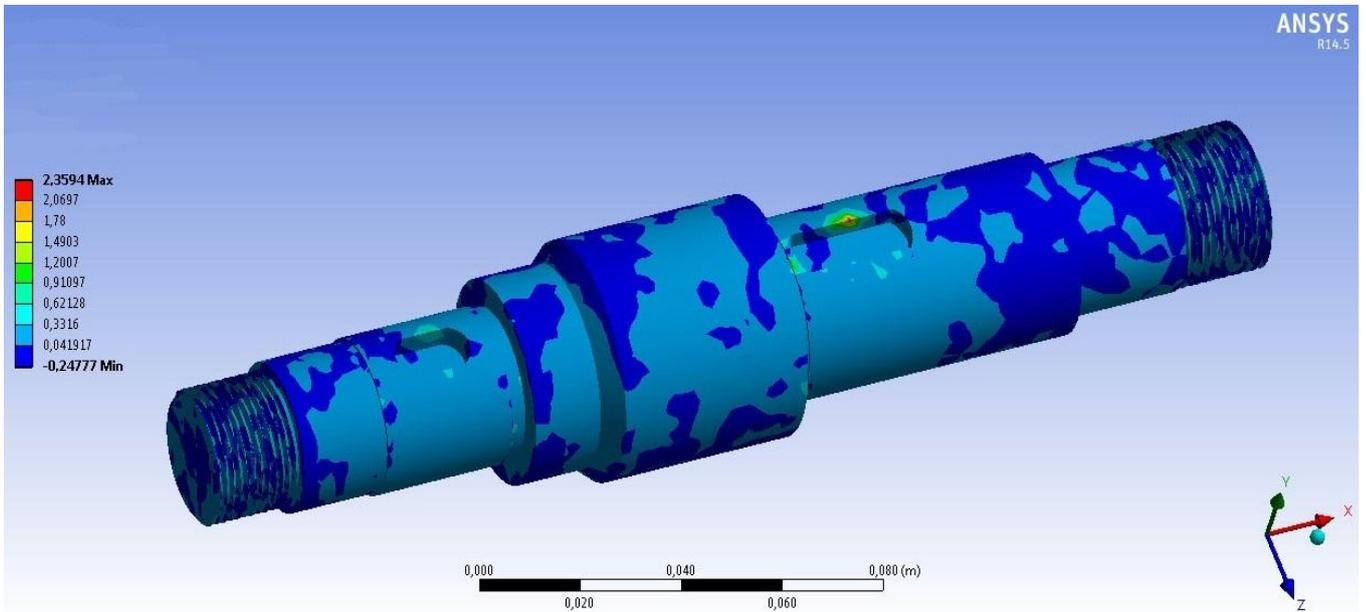


Рисунок 4 – Максимальное главное напряжение вала на частоте 50 Гц и фазовом угле 5°. Единица измерения Па

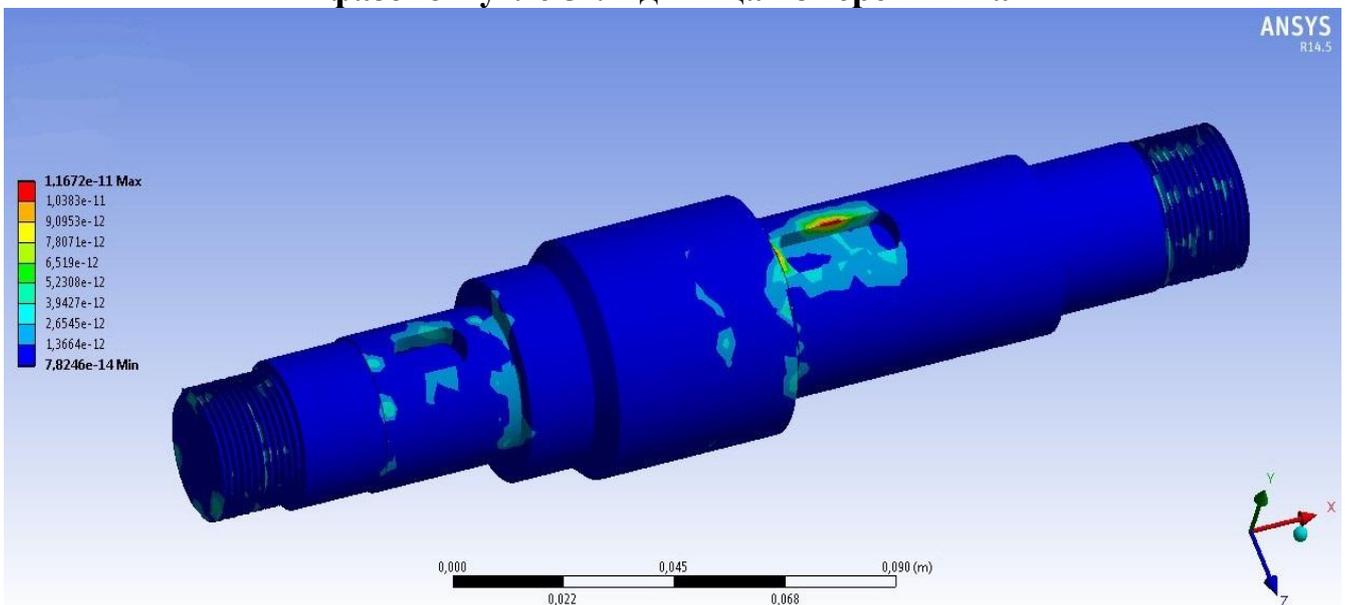


Рисунок 5 – Эквивалентная упругая деформация вала на частоте 50 Гц и фазовом угле 5°. Единица измерения м/м

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.

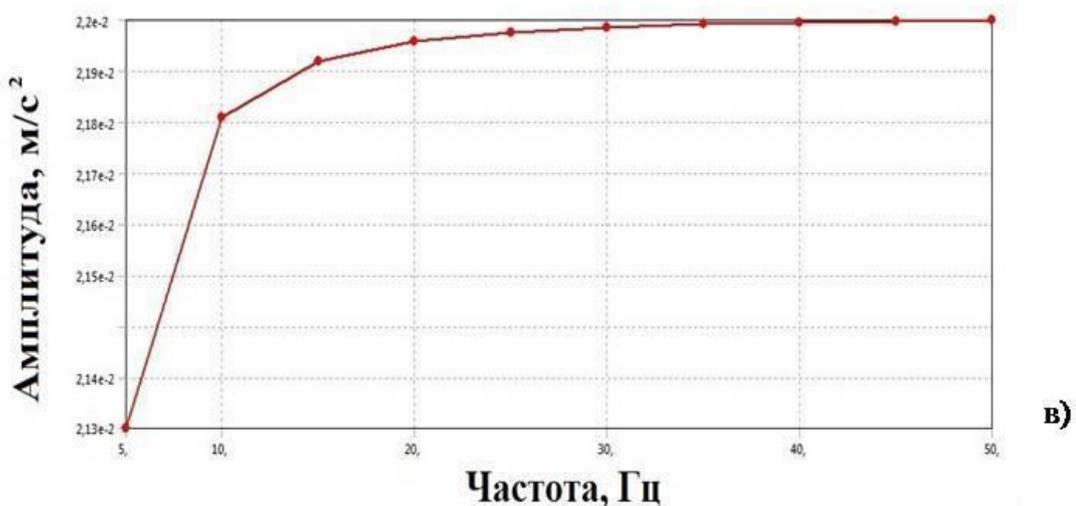
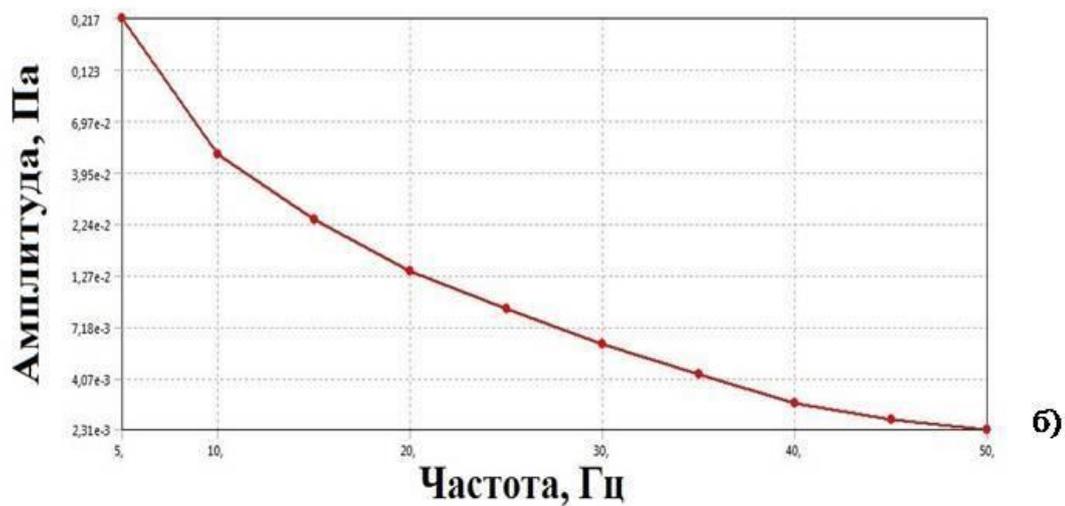
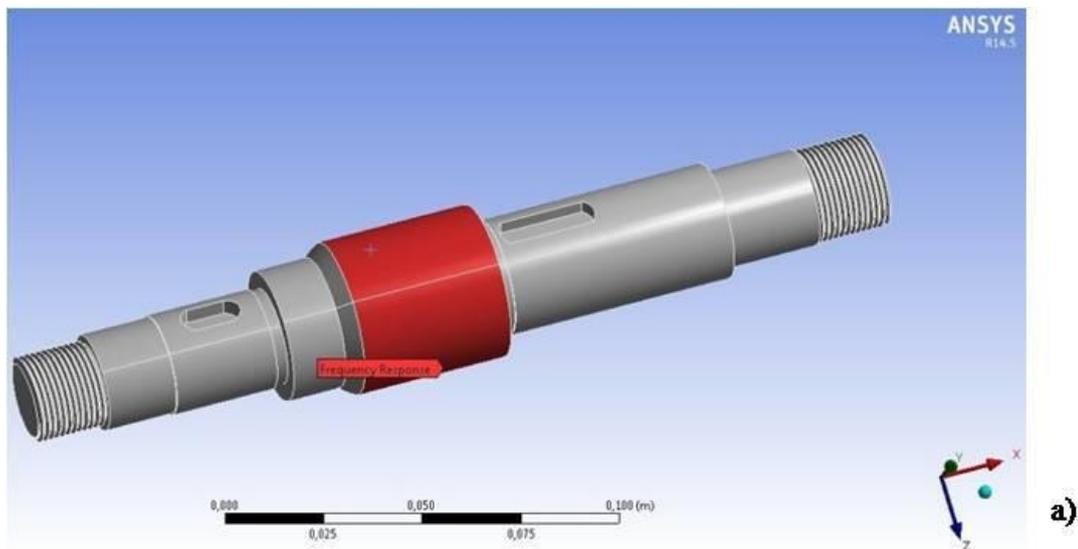


Рисунок 6 – Характеристики частотного отклика: а – поверхность вала (Ø 40 мм), с которой снимались показания; б – зависимость амплитуды напряжений от частоты; в – зависимость амплитуды направленного ускорения деформации от частоты

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 $0,07 \times 10^{-2} \text{ м/с}^2$).

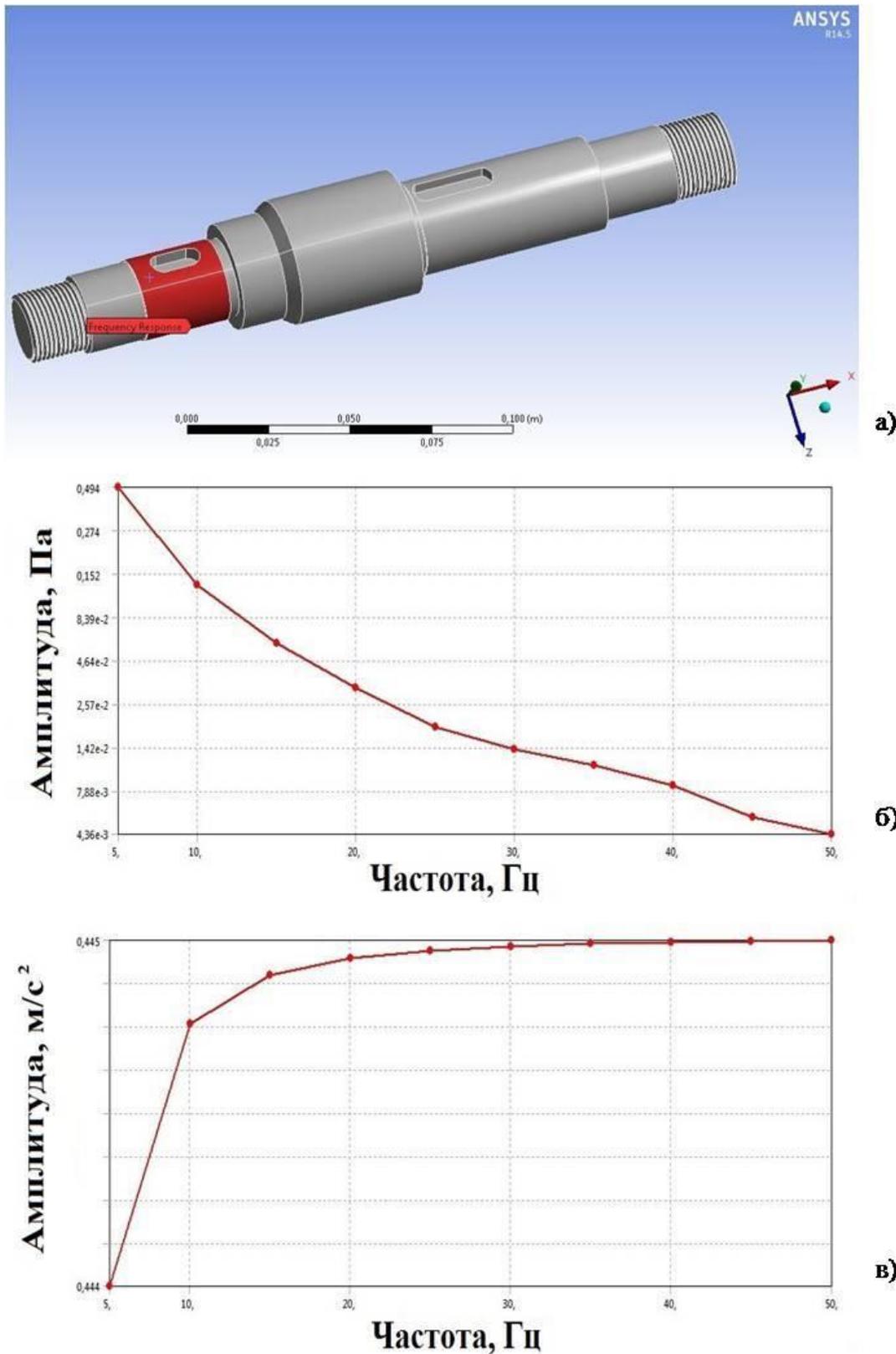


Рисунок 7 – Характеристики частотного отклика: а – поверхность вала (Ø 26 мм), с которой снимались показания; б – зависимость амплитуды напряжений от частоты; в – зависимость амплитуды направленного ускорения деформации от частоты

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.

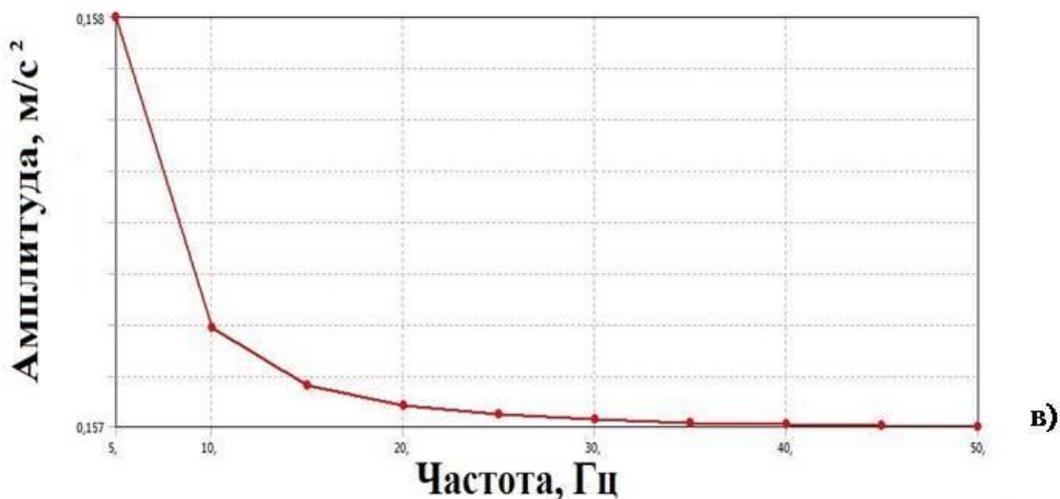
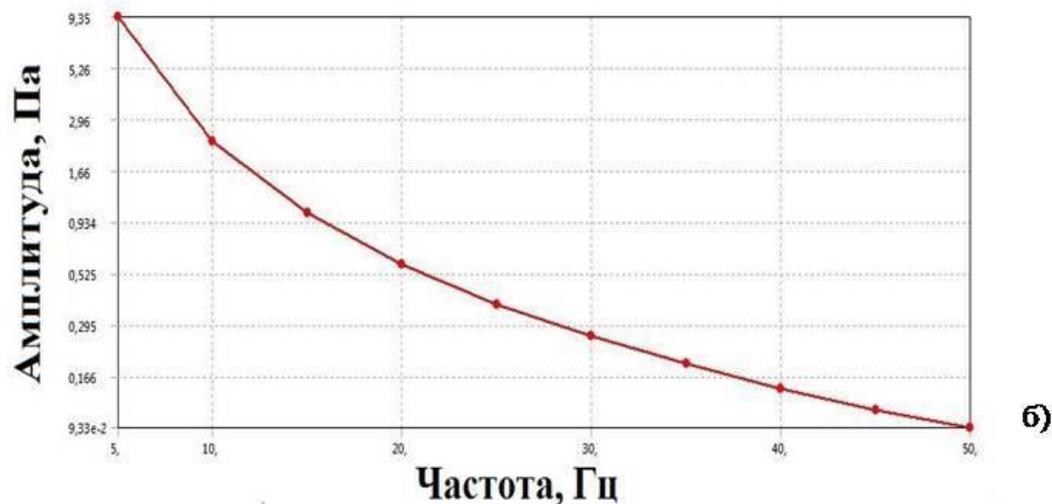
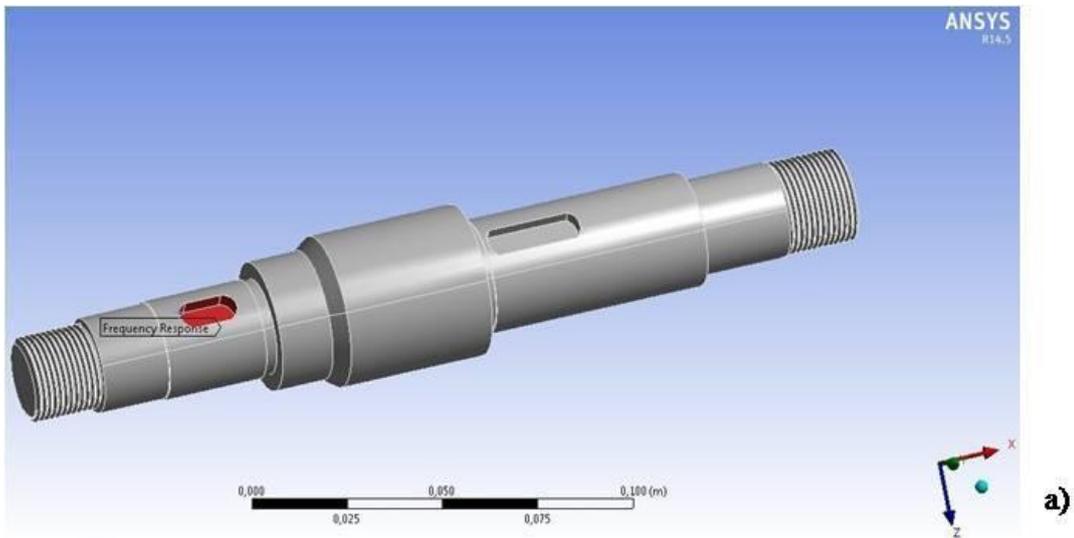


Рисунок 8 – Характеристики частотного отклика: а – поверхность вала (шпоночный паз \varnothing 26 мм), с которой снимались показания; б – зависимость амплитуды напряжений от частоты; в – зависимость амплитуды направленного ускорения деформации от частоты

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.

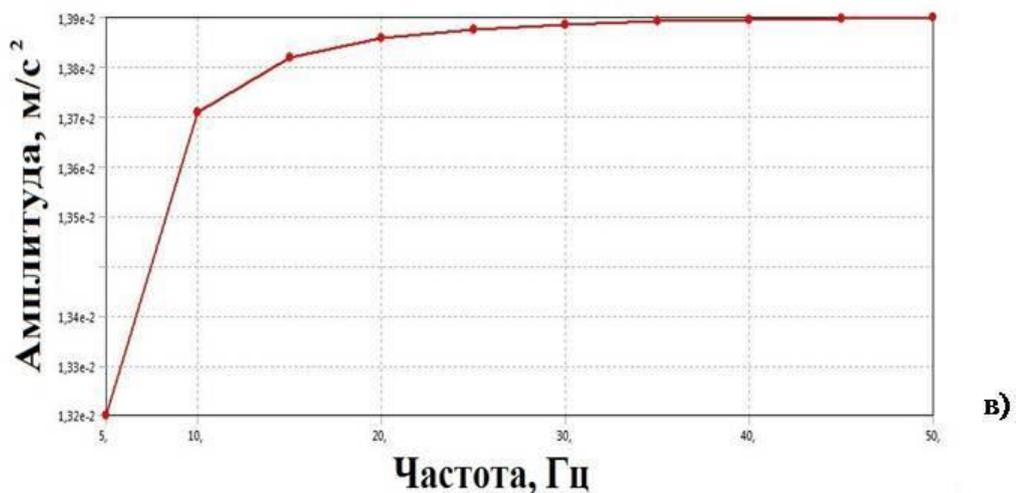
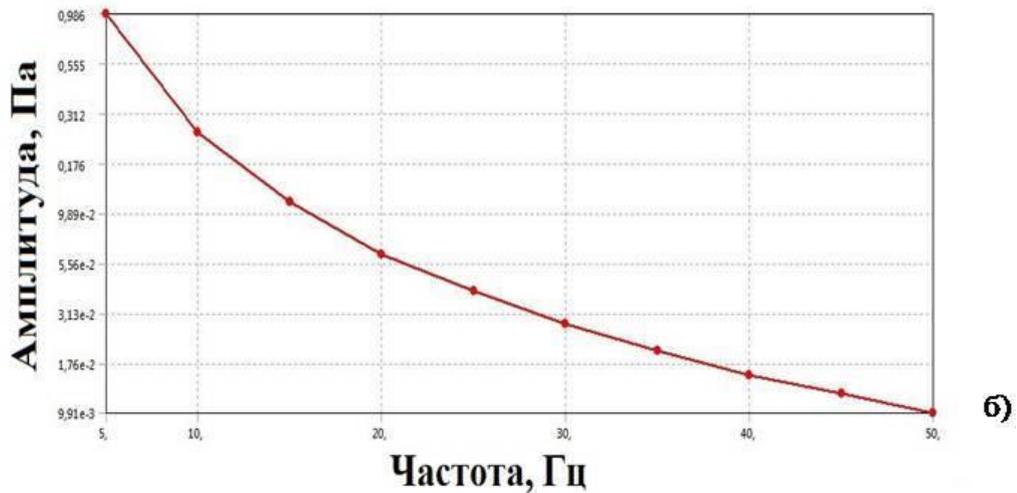
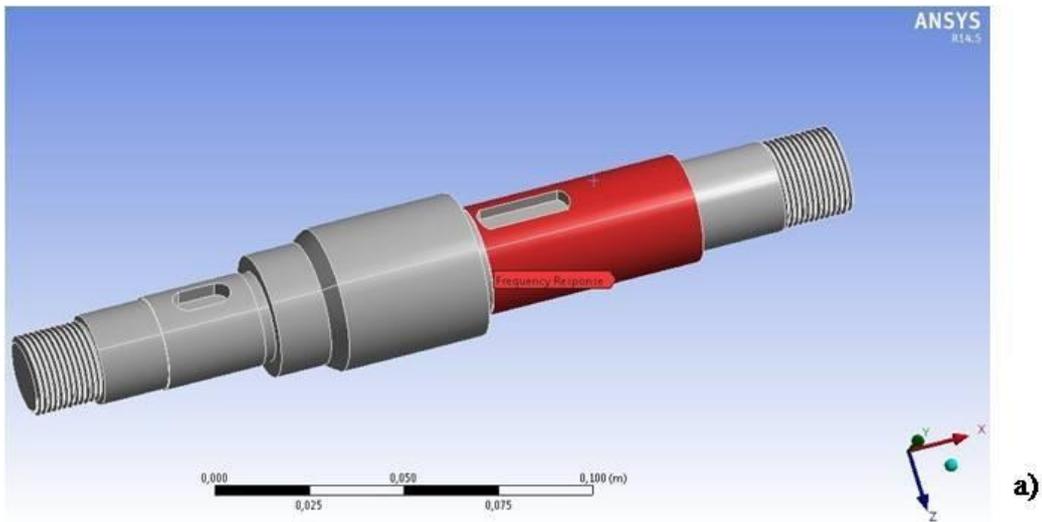
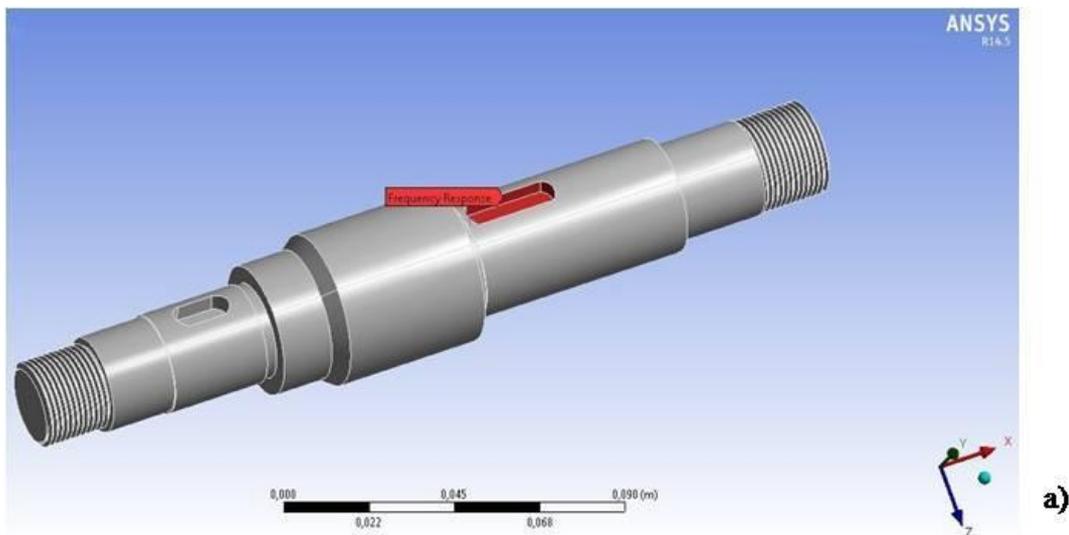
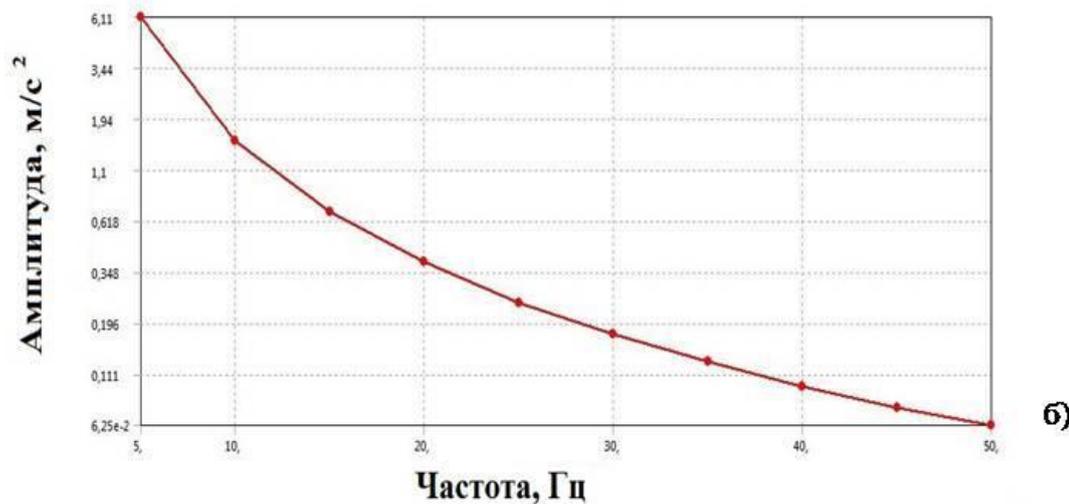


Рисунок 9 – Характеристики частотного отклика: а – поверхность вала (Ø 30 мм), с которой снимались показания; б – зависимость амплитуды напряжений от частоты; в – зависимость амплитуды направленного ускорения деформации от частоты

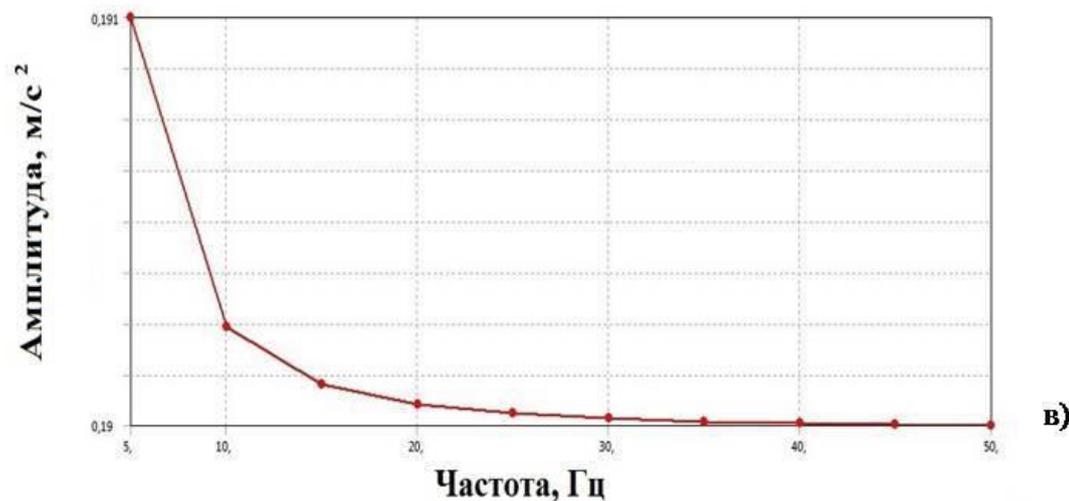
Для Ø 30 мм определены следующие зависимости амплитуд: размах (уменьшение) амплитуды напряжения материала составляет 0,97609 Па на частотном диапазоне 0 – 50 Гц; величина направленного ускорения деформации материала детали не значительно увеличивается на всем частотном диапазоне ($0,07 \times 10^{-2}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



а)



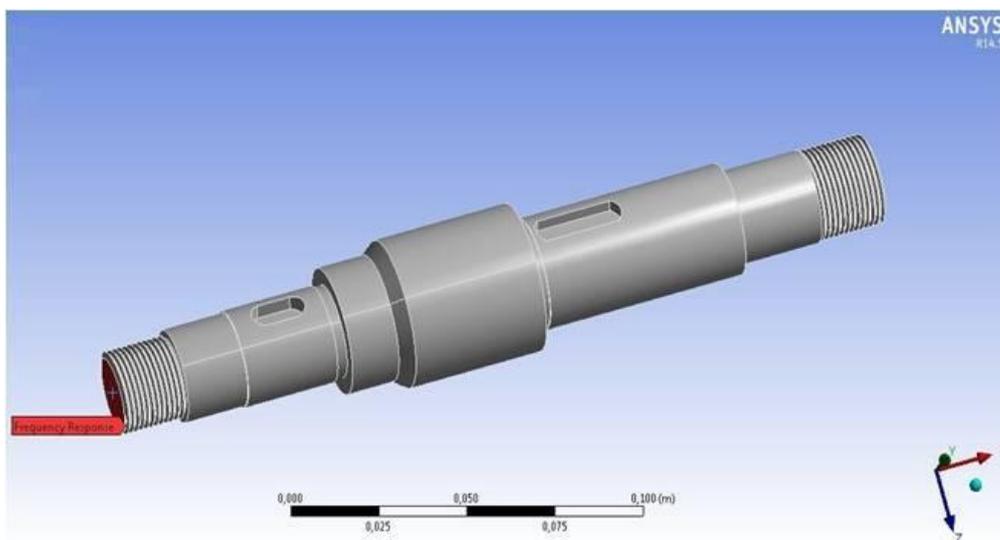
б)



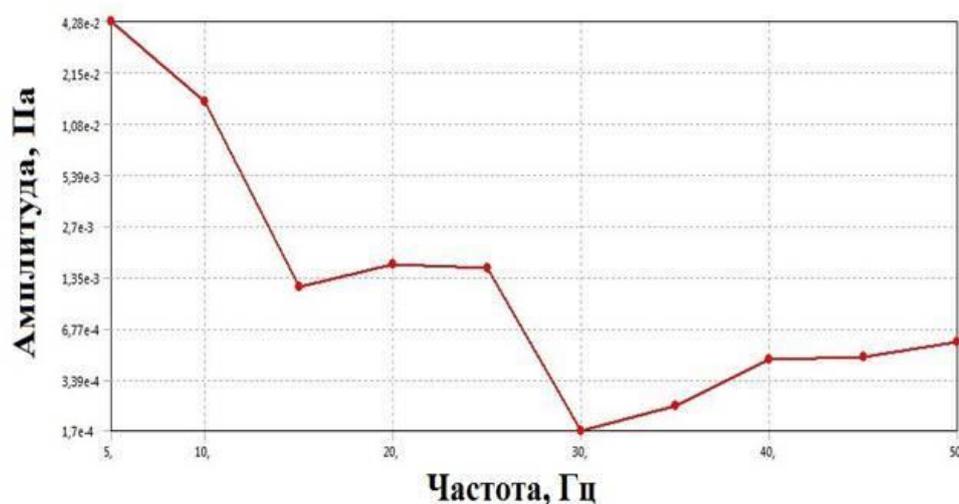
в)

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

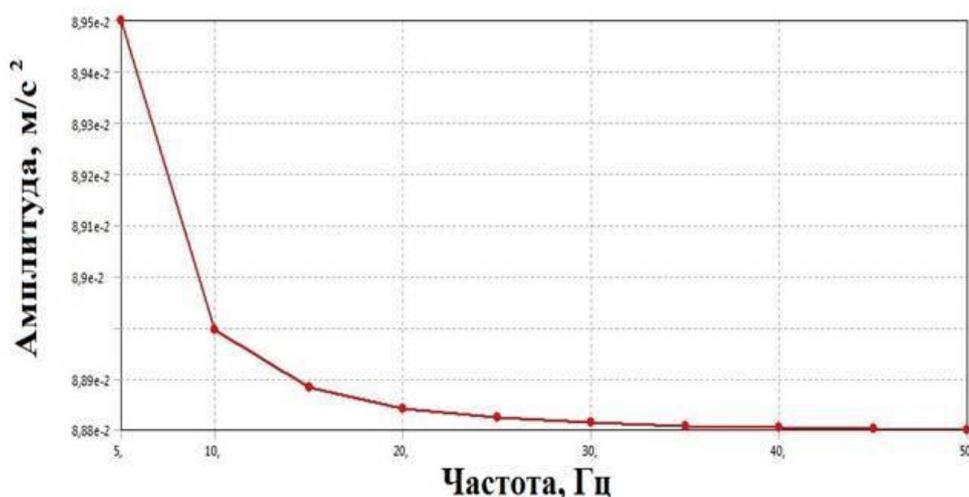
Для шпоночного паза Ø 30 мм определены следующие зависимости амплитуд: размах (уменьшение) амплитуды напряжения материала составляет 6,0475 Па на частотном диапазоне 0 – 50 Гц; величина направленного ускорения деформации материала детали не значительно уменьшается. При расчете учитывались боковые присоединительные 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 $0,07 \times 10^{-2} \text{ м/с}^2$).

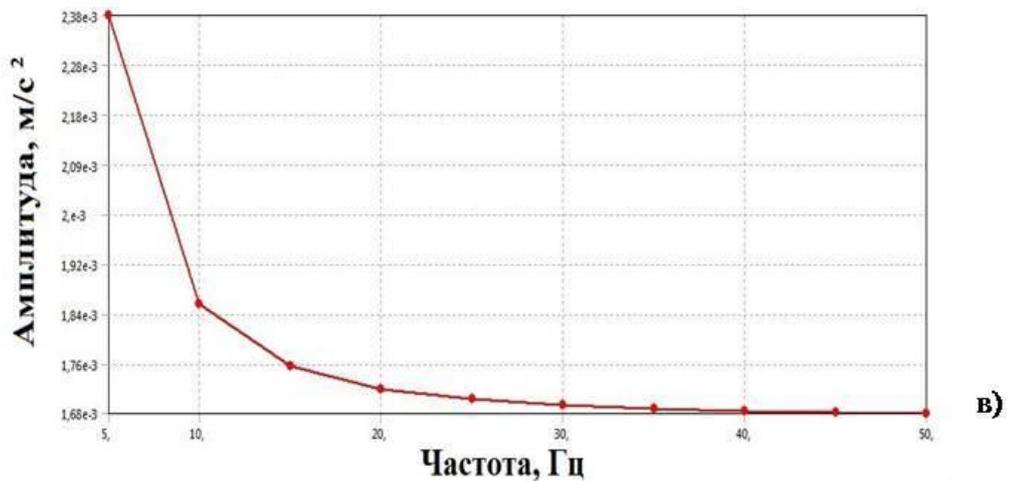
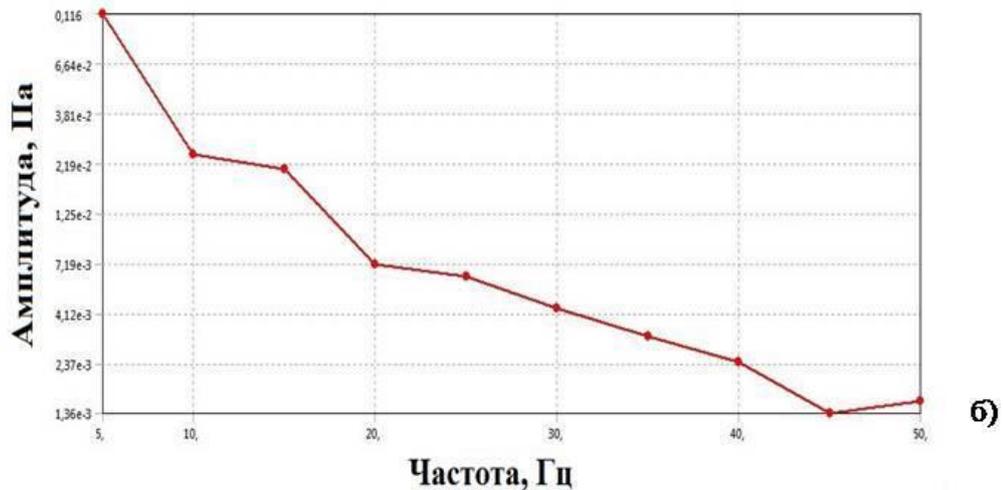
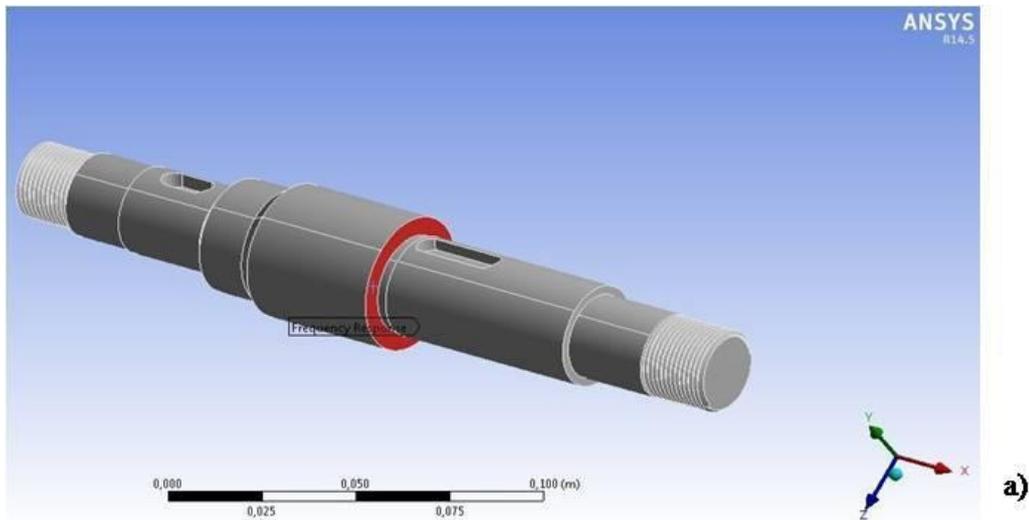


Рисунок 12 – Характеристики частотного отклика: а – поверхность вала (торцевая поверхность $\varnothing 40$ мм), с которой снимались показания; б – зависимость амплитуды напряжений от частоты; в – зависимость амплитуды направленного ускорения деформации от частоты

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?