

УДК 629.7.036.3

МЕТОДИКА ВЫЧИСЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ДЕМПФИРОВАНИЯ ПРИ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ ЛОПАТОК

© Рызыванов И.П., Урлапкин А.В.

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: iryzyvanov@gmail.com

Развитие способов обработки конструкционных материалов позволяет создавать более привлекательные конструкции, которые раньше было сложно вообразить. Так становится возможным изготовить ротор газотурбинного двигателя по типу blisk, то есть лопатки рабочих колес выполняются заодно с дисками. Привлекательность такой конструкции заключается в уменьшении массы рабочего колеса на 12–15 %. Одна из отрицательных сторон данной конструкции – отсутствие конструкционного демпфирования.

При течении воздуха через тракт газотурбинного двигателя нередко возникают неустановившиеся течения, что создает вынуждающую силу, действующую на лопатки компрессора. Демпфирование колебаний под действием данной силы у рабочего колеса с хвостовиком происходит в материале за счет внутреннего трения, за счет трения в соединении лопатки с диском и аэродинамического демпфирования, за счет вязкого течения воздуха, окружающего лопатку [1; 2]. Для количественной характеристики аэродинамического демпфирования используется понятие коэффициента аэродинамического демпфирования α .

Для вычисления коэффициента аэродинамического демпфирования требуется провести моделирование вынужденных колебаний лопатки в связанной постановке: расчет механики деформируемого твердого тела и расчет газовой динамики проводятся совместно – каждый временной шаг рассчитывается до полной сходимости результатов.

Расчеты вынужденных колебаний проводились с помощью программного пакета Ansys с использованием модулей Transient Structural, CFX и System Coupling. Для расчета коэффициента аэродинамического демпфирования нужно построить график силы (действующей на лопатку) от перемещений (рисунок). Данные графики имеют вид петель гистерезиса.

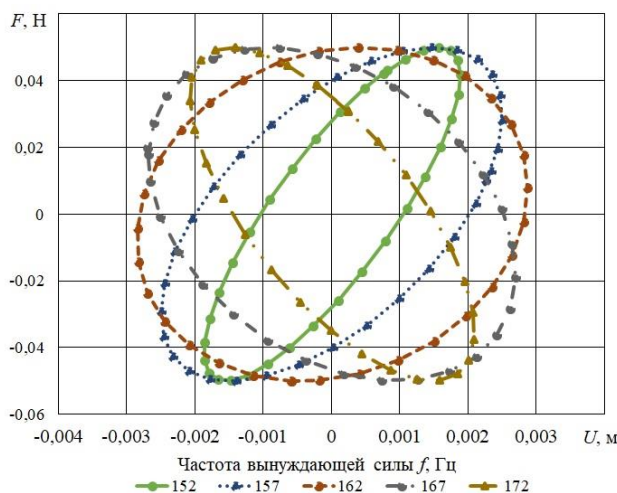


Рис. Петли гистерезиса для разных частот силы

Площадь под кривой гистерезиса равна рассеиваемой энергии за один период колебаний. Данную площадь можно определить, используя формулу площади многоугольника Гаусса:

$$A = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^{n-1} U_i F_{i+1} + U_n F_1 - \sum_{i=1}^{n-1} U_{i+1} F_i - U_1 F_n \right|, \quad (1)$$

где U – смещение; F – аэродинамическая сила. Зная площадь под кривой, можно определить коэффициент аэродинамического демпфирования, исходя из понятий теории колебаний [3]:

$$W = A = \pi a \omega q_a^2, \quad (2)$$

в этой формуле a – коэффициент аэродинамического демпфирования; ω – частота вынужденных колебаний, q_a – амплитуда перемещений.

Определив коэффициент аэродинамического демпфирования для нескольких амплитуд и частот вынуждающей силы, можно установить полиномиальную зависимость данного коэффициента, от значений амплитуды и частоты вынуждающей силы. Следует отметить, что данная зависимость справедлива только в области частот, лежащей в узком диапазоне от частоты резонанса:

$$\alpha(q, \omega) = (a_1 \omega^2 + b_1 \omega + c_1) q^2 + (a_2 \omega^2 + b_2 \omega + c_2) q + a_3 \omega^2 + b_3 \omega + c_3, \quad (3)$$

Значения коэффициентов a , b , c находятся из результатов расчёта для трёх значений амплитуд и частот из решения следующей системы уравнений:

$$\alpha_1 = \omega_1^2 q_1^2 a_1 + \omega_1 q_1^2 b_1 + q_1^2 c_1 + \omega_1^2 q_1 a_2 + \omega_1 q_1 b_2 + q_1 c_2 + \omega_1^2 a_3 + \omega_1 b_3 + c_3$$

$$\alpha_2 = \omega_2^2 q_1^2 a_1 + \omega_2 q_1^2 b_1 + q_1^2 c_1 + \omega_2^2 q_1 a_2 + \omega_2 q_1 b_2 + q_1 c_2 + \omega_2^2 a_3 + \omega_2 b_3 + c_3 \quad (4)$$

...

$$\alpha_9 = \omega_9^2 q_1^2 a_1 + \omega_9 q_1^2 b_1 + q_1^2 c_1 + \omega_9^2 q_1 a_2 + \omega_9 q_1 b_2 + q_1 c_2 + \omega_9^2 a_3 + \omega_9 b_3 + c_3.$$

Определив зависимость коэффициента аэродинамического демпфирования в зависимости от частоты и амплитуды вынуждающей силы, можно проводить расчет вынужденных колебаний лопатки компрессора в околорезонансном диапазоне режимов работы [3].

Библиографический список

1. Самойлович Г.С. Нестационарное обтекание и аэроупругие колебания решеток турбомашин. М.: Наука, 1969. 444 с.
2. Шмотин Ю.Н., Августиневич В.Г. Численное моделирование нестационарных явлений в газотурбинных двигателях. М.: Машиностроение, 2005. 536 с.
3. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле / пер. с англ. Л.Г. Корнейчука; под ред. Э.И. Григолюка. М.: Машиностроение, 1985. 472 с.