



tion errors or the diffraction grating on the end face of a silver-halide fiber// Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). – 2007. – V. 16, №4. – P. 263-268.

М.В. Янюкина, М.А. Болотов

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ СБОРОЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ КОЛЕС ТУРБИН

(Самарский университет)

Работоспособность изделия в немалой степени зависит от точности сборочного процесса, который определяется качеством производства каждой детали, то есть степенью соответствия конечных геометрических параметров заданным. Однако точность сборки зависит не только от качественного производственного процесса, но и правильности исполнения сборочного процесса. В связи с этим проводят предварительные расчеты этапов сборки на предмет соответствия реальных геометрических параметров их допустимым значениям. Эту задачу выполняют посредством расчета размерных цепей. Одним из актуальных примеров сборочной единицы, в которой присутствуют сборочные размерные цепи, является рабочее колесо турбины ГТД.

Для обеспечения работоспособности сборочной единицы, достигаемые в процессе сборки величины сборочных параметров должны находиться в пределах полей допусков, со значениями, указанными в технических требованиях чертежей деталей. В случае рабочего колеса турбины особое внимание уделяется следующим сборочным параметрам: зазор между бандажными полками соседних лопаток, зазор между замковыми полками соседних лопаток и натяг между стыковыми поверхностями бандажных полок лопаток. При возникновении отклонений сборочных параметров от требований в результате процесса сборки возможно образование клина из лопаток, состоящего из 5-7 единиц.

На рисунке 1 изображен участок диска в соединении с двумя лопатками и отмечена последовательность построения размерной цепи. Размерная цепь берет свое начало на бандажной поверхности лопатки от центра контакта полок соседних лопаток к плоскости замка одной из них (V1). Далее цепь движется так же на поверхности бандажа к плоскости торца замка (V2). Затем происходит переход к центру паза, на обод диска (V3). В этот момент происходит учет качки лопатки. Для этого используется вектор с нулевыми координатами и имеющий только отклонения по углу поворота. Далее цепь проходит через центр оси вращения рабочего колеса турбины (V4) и выходит к оси паза диска для соседней лопатки (V5). Здесь также учитывается качка лопатки в замке. Цепь продвигается к плоскости торца замка на так называемый диаметр натяга (V6). Находясь на поверхности бандажной полки, векторная размерная цепь проходит по оси замка к плоскости замка (его центру, V6). Завершается цепь в месте стыка лопаток (уже со следующей лопаткой, V8).

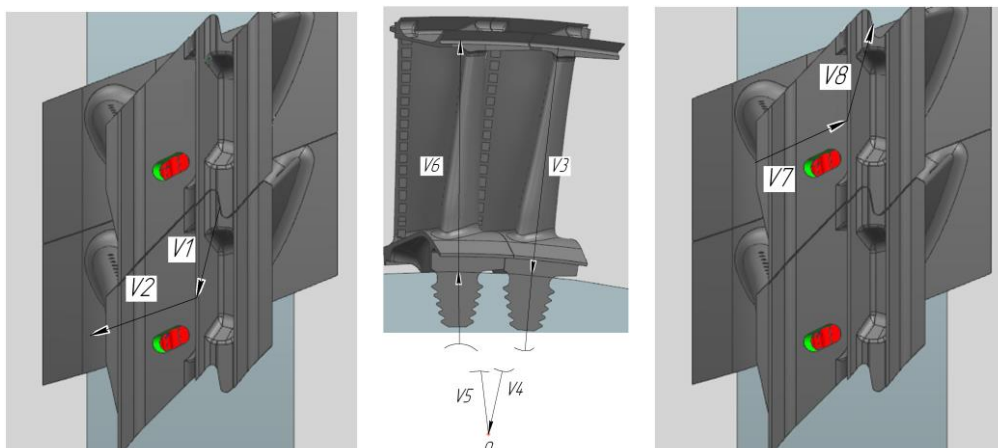


Рисунок 1 – Наглядное представление размерной цепи рабочего колеса турбины (соединение лопатка-диск)

Представленная размерная цепь является пространственной. Согласно [1] пространственной называют размерную цепь, звенья которой не параллельны одно другому и лежат в непараллельных плоскостях. В работе [2] автор предлагает решение такой цепи в программе «Vector», предполагающей суммирование векторов с учётом соответствующих поворотов текущих координатных плоскостей.

В работе предлагается алгоритм решения с использованием аппарата математической статистики, реализованный в программном пакете Matlab. Алгоритм решения поставленной задачи заключается в нахождении замыкающего звена вышерассмотренной размерной цепи и определении поля рассеивания этой величины. В составе алгоритма включены следующие этапы.

1. Загрузка исходных данных.
2. Формирование случайной величины с помощью генератора случайных чисел.
3. Построение пространственной модели суммирования составляющих размерной цепи.
4. Определение вероятностных оценок замыкающего звена.
5. Анализ результатов.

Для корректного расчета в программу загружаются исходные данные параметров расчета. Для каждого вектора необходимо внести данные по 14 позициям: тип рабочей плоскости (XY, YZ, XZ), тип координат, в которых задается размер, значение первой координаты, нижняя и верхняя границы первой координаты, значение второй координаты, нижняя и верхняя границы второй координаты, угол вращения системы координат, нижняя и верхняя границы угла вращения системы координат, параметр распределения первой координаты, параметр распределения второй координаты, параметр распределения угла вращения. Размер (вектор на плоскости) может быть задан несколькими способами: координатами (x,y), (x,z) или (y,z), модулем вектора и углом. Суммарный вектор представляет сумму составляющих векторов. Предельная, максимальная



величина смещения при этом будет равна сумме максимальных модулей составляющих векторов.

Вторым этапом алгоритма решения цепи после внесения исходных данных расчета является определение каждого звена цепи с помощью генератора случайных чисел. Опираясь на опыт исследователей в этой области, выбираем нормальный закон распределения величин. В таком случае функция распределения вероятности значений имеет вид

$$y = \frac{1}{\sigma_x \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x - m_x)^2}{2\sigma_x^2}}, \quad (1)$$

где x – случайная величина

$y(x)$ – вероятность принятия случайной величиной значения x ,

m_x – математическое ожидание,

σ_x – среднее квадратичное отклонение.

Третьим и четвертым этапами работы алгоритма является суммирование векторной размерной цепи и получения результатов вероятностного характера – матрица значений замыкающего звена цепи.

Алгоритм применим и к решению задачи по определению вероятностного зазора между бандажными полками соседних лопаток и зазора между замковыми полками соседних лопаток, а так же для решения любой размерной цепи. В результате расчетов согласно вышеописанному алгоритму получено значение замыкающего звена – ширину лопатки по бандажному диаметру. Что дает нам возможность судить о возможном натяге в месте стыка бандажных полок двух соседних лопаток и его величине. Результат вычислений формируется в виде таблицы с координатами конца вектора.

Для полученных данных координат замыкающего вектора цепи были определены числовые характеристики случайных величин, а именно, моменты распределения. Моменты распределения случайной величины вводятся как математические ожидания некоторых простейших функций от случайной величины [3], которые представляются в виде:

$$\mu_k(x) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^k}{n}, \quad (2)$$

где k – порядок момента,

x_i – значение случайной величины,

\bar{x} – среднее значение, центр распределения случайной величины,

n – количество реализаций.

Момент первого порядка – математическое ожидание – характеризует среднее значение случайной величины. Дисперсия, момент второго порядка, дает представление о рассеянности величины около ее среднего значения. Моменты третьего и четвертого порядков служат для оценки асимметрии и степени крутости (эксцесс) кривой распределения.

Применяя математические соотношения для моментов распределения первых четырех порядков к полученному массиву данных по координатам замыкающего вектора, получим следующие результаты (таблица 1).



Таблица 1 – Моменты распределения замыкающего звена

| Координаты Момент распределения | X | Y | Z |
|---------------------------------------|---------|---------|------------|
| Математическое ожидание | -2,1728 | 18,2964 | -178,09727 |
| Дисперсия | 0,0071 | 0,0172 | 0,0050 |
| Асимметрия распределения | -0,0059 | 0,0383 | 0,0027 |
| Эксцесс | 2,8793 | 2,9537 | 2,9118 |

Анализируя результаты видно, что замыкающий вектор цепи распределяется по нормальному закону. Аналогичный итог наблюдается и в других смежных исследованиях. Коэффициент эксцесса больше нуля, следовательно, кривая распределения более островершинная относительно кривой нормального распределения.

Актуальность расчёта размерной цепи рабочего колеса турбины заключается в необходимости совершенствования технологии сборки. На производстве при осуществлении сборочной операции ротора турбины ГТД по бандажному диаметру может возникать процесс заклинивания соседних лопаток. Величина натяга, проявляющаяся в ходе заклинивания по рабочим поверхностям, может превышать допустимое значение, заданное в конструкторской документации. Превышение величины натяга может привести к частичному разрушению контактирующих поверхностей бандажных полок в ходе работы сборочной единицы. Такая проблема возникает как следствие широких диапазонов допусков на размеры лопатки. Разрешить ее возможно посредством назначения корректирующих мероприятий, сформированных по результатам расчета сборочных размерных цепей.

Литература

- 1 Якушев, А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: учебник для ВТУЗов/ А. И. Якушев, Л. Н. Воронцов, Н. М. Федотов. – М.: Машиностроение, 1979. – 352 с.
- 2 Сурков, О.С. Прогнозирование и обеспечение точности изделий сложной конструктивной формы [Текст]: дисс. канд. техн. наук: 05.07.05: защищена 1996/Сурков Олег Станиславович. – Самара, 1996. – 185 с.
- 3 Вентцель, Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов / Е.С. Вентцель. – 6-е изд. стер. – М.: Высш. шк., 1999. – 576 с.