

СПОСОБ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИИ ПРОХОДНОГО СЕЧЕНИЯ ЛОПАТОЧНОЙ РЕШЕТКИ СОПЛОВОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

- С.Д. Воторопин – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2009. – 128 с. (ISBN 5-98298-517-0).
- Юрченко, В.И. Развитие датчиков СВЧ диапазона/ В.И. Юрченко// Современная электроника №5 2010 С 34-35.
 - Божков, В.Г. Перфильев В.И. Монолитные и квазимонолитные модули и устройства миллиметрового диапазона длин волн./ В.Г. Божков, В.А. Генеберг, К.И. Куркан, В.И.Перфильев // Электронная промышленность. 2001г, №5, стр. 77-97.
 - Юрченко, А.В. Установка для визуализации и определения мест расположения дефектов в солнечных элементах на основе автодиных датчиков 5 мм диапазона длин волн/ А.В. Юрченко, С.Д. Воторопин, В.И. Юрченко // VIII Крымская Международная Микроволновая Конференция “КрыМиКо’98” (сентябрь 1998, Севастополь). Сб. докл. – Севастополь, 1998. С. 324-326.
 - Люлякин, А.П. Активные автодиные КВЧ датчики для контроля различных объектов и технологических процессов/ А.П. Люлякин, А.А. Трубачев, В.И. Юрченко// Современные проблемы радиоэлектроники: сб. науч. тр. – Красноярск. – С. 348-352.
 - Воторопин, С. Д. Автодинный тахометр 5-и миллиметрового диапазона длин волн/ С. Д.Воторопин, В. Я. Носков, О. И.Зайцев // V-я Крымская конференция СВЧ-техника и спутниковый приём. – Севастополь. – 1995. – С. 561-562.
 - Трубачев, А.А. Автодинный тахометр/ А.А. Трубачев, В.И. Юрченко, А.А. Головин // Известия высших учебных заведений. Физика.– 2012. Т. 55. – №8/3.– С.27-30
 - Данилин, А.И. Применение автодиных генераторов М-55314 для контроля механических напряжений лопаток ГТД/ А.И. Данилин, С.Д. Воторопин, А.Ж. Чернявский // Электронная промышленность, 2002. – Вып. 2. – С. 131-134.
 - Усанов, Д.А. Радиоволновые измерители на основе эффекта автодиного детектирования в полупроводниковых СВЧ генераторах/ Д.А. Усанов, В.Д. Тупикин, А.В. Скрипаль, Б.Н., Коротин // Оптические радиоволновые и тепловые методы и средства неразрушающего контроля качества промышленной продукции: Тезисы докл. Всесоюзной научно-техн. конф. – Саратов, 1991. – С. 4–6.
 - Гордиенко, Ю.Е. Ближнеполевой СВЧ датчик на основе конусного коаксиального резонатора/ Ю.Е. Гордиенко, Н.И. Слипченко, А.М. Яцкив // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрыМиКо`2009): Матер. XIX Междунар. Крымской конф. – Севастополь, 2009. – С. 565–566.
 - Трубачев, А.А. КВЧ-микроскоп для биомедицинских исследований/ А.А. Трубачев, В.И. Юрченко // Доклады ТУСУРа, № 2 (24), часть 1, декабрь 2011 С.232-235.
 - Юрченко, А.В. Системы неразрушающего контроля структурно-неоднородного кремния на основе СВЧ автодиных датчиков/ А.Н. Новиков, П.Ф. Швадленко //Ползуновский вестник, 2010. -№ 2 -С. 89-93

Бортников И.Д., студент-магистрант, idb1@tpu.ru; д.т.н., проф. Юрченко А.В., тел. 8-913-826-03-01, piirp@inbox.ru - Томский политехнический университет, кафедра информационно-измерительной техники; Люлякин А.П., аспирант; Трубачев А.А., аспирант - Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, office@tusur.ru, tusur.ru, (3822) 51-05-30; Юрченко В.И. – Научно - исследовательский институт полупроводниковых приборов.

УДК: 621.7.08

СПОСОБ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИИ ПРОХОДНОГО СЕЧЕНИЯ ЛОПАТОЧНОЙ РЕШЕТКИ СОПЛОВОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Д.А. Осипович

В статье проанализированы существующие методы контроля геометрии проходного сечения лопаточных решеток. Выявлены возможные направления автоматизации контрольных операций. Разработан метод контроля, позволяющий помимо определения величины площади проходного сечения оценивать распределение отклонений измеренного сечения вдоль участков периметра проходного сечения.

Ключевые слова: оптические измерения, единая модель изделия, автоматизация контрольных операций, трехмерное моделирование

Введение

В настоящее время все большее распространение получают бесконтактные способы контроля геометрии сложнопрофильных деталей и узлов как обеспечивающих более вы-

сокую скорость измерений с минимальными потерями точности по сравнению с традиционными контактными способами измерения, а также позволяющих добавлять в единую модель изделия информацию о геометрии фак-

РАЗДЕЛ 4. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

тически изготовленных деталей в графическом формате, легком для пользовательского восприятия. Особенно это актуально для изделий, к которым предъявляются высокие требования по надежности в процессе эксплуатации.

Для обеспечения эффективной работы конструкций, содержащих лопаточные колеса, подобные приведенным на рисунке 1, недостаточно выдерживать в заданном поле допуска чертежные размеры отдельных деталей. Важно также с высокой точностью выдерживать и другие, не указанные на чертеже параметры, характеризующие способность выполнения конструкцией ее рабочих функций.

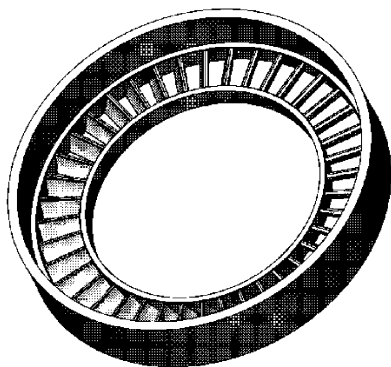


Рисунок 1 - Модель детали "рабочее колесо внутреннее"

Анализ существующих методов контроля геометрии проходного сечения лопаточных решеток

В настоящее время известны и используются на предприятиях различные методы контроля геометрии проходного сечения, направленные, главным образом, на нахождение величины площади проходного сечения без учета распределения отклонений вдоль участков периметра проходного сечения.

В серийном производстве узлов, имеющих сборные лопаточные решетки, чаще всего используется метод определения площади проходного сечения, основанный на контактном измерении координат ключевых точек сечения с помощью ручного прибора и дальнейшей обработке полученных данных с использованием простых эмпирических формул расчета. Пример размещения таких точек показан на рисунке 2. При использовании данного метода точность получаемых результатов в большой степени зависит от квалификации рабочего, производящего замеры. Другой возможной причиной понижения точности измерений при данном способе является до-

статочно грубая аппроксимация периметра проходного сечения прямоугольным контуром, тогда как фактическое сечение ограничено, в общем случае, кривыми, спроецированными на поверхности лопаток. Кроме того, при данном способе измерения выполняются на лопаточном колесе, зафиксированном с помощью специальных приспособлений в положении, отличном от рабочего. Это является причиной отклонения результата измерений от фактического проходного сечения в процессе эксплуатации из-за смещения лопаток под действием силы тяжести в рамках разрешенного конструкцией зазора.

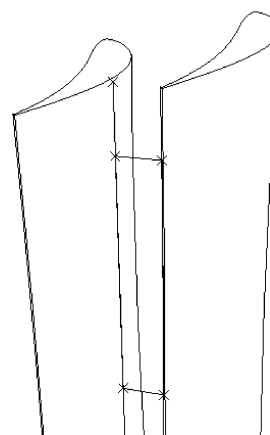


Рисунок 2 - Метод измерения величины проходного сечения по четырем ключевым точкам

Другим, менее распространенным, способом определения фактической площади проходного сечения является ее вычисление на основе трехмерной модели контролируемого узла, составленной из моделей отдельных оцифрованных лопаток и номинальных моделей ограничивающих колец. Главным достоинством данного способа является высокое разрешение модели лопатки, получаемое путем использования комплекта оптики, имеющей минимальный измерительный объем, допустимый габаритами детали. Данный способ является наиболее трудоемким из рассмотренных, поскольку требует оцифровки каждой из лопаток решетки с дальнейшим ручным позиционированием, полученных моделей относительно ограничивающих колец согласно последовательности установки. При измерении площади проходного сечения способом, основанном на использовании моделей оцифрованных лопаток, учитывается только отклонение фактической геометрии от номинальной, получаемое из-за неточности изготовления самой лопатки, погрешность установки лопатки в узле не рассматривается.

СПОСОБ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИИ ПРОХОДНОГО СЕЧЕНИЯ ЛОПАТОЧНОЙ РЕШЕТКИ СОПЛОВОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Метод контроля проходного сечения полностью собранной лопаточной решетки с использованием оптической измерительной системы

Метод осуществим, если имеется трехмерная компьютерная модель фактической геометрии поверхности измеряемого объекта. Для получения этой модели используется технология оцифровки, т.е. занесение в виртуальное пространство данных об объекте. Выбор способа оцифровки с использованием оптической измерительной системы обусловлен необходимостью минимизировать влияние средства измерения на результат измерения. В силу того, что при изготовлении лопаточной решетки с использованием сборки лопатки в пазы устанавливаются с зазором, применение более высокоточных контактных измерений может вызвать погрешность измерения проходного сечения, связанную с перемещением незакрепленных лопаток в пределах величины зазора. Кроме того, для обеспечения адекватности полученного результата эксплуатационным характеристикам изделия необходимо производить оцифровку объекта в его рабочем положении, что может быть причиной завышения требований к размерам рабочей зоны используемой контактной установки.

Для получения модели фактической геометрии крупногабаритной лопаточной решетки, например, ступени турбины авиационного двигателя, с высокой точностью при использовании контактных измерений требуется задействовать установку с объемом рабочей зоны, превышающим габаритные размеры. Причем, применение такой установки для измерений объектов значительно меньших габаритов будет неэффективно. Оптическая измерительная система не имеет строго ограниченной по размерам рабочей зоны и может эффективно использоваться для получения оцифрованных моделей объектов в широком диапазоне размеров. Для оцифровки крупногабаритных объектов, один из размеров которых более чем в 2 раза превышает длину стороны измерительного объема, обеспечивающего достаточную точность, применяется метод оцифровки, состоящий из следующих двух этапов.

1. Создание массива опорных точек с помощью фотограмметрической системы TRITOP. На этом этапе в модель включаются только опорные точки - маркеры, положение которых определяется в виртуальном пространстве с помощью специальных калибровочных объектов (кресты, линейки) с нанесенными на них нумерованными точками. По-

скольку система нумерованных точек единая для всех участков поверхности измеряемого объекта, при определении пространственных координат опорных точек погрешность последовательной привязки точек не накапливается.

2. В ходе оцифровки с помощью оптической измерительной системы участки оцифрованной поверхности накладываются на предварительно подготовленную сетку опорных точек (см. рисунок 3). Таким образом, можно получить с высокой точностью модель объекта, размеры которого не позволяют выполнить оцифровку другими способами.

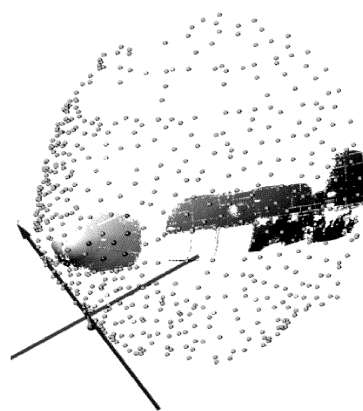


Рисунок 3 - Участок поверхности контролируемого объекта, расположенный на сетке опорных точек

Результат оцифровки с помощью оптической измерительной системы представляет собой облако точек поверхности объекта, для которых однозначно определены все пространственные координаты. Файл в таком формате невозможно использовать для выполнения контроля непосредственно, т.к. он не содержит информации о поверхности и имеет большой объем, поэтому его необходимо преобразовать в полигональную модель поверхности. Важным этапом подготовки модели к выполнению контроля является привязка координатной системы к элементам геометрии контролируемого объекта. Изначально модель, полученная в результате оцифровки, позиционируется в пространстве произвольно относительно внутренней координатной системы. Для выполнения ее пересечения с ранее определенной поверхностью проходного сечения необходимо, чтобы совпадали пространственная ориентация номинальной модели, использованной при определении поверхности проходного сечения, и фактической модели объекта, полученной в результате оцифровки. Способ, позволяющий

РАЗДЕЛ 4. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

однозначно сориентировать оцифрованную поверхность в заданное положение, заключается в определении положения точки привязки координатной системы, идентичного положению этой точки в номинальной модели, и последующем позиционировании ее осей относительно элементов геометрии модели. Рекомендуемая схема расположения осей, связанная с посадочными поверхностями представлена на рисунке 4. Для точного совмещения поверхностей лопаток используется привязка по положению какого-либо уникального элемента, например, единственного отверстия, или одной из лопаток.

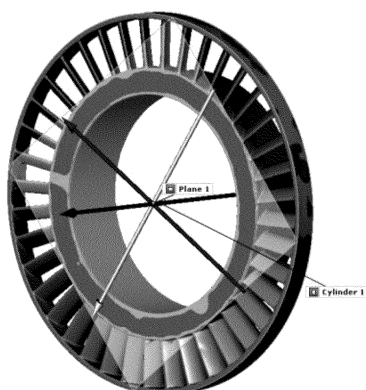


Рисунок 4 - Привязка системы координат оцифрованной модели

После того, как модель подготовлена к проведению измерений, для упрощения модели и сокращения необходимых вычислительных ресурсов можно исключить из нее часть информации о поверхностях, не участвующих в формировании геометрии проходного сечения (рисунок 5). К таким поверхностям относятся практически все элементы ограничивающих колец, использованных ранее для привязки координатной системы, а также части поверхности лопаток, заведомо не участвующие в формировании проходного сечения.



Рисунок 5 - Разделение оцифрованной поверхности на области

При контроле проходного сечения крупногабаритных изделий, содержащих лопаточные решетки, даже упрощенный таким образом файл модели номинальной поверхности может быть слишком объемным для обработки. В таком случае можно выполнить облегчение модели за счет сокращения количества узловых точек фасетной поверхности. Данный процесс является управляемым и позволяет получить поверхность, аппроксимирующую исходную с заданным максимально допустимым отклонением. Модель фактической поверхности контролируемого объекта после выполнения всех подготовительных действий совмещается в едином координатном пространстве с заранее подготовленной моделью поверхности, в которой располагается проходное сечение. В общем случае поверхность проходного сечения не имеет канонической формы, поэтому для реализации пересечения моделей необходимо использовать программный пакет, позволяющий работать одновременно с моделями поверхности, заданными как по точкам, так и параметрически. При импортировании фасетной модели важно выбрать опцию отображения, позволяющую использовать элементы ее геометрии. После совмещения двух поверхностей с помощью стандартной команды формируется кривая, соответствующая линии пересечения двух поверхностей, которая может быть представлена ломаной линией или сплайном. Первый способ отображения не вносит в полученную геометрию дополнительной погрешности, поскольку кривая, полученная данным способом, точно повторяет контур, полученный при рассечении фасетной поверхности, составленной из плоских треугольников. Полученная линия пересечения разбивает поверхность, описывающую проходное сечение, на области внутри контура проходного сечения и за ее пределами. Для измерения проходного сечения между каждой парой лопаток достаточно воспользоваться стандартным инструментом измерения площади в отношении участка поверхности внутри контура проходного сечения (рисунок 6).

Погрешность измерения проходного сечения при данном способе измерения будет определяться путем сложения погрешностей и допущений, принятых на каждом этапе получения и обработки геометрии (погрешность выбранного комплекта оптики измерительной системы, погрешность установки объекта в процессе оцифровки, погрешность позиционирования координатной системы, допустимое отклонение при упрощении поверхности).

О ПЕРСПЕКТИВНОМ РАЗМЕЩЕНИИ ДАТЧИКОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

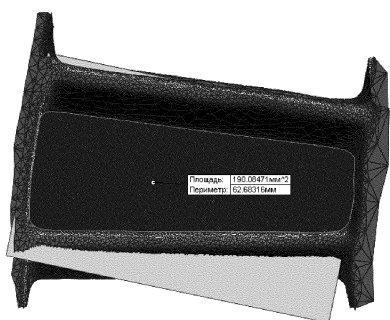


Рисунок 6- Измерение площади участка поверхности ПС

Заключение

Предложенный метод контроля позволяет минимизировать влияние квалификации пользователя на полученный результат, а также сократить погрешность, возникающую при ручном приблизительном описании контура проходного сечения.

Аспирант **Осипович Д.А.** тел. 8-342-239-15-08, dashapors@rambler.ru - каф. "Инновационные технологии машиностроения" Пермского национального исследовательского политехнического университета

УДК: 621.311

О ПЕРСПЕКТИВНОМ РАЗМЕЩЕНИИ ДАТЧИКОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

В.М. Геворкян, С.Н. Михалин, И.А. Яшин

В статье представлено описание перспективного технического решения в части размещения датчиков контроля режимов электрической сети, а также датчиков вспомогательных систем в составе электрических сетей высокого напряжения – автономной модульной платформе, расположенной на стороне высокого потенциала линий электропередачи

Ключевые слова: датчик, электрическая сеть, высокое напряжение, модульная платформа

Введение

Современная электроэнергетика развивается в направлении повышения качества и надежности электроснабжения предприятий, частных лиц, стратегических и муниципальных объектов. Согласно положению о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС» [1], главными стратегическими целями по эффективному управлению, модернизации и инновационному развитию Единой национальной электрической сети (ЕНЭС) являются:

- повышение готовности линий электропередач (ЛЭП) и оборудования ЕНЭС к передаче электрической энергии для обеспечения устойчивого снабжения электрической энергией потребителей, функционирования оптового и розничного рынков электрической энергии, параллельной работы ЕНЭС России и электроэнергетических систем иностранных государств;
- повышение надежности и эффективности ЕНЭС за счет существенного повышения управляемости всех элементов сети;
- повышение эффективности и развитие системы диагностики объектов ЕНЭС;
- автоматизация подстанций (ПС) ЕНЭС, внедрение и развитие современных систем контроля технического состояния, автоматической диагностики и монито-

ринга технологического оборудования, систем релейной защиты и противоаварийной автоматики, систем связи, инженерных систем, коммерческого и технического учета электроэнергии; переход к созданию цифровых ПС без постоянного оперативного персонала.

Обобщая представленные цели, можно утверждать, что в современной электроэнергетике прослеживается тенденция в повышении прозрачности и контролируемости сетей передачи электрической энергии.

Для решения поставленных задач в электрических сетях необходимо размещать большое количество датчиков различного назначения. Причем, учитывая, что речь идет о ЕНЭС, эти датчики должны быть расположены в пределах целой сети, а также функционировать в едином во времени информационном пространстве.

О датчиках

Традиционно в электрических сетях высокого напряжения применяются датчики тока и напряжения, на основании показаний которых вычисляются режимы работы сети и ведется коммерческий учет электрической энергии. Это могут быть как традиционные электромагнитные трансформаторы тока и напряжения, так и современные оптоэлек-