

2. Жуков С.В., Данилин А.И. Экспериментальная установка бесконтактного контроля целостности лопастей вертолета / Материалы Всероссийской научно – технической конференции “Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций”, 2016, С. 99-100.

3. Жуков С.В., Данилин А.И., Попов М.С., Математическое описание взаимодействия зондирующего СВЧ-сигнала с лопастью несущего винта вертолета / «Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение», 2016, т. 15, №3, С. 178-188.

УДК 621.3.082.7

## СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМ КОЛЕБАНИЙ ДИСКОВ ТУРБОАГРЕГАТОВ

А.И. Данилин, А.А. Грецков, А.Р. Вахитов, С.В. Жуков  
Самарский университет, г. Самара

Диски компрессоров и турбин являются наиболее ответственными элементами газотурбинных двигателей [1]. Под воздействием переменных газодинамических и радиально-инерционных сил поверхность диска подвергается деформационным изменениям, которые проявляются в виде её колебаний. Превышение предельно допустимых значений параметров колебаний диска могут стать причиной его разрушения. По этой причине возникает необходимость в контроле параметров колебаний диска турбоагрегата, с целью предотвращения возникновения аварийной ситуации.

В свете этой проблемы возникает задача определения форм колебаний диска, основные виды которых приведены на рисунке 1.

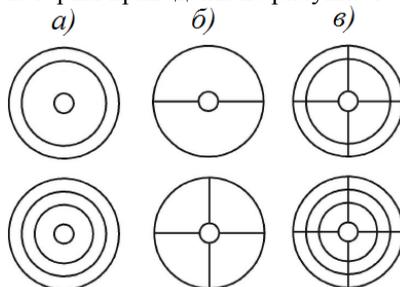


Рисунок 1 – Формы колебаний диска турбоагрегата: узловые окружности (а), узловые диаметры (б), сложные узловые линии (в)

Среди приведенных форм колебаний диска наиболее опасными являются колебания с узловыми диаметрами. Еще одной интересной особенностью данной формы колебаний является то, что лопатки, проходящие через узловые диаметры, совершают чисто крутильные

колебания, а лопатки расположенные посередине между узловыми диаметрами совершают чисто изгибные колебания, в то время как остальные лопатки имеют смешанный вид колебаний [1]. Поэтому информация о расположении узловых диаметров может быть также полезна при контроле параметров колебаний лопаток.

Для всех форм колебаний прогиб диска может быть определен по формуле:

$$\Delta x = A(r)\cos(n\theta)\sin(\omega t), \quad (1)$$

где  $A(r)$  - функция изменения прогибов вдоль радиуса диска  $r$ ;

$\theta$  - угловая координата точки, отсчитываемая от сечения с максимальными прогибами;

$n$  - номер узлового диаметра;

$\omega$  - угловая частота колебаний диска.

Отличительной особенностью узловых линий является то, что точки, образующие узловые линии, не совершают перемещений в процессе колебаний. Следовательно, они могут быть зарегистрированы автодинным доплеровским преобразователем перемещений по нулевому уровню сигнала. Для этого доплеровский преобразователь устанавливается в корпусе турбоагрегата перпендикулярно плоскости диска на расстоянии  $\Delta r$  от центра диска, как показано на рисунке 2.

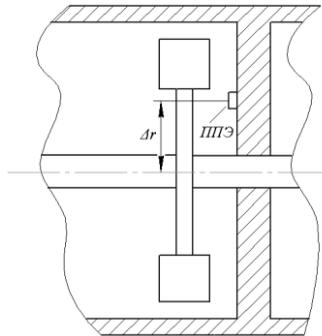


Рисунок 2 – Расположение доплеровского преобразователя в корпусе турбоагрегата для определения форм колебаний диска

Зазор между поверхностью диска и приемно-передающим элементом (ППЭ) преобразователя выбирается кратным половине длины волны зондирующего излучения, что обеспечивает нулевой уровень сигнала на выходе автодина при его взаимодействии с неподвижной поверхностью.

Выходной сигнал автодинного преобразователя и сигнал оборотной метки представлены на рисунке 3. Расположение узлового диаметра определяется через длину временного интервала относительно оборотной метки.

Анализируя выражение (1) и сигналы на рисунке 3, можно сделать вывод, что помимо узловых линий в качестве неподвижных точек могут

быть зарегистрированы точки диска в момент их прохождения через положение равновесия.

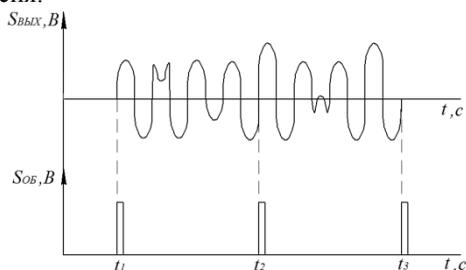


Рисунок 3 – Автодинный сигнал ( $S_{BBLX}$ ) и сигнал оборотной метки ( $S_{OB}$ )

Так на интервале  $[t_1; t_2]$  зафиксировано 8 переходов сигнала через нулевой уровень, а на интервале  $[t_2; t_3]$  - 10. После этого, моменты прохождения точек диска через положение равновесия подвергаются дополнительной селекции за счет сравнения положений нулевых точек сигналов за несколько оборотов, а также с помощью реализации условия: временной интервал между двумя нулевыми точками, соответствующими одному узловому диаметру, должен быть равен половине периода вращения ротора.

Список использованных источников

1. Вьюнов С.А. Авиационные двигатели и энергетические установки/ С.А. Вьюнов, Ю. И. Гусев, А. В. Карпов. - М.: Машиностроение, 1989. – С.564

УДК 629.78

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОЧАСТИЦ В ОКОЛОЗЕМНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

А.А. Бонячук, А.М. Телегин  
Самарский университет, г. Самара

В докладе представляются результаты моделирования распространения космических микрочастиц в программе MASTER 2009. Анализируются полученные результаты.

В околоземном космическом пространстве находится огромное количество различных спутников и космических аппаратов (КА). Из-за большого количества КА происходят их столкновения друг с другом и различного рода космическими объектами, при этом образуется большое количество обломков, засоряющих орбиты [1]. С Земли отслеживаются объекты диаметром более нескольких сантиметров [2]. При этом наносят вред