

## ДОПЛЕРОВСКИЙ ДИСКРЕТНО-ФАЗОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАНИЙ ЛОПАТОК ТУРБОАГРЕГАТА

А.И. Данилин, А.А. Грецков

г. Самара, «Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королёва»

Доплеровский метод определения параметров колебаний лопаток энергоагрегата подразумевает использование специального метода определения скорости их перемещения, отличного от классического доплеровского метода. Это обусловлено тем, что длительность выходного сигнала доплеровского преобразователя составляет около 40% периода доплеровского сигнала, что существенно затрудняет определение скорости перемещения торца контролируемой лопатки. Обойти данные ограничения позволяет использование доплеровского дискретно-фазового метода, основанного на статистическом накоплении информации и анализе экстремальных значений автодинного сигнала.

Реализация доплеровского дискретно-фазового метода осуществляется следующим способом. В корпусе энергоагрегата над траекторией прохождения торцов лопаток устанавливается доплеровский преобразователь перемещений, формирующий поток зондирующего излучения на контролируемую поверхность лопаток [1]. Отраженное от торца лопатки излучение попадает частично на ППЭ, и изменяет энергетические параметры автодина, в результате чего в цепи его питания возникают импульсные сигналы. Поскольку перемещение плоскости лопатки незначительно влияет на амплитудную характеристику доплеровского преобразователя, на амплитуду импульса будет главным образом влиять фазовая компонента, которая в свою очередь зависит от расстояния до контролируемой поверхности.

На рис.1 приведен автодинный сигнал, который существует в течение интервала времени, который лопатка находится в активной зоне датчика. Если торец лопатки во время колебательного движения проходит положение равновесия, то автодинный сигнал будет двухполярным и симметричным относительно момента времени, когда центр торца лопатки проходит через ось датчика. В этот момент времени расстояние от датчика до поверхности торца равно установочному зазору  $r_0$ , а начальная фаза лопатки  $\varphi_K$  равна 0 или  $\pi$ , в зависимости от направления движения лопатки. Факт симметрии автодинного импульса может быть установлен в случае если, пиковые значения двухполярного импульса равны по модулю.

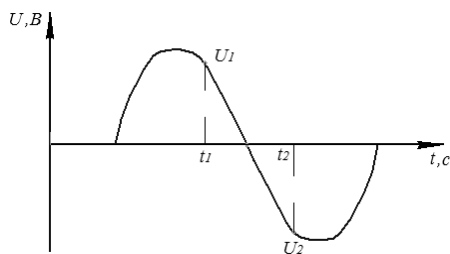


Рисунок 1 – График автодинного сигнала при прохождении лопаткой положения равновесия

Тогда для соответствующего зазора максимальное значение вершины импульса  $U_{MAX}$  соответствует максимальному значению расстояния  $r_{MAX}$  до поверхности контролируемой лопатки в процессе ее движения, а минимальное значение вершины импульса  $U_{MIN}$  соответствует минимальному значению расстояния  $r_{MIN}$  до поверхности контролируемой лопатки, как это показано на рисунке 2.

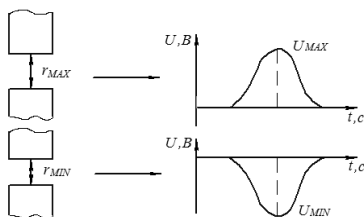


Рисунок 2 – Графики автодинного сигнала при максимальном отклонении лопатки от положения равновесия

Таким образом, амплитуда колебаний поверхности лопатки определяется по формуле:

$$A_K = \frac{r_{MAX} - r_{MIN}}{2}.$$

Фазы колебаний лопаток в момент прохождения торца лопатки над датчиком осуществляется следующим образом. По представленному выше способу определяется амплитуда колебаний лопатки  $A_K$  и напряжение вершины импульса  $U_i$ , которому соответствует расстояние  $r_i$  до контролируемой поверхности торца. Расстояние до лопатки в тот момент, когда она проходит положение равновесия определяется по формуле:

$$r_p = \frac{A_{MAX} + A_{MIN}}{2}.$$

Тогда фаза лопатки, в момент времени, когда она проходит над датчиком, определяется выражением:

$$\varphi_i = \arcsin\left(\frac{r_i - r_p}{A_K}\right).$$

Для определения частоты колебания лопаток методом статистического накопления выбирается момент времени, когда лопатка в процессе колебаний проходит положение равновесия (рис. 1). В этом случае автодинный импульс будет двухполярным и будет описываться выражением:

$$U(t) = F(t) \cdot \sin\left(\frac{4\pi r_0}{\lambda} + \frac{4\pi A_K \sin(\omega_K t)}{\lambda}\right), \quad (1)$$

где  $F(t)$  - огибающая автодинного сигнала,  $\lambda$  - длина волны зондирующего излучения,  $\omega_K$  - частота колебаний лопатки;

Установочный зазор между датчиком и торцом лопатки выбирается таким образом, чтобы он был кратен длине волны излучения. В этом случае выражение (1) можно упростить:

$$U(t) = F(t) \cdot \sin\left(\frac{4\pi A_K \sin(\omega_K t)}{\lambda}\right). \quad (2)$$

Поскольку лопатка в процессе колебаний проходит положение равновесия, ее аргумент близок к нулю, выражение (2) примет вид:

$$U(t) \approx \frac{4\pi F(t) A_K \omega_K t}{\lambda}.$$

Частота колебаний лопатки определится выражением:

$$\omega_K \approx \frac{\lambda(U(t_2) - U(t_1))}{4\pi A_K [t_2 F(t_2) - t_1 F(t_1)]},$$

где  $t_1, t_2$  - моменты времени, когда автодинный сигнал достигает экстремальных значений.

#### Список использованных источников

1. Данилин, А. И. Бесконтактные измерения деформационных параметров лопаток в системах контроля и управления турбоагрегатами [Текст] / А. И. Данилин, – Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2008.-С.189-198.