

УДК 624.04

РАСЧЁТ ДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КЕРАМИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ БЛОКА ШЕСТЕРЁН МУЛЬТИПЛИКАТОРА АВИАЦИОННОГО ГТД

Исаева Елена Андреевна ⁽¹⁾, Исаев Дмитрий Андреевич ⁽²⁾

Магистр 2 года ⁽¹⁾, Аспирант 2 года ⁽²⁾,

кафедра «Машины и технологии обработки металлов давлением» им. И.А. Норицына
Московский Государственный Машиностроительный Университет (МАМИ)

ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют»

Научный руководитель: Е.В. Крутина,

доцент, к.т.н., кафедра «Машины и технологии обработки металлов давлением» им.
И.А. Норицына

Для увеличения ресурса мультипликатора был разработан блок шестерён с керамическим подшипником скольжения (рисунок 1). Проведен расчёт динамического состояния керамического подшипника скольжения блока шестерён мультипликатора авиационного газотурбинного двигателя (ГТД) для определения форм и частот собственных колебаний.



Рис. 1. Блок шестерён с керамическим подшипником скольжения

В настоящее время для анализа динамических характеристик элементов конструкций широко применяют численные методы и прежде всего метод конечных элементов (МКЭ).

Современные комплексы программ, в которых используется МКЭ, позволяют получать приближенные численные решения при расчете конструкций на статические и динамические нагрузки для широкого класса материалов с различными механическими характеристиками и поведением. Расчет конструкций на статические нагрузки может производиться с учетом физической и геометрической нелинейности, температурных полей, взаимодействия с другими средами. Производится расчет критических нагрузок, при которых конструкция или ее элементы теряют устойчивость, поведения конструкции после потери устойчивости.

МКЭ позволяет также определить нагрузки, при которых происходит разрушение конструкции. Учитываются такие свойства материала как анизотропность,

нелинейная упругость, пластичность, текучесть. Учитываются виды геометрической нелинейности: большие деформации и большие перемещения.

Основными динамическими задачами являются: расчет собственных колебаний конструкции; динамический отклик на нагрузку, зависящую от времени; распространение волн.

В данной работе использовался программный комплекс ANSYS, который позволяет производить модальный анализ - один из методов определения форм и частот собственных колебаний. Модальный анализ является важной частью любого динамического анализа, он позволяет оценить динамическое поведение объекта.

Собственные (или свободные) колебания совершаются при отсутствии внешних сил. Это наиболее естественные движения конструкции. Они являются важнейшей характеристикой линейных систем.

Общее уравнение движения:

$$[M] \cdot \{v''\} + [C] \cdot \{v'\} + [K] \cdot \{v\} = [P(t)],$$

где $[K]$ – матрица жёсткости тела;

$[M]$ – его матрица масс;

$[C]$ – матрица демпфирования;

$\{v\}$ – вектор узловых перемещений;

$\{v'\}$ – вектор узловых скоростей;

$\{v''\}$ – вектор узловых ускорений;

$[P(t)]$ – вектор внешних узловых сил, которые являются функциями времени.

Уравнения собственных колебаний является частным случаем уравнения движения:

$$[M] \cdot \{v''\} + [K] \cdot \{v\} = 0,$$

В анализе свободных колебаний предполагается упругое поведение конструкции, поэтому ожидаемый отклик является гармоническим:

$$\{v\} = \{v_0\} \cdot \cos \omega t;$$

$$\{v''\} = -\{v_0\} \cdot \omega^2 \cdot \cos \omega t.$$

В результате получим:

$$(-[M] \cdot \omega^2 + [K]) \cdot \{v_0\} = 0$$

Процедура анализа сводится к следующему:

- построение геометрической модели;
- задание свойств материалов;
- назначение контактных условий;
- выбор опции расчета;
- вид анализа;
- метод вычисления форм и частот собственных колебаний;
- записать полученные формы колебаний в файл результатов;
- просмотреть результаты с помощью постпроцессора.

Расчетная модель блока шестерен строилась средствами препроцессора ANSYS. Использовалась твердотельная модель. Для разбиения на конечные элементы использовался тип КЭ 20-узловой 3-х мерный квадратичный элемент Solid95.

Блок шестерен состоит из двух шестерен (количество зубьев $z_1=18$ и $z_2=37$), соединенных валиком. Закрепление модели блока шестерён (рисунок 2) выполнено в месте посадки шарикового подшипника в радиальном и тангенциальном направлениях, а в месте посадки подшипника скольжения – в радиальном направлении. Фиксация в осевом направлении выполнена по буртику упора шарикового подшипника и по торцу блока шестерен со стороны подшипника скольжения.

Для построения частотной диаграммы расчет ЧСК блока шестерен выполнен для случаев:

- $n=0$ об/мин;
- $n=12000$ об/мин (максимальная частота вращения).

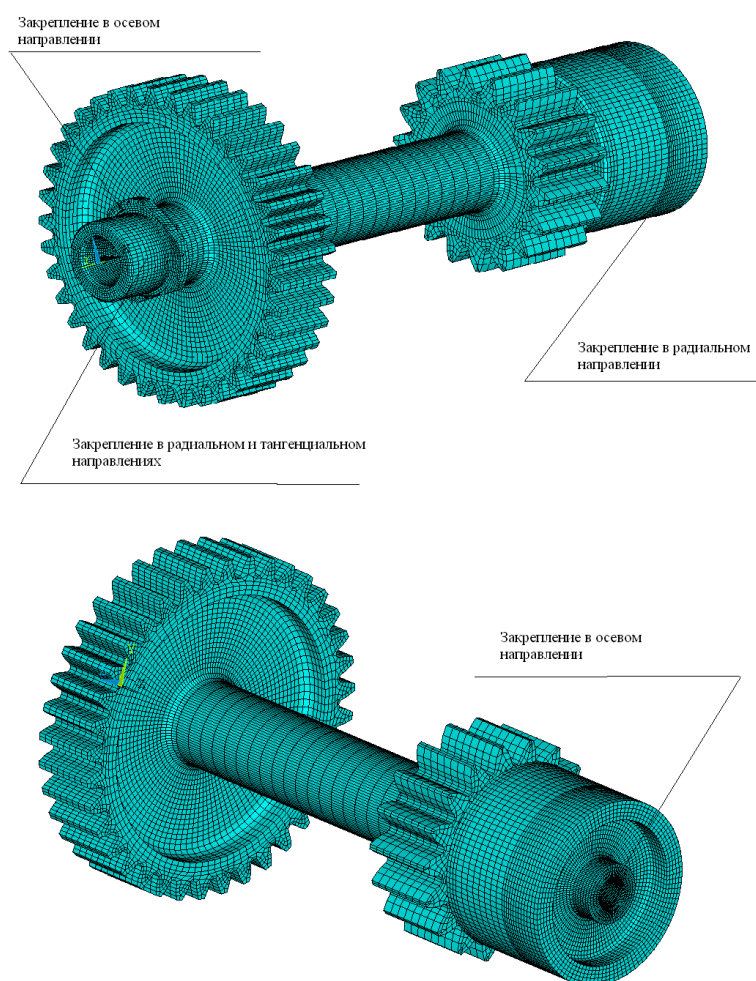


Рисунок 2 – Расчётная модель блока шестерён.
Закрепление модели

Результаты ЧСК и соответствующие им формы колебаний блока шестерен приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчёта форм и частот собственных колебаний

ЧСК f , Гц		Форма частот собственных колебаний
$n=0$ об/мин	$n=12000$ об/мин	
1301,9	1293,9	Сдвиг
2189,5	2198,1	1 узловой диаметр
2645,8	2645,6	Крутильные колебания
3495,3	3498,8	Зонтичные колебания
4359,4	4356,5	Изгиб валика
4954,5	4962,7	2 узловых диаметра
6723	6721,2	Изгиб валика (2 форма)
7992,8	7992,9	Сдвиг

Формы частот собственных колебаний показаны на рисунке 3.

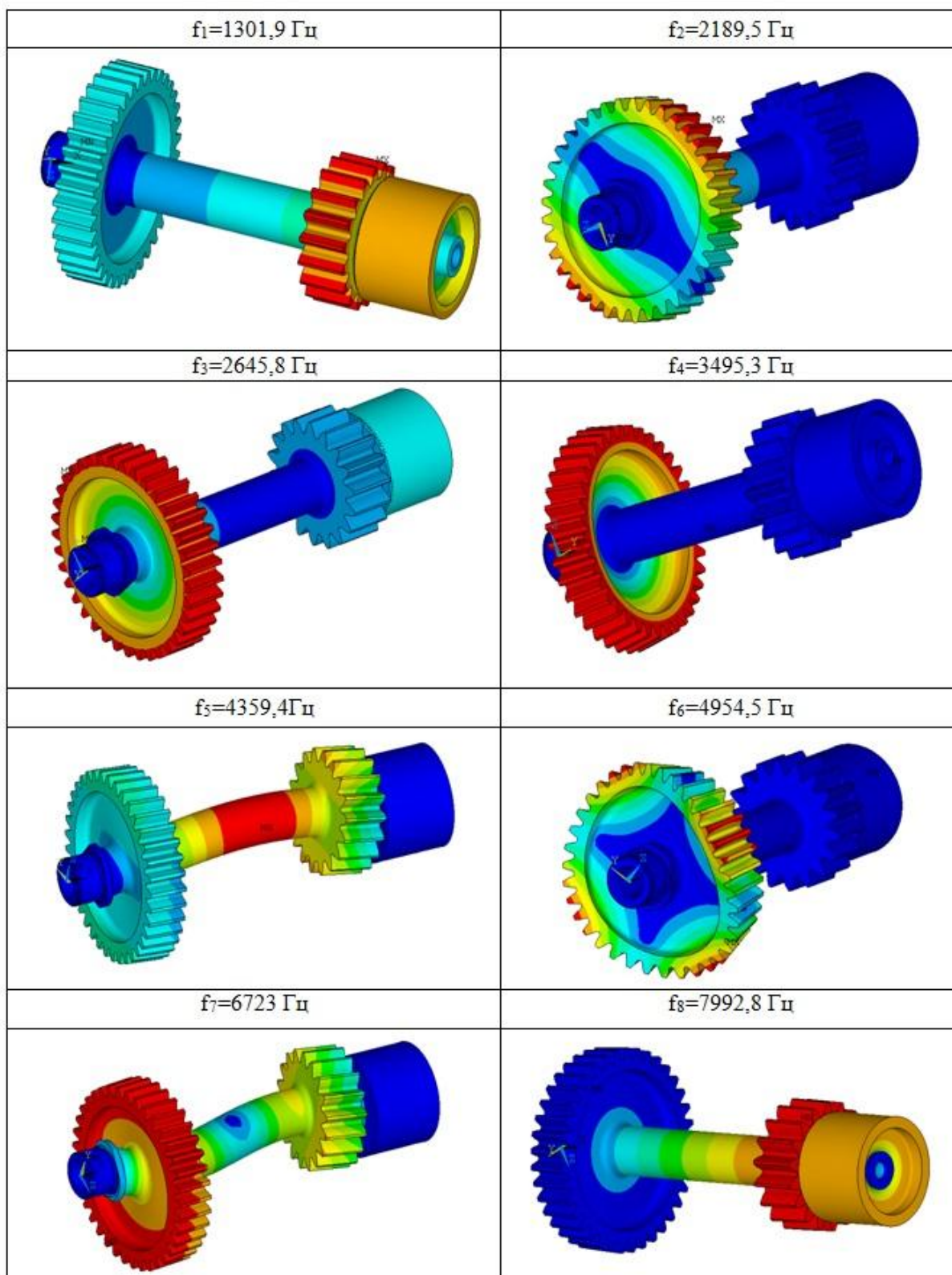


Рис. 3. Формы частот собственных колебаний

По результатам расчета ЧСК построена диаграмма Кэмпбелла (рисунок 4).

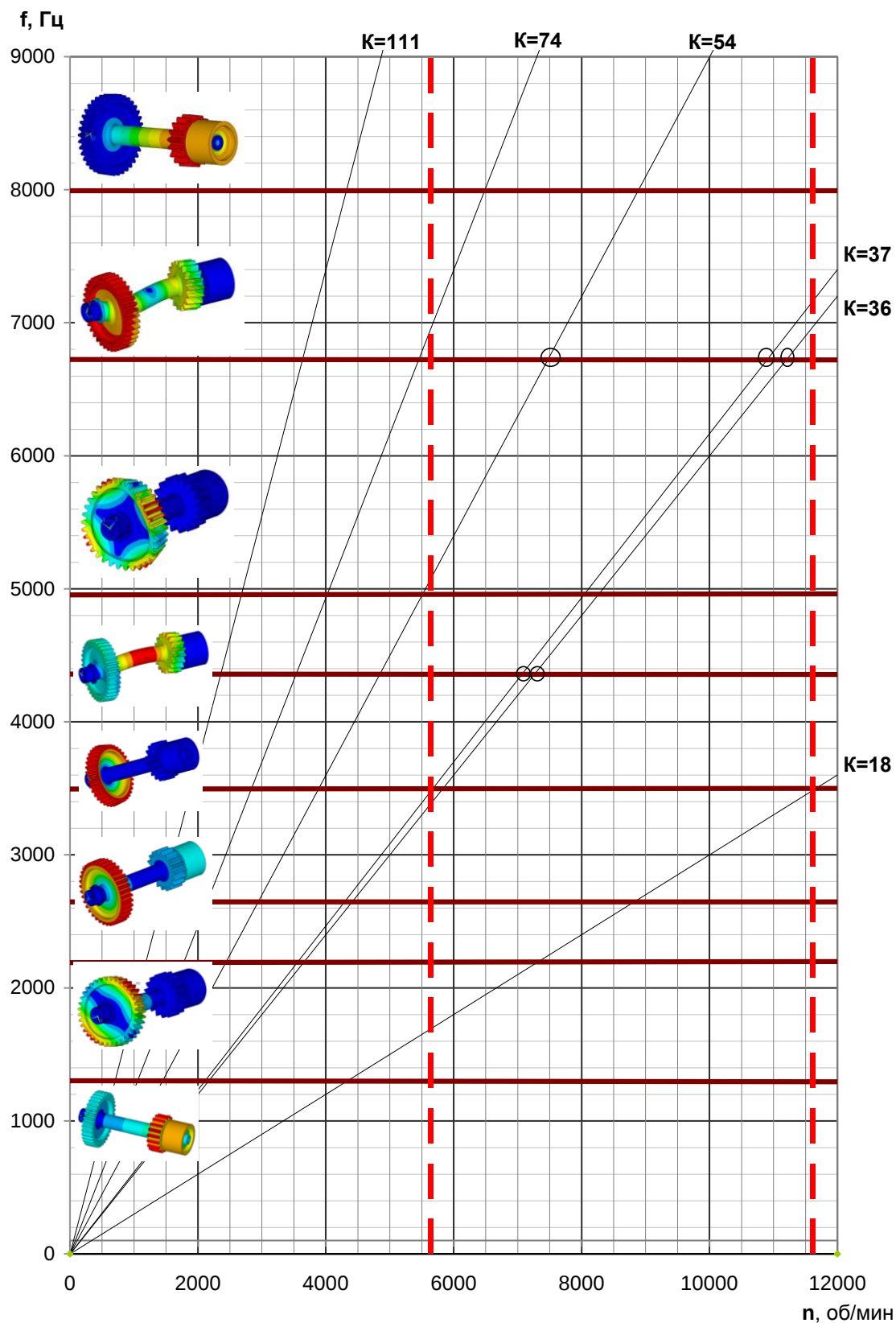


Рис. 4. Диаграмма Кэмпбелла

В рабочем диапазоне 5639...11616 об/мин (50...103% првд) лежат следующие формы собственных колебаний блока шестерен, которые могут влиять на работоспособность подшипника скольжения:

- а) $f_5=4359,4$ Гц – изгиб валика при частотах вращения блока шестерен:
- $n=7100$ об/мин с кратностью $k=37$, соответствующей количеству зубьев большей шестерни;
 - $n=7300$ об/мин с кратностью $k=36$, соответствующей удвоенному количеству зубьев меньшей шестерни.
- б) $f_7=6723$ Гц – вторая изгибная форма колебаний валика при частотах вращения блока шестерен:
- $n=7490$ об/мин с кратностью $k=54$, соответствующей утроенному количеству зубьев меньшей шестерни;
 - $n=10900$ об/мин с кратностью $k=37$, соответствующей количеству зубьев большей шестерни;
 - $n=11250$ об/мин с кратностью $k=36$, соответствующей удвоенному количеству зубьев меньшей шестерни.

Литература

1. Молчанов И.Н., Николенко Л.Д. Основы метода конечных элементов. Киев: Наукова Думка, 1989. 272 с.
2. Хечумов Р.А., Прокопьев В.И. Применение метода конечных элементов к расчету конструкций. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 1994. 353 с.
3. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах. М.: КомпьютерПресс, 2002. 224 с.