

ВЫБОР ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ДОПЛЕРОВСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАНИЙ ЛОПАТОК ЭНЕРГОАГРЕГАТОВ

© 2014 А.И. Данилин, А.А. Грецов

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

В работе рассматриваются конструктивные особенности построения волноводных первичных преобразователей для реализации доплеровского метода определения параметров колебаний лопаток энергоагрегатов.

Энергоагрегат, волновод, доплеровский дискретно-фазовый метод, первичные преобразователи.

Одним из перспективных методов определения параметров колебаний лопаток турбоагрегата является доплеровский дискретно-фазовый метод (ДДФМ), позволяющий определять деформационное состояние каждой лопатки рабочего колеса турбоагрегата. Суть данного метода заключается в определении доплеровского смещения частоты сигнала, отражённого от контролируемой поверхности, и соответствующей интерпретации полученных значений в области механических напряжений и деформаций [1].

К преобразователям, реализующим доплеровский дискретно-фазовый метод, предъявляются высокие конструктивные требования по надёжности, поскольку датчики эксплуатируются при повышенной вибрации в сложных физических условиях при сравнительно высоких показателях температуры, давления и влажности, повышенной вибрации. Особое значение это имеет для штатных датчиков, которые должны сохранять работоспособность на протяжении всего времени эксплуатации энергоагрегата. Кроме механической надёжности первичных преобразователей не менее важна их электрическая надёжность.

Всем перечисленным выше требованиям удовлетворяют волноводные СВЧ преобразователи. В общем случае волноводные СВЧ первичные преобразователи (ПП) для ДДФМ представляют собой волноводную систему, посредством которой электромагнитное излучение СВЧ генератора канализируется в зону контроля конкретного объекта. Часть отражённого от контролируемого объ-

екта электромагнитного потока по этой же волноводной системе поступает на регистрирующее устройство. Волноводная система в простейшем случае представляет собой трубу круглого или прямоугольного сечения. Для построения датчиковых систем, как показывает практика, удобнее - с точки зрения установки и юстировки - иметь дело с датчиками цилиндрической формы. Поэтому целесообразным является выбор фидерного тракта СВЧ ПП на основе круглого волновода. Материал волновода должен обладать достаточной износостойкостью, коррозионной стойкостью, механической прочностью, доступностью и освоенными технологиями его обработки. Материалом, наиболее полно отвечающим этим требованиям, является хромоникелевая нержавеющая сталь.

Генераторы СВЧ колебаний для систем контроля деформационного состояния лопаток должны работать в условиях значительных вибраций, поэтому их конструктивные элементы должны иметь в своем составе дополнительные противовибрационные элементы крепления активных элементов и средств настройки. Среди различных типов генераторных систем предпочтение следует отдать компактным генераторам на полупроводниковых активных элементах с микроволновыми резонаторными системами. В качестве активного элемента в таких генераторах широкое применение нашли диоды Ганна, позволяющие реализовать автодинный режим работы. Полупроводниковые модули на диодах Ганна имеют нелинейную харак-

теристику зависимости амплитуды выходного сигнала от температуры активного элемента и их эксплуатация целесообразна в ряде температурных областей, где эта зависимость является линейной. Таким образом, для эксплуатации модуля на диодах Ганна, необходимо его обязательное, довольно точное, термостатирование. Внешний вид блока термостата приведен на рис. 1. В нём расположен генераторный модуль, нагревательный элемент, датчик температуры и схема управления нагревательным элементом.



Рис. 1. Внешний вид термостатированного генераторного модуля

В конструкцию волноводного первичного преобразователя, позволяющего реализовать ДДФМ для контроля деформационного состояния лопаток паровых турбин, входят волновод или корпус ПП, волноводно-коаксиальный переход, наконечник, заполненный кварцевым стеклом, и соединительная накидная гайка [2].

Волноводно-коаксиальный переход представляет собой круглый волновод, рассчитанный на существование волны H_{11} с $\lambda = 50$ мм. Возбуждение волновода осуществляется посредством штыря, изготовленного заодно с коаксиальным разъёмом. Для выбора оптимального режима возбуждения в конструкции волноводного перехода предусмотрен подстроечный поршень, который после настройки фиксируется контрольными гайками. Во время эксплуатации поршень закрывается предохранительным колпачком. Волноводный переход соединяется с основным волноводом (корпусом ПП) с помощью накидной гайки. Внешний вид

волноводно-коаксиальных переходов приведён на рис. 2.

Наконечник первичного преобразователя представляет собой цилиндр с резьбовой частью, посредством которой ПП вворачивается до упора в резьбовое отверстие, выполненное в обойме энергоагрегата, и встаёт заподлицо с её внутренней поверхностью.



Рис. 2. Волноводно-коаксиальный переход на рабочую частоту 6 ГГц

Внутренний диаметр наконечника составляет 16 мм, и для существования в этой части волновода волны с $\lambda = 50$ мм он заполнен кварцевым стеклом. На задней стороне наконечника имеется цилиндрическое утолщение, которое входит в цилиндрическую проточку основного волновода и после этого приваривается к нему электросваркой в среде аргона. Внешний вид наконечника, заполненного кварцевым стеклом и приваренного к основному волноводу, приведён на рис. 3.



Рис. 3. Наконечник волноводного первичного преобразователя

Корпус первичного преобразователя, или основной волновод, представляет собой цилиндрическую трубу из нержавеющей стали 12Х18НТ. С одной стороны корпуса

выполнена внутренняя цилиндрическая проточка, с другой стороны – внешняя. На внешнюю проточку корпуса надевается резьбовой фланец, выполненный из того же материала, который приваривается к корпусу. Резьбовой фланец и волноводно-коаксиальный переход соединяются с помощью накидной гайки и стягиваются между собой. Внешний вид этой части ПП приведён на рис. 4.



Рис. 4. Внешний вид сочленения волноводно-коаксиального перехода и корпуса основного волновода первичного преобразователя

При герметизации зазора между диэлектрическим заполнением из кварцевого стекла и внутренней поверхностью наконечника волноводного ПП в одном из вариантов изготовления была использована толстоплёночная технология, основанная на нанесении проводниковой пасты 3712 на кварцевый стержень с последующей высокотемпературной обработкой. Получаемый при такой технологии проводниковый герметизирующий слой обладает высокой электропроводностью и адгезией к кварцевому основанию, коррозионной стойкостью и достаточной механической прочностью [2].

В результате, полученная конструкция сохраняла работоспособность волноводной системы в диапазоне температур до 500°C. Внешний вид наконечника с высокотемпературной герметизацией приведён на рис. 5.

В остальных случаях для фиксации кварцевого стержня в наконечнике использовались высокотемпературные влагостойкие клеи: алюмосиликатный клей НС с температурой постоянного применения

1150°C, LOCTITE 5920 – силиконовая тиксотропная паста (термостойкость до 350°C), позволяющие получать удовлетворительные результаты по надёжности работы волноводных ПП, как в цилиндрах низкого давления, так и в цилиндрах высокого давления.



Рис. 5. Высокотемпературный наконечник волноводного ПП с кварцевым стеклом

Внешний вид термостатированного генераторного модуля и удлинённой (для размещения подстроечного поршня) волноводной части ПП для контроля рабочего состояния лопаток компрессора на газотурбинных двигателях (ГТД) приведён на рис. 6.



Рис. 6. Внешний вид термостатированного генераторного модуля и волноводной части ПП для использования в ГТД

Необходимо отметить, что волноводные первичные преобразователи в последнее время всё чаще заменяют известные классические первичные преобразователи (датчики) в различных отраслях промышленности и в некоторых частных случаях практического применения.

Библиографический список

1. Данилин, А.И., Грецов А.А. Доплеровский метод определения параметров колебаний элементов вращающихся узлов энергоагрегатов. / Вестник СГАУ. 2012. №3 (34), часть 2. С. 171-177.
2. Данилин, А.И. Бесконтактные измерения деформационных параметров лопаток в системах контроля и управления турбоагрегатами. / Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2008. 218 с.

Информация об авторах

Данилин Александр Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры радиотехники и медицинских диагностических систем, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: ai-dan@ssau.ru. Область научных интересов: измерительные системы, разработка методов и электронной аппаратуры для определения параметров эксплуатационного состояния лопаток турбоагрегатов.

Грецов Андрей Александрович, аспирант кафедры радиотехники и медицинских диагностических систем, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: greckov1989@rambler.ru. Область научных интересов: измерительные системы, разработка методов и электронной аппаратуры для определения параметров эксплуатационного состояния лопаток турбоагрегатов.

PRIMARY CONVERTERS FOR THE IMPLEMENTATION OF DOPPLER METHOD FOR MEASURING BLADE OSCILLATION POWER UNIT

© 2014 A.I. Danilin, A.A. Gretskov

Samara State Aerospace University, Samara, Russian Federation

The paper deals with the design features of building waveguide primary device for implementing the method of determining the parameters of the Doppler blade oscillation power units.

Power unit, waveguide, Doppler discrete-phase method, primary converters.

References

1. Danilin A.I., Gretskov A.A. Doppler method for measuring fluctuations of elements rotating parts power. /Vestnik SSAU, 2012, №3(34).P. 171-177. (In Russ.)
2. Danilin, A.I. Contactless measurement of deformation parameters of the blades in the systems of monitoring and control of turbine units / Samara: Publishing house of Samara scientific center of RAS, 2008. 218 p. (In Russ.)

About the authors

Danilin Alexander Ivanovich, Doctor of technical sciences, professor of the radio engineering and medical diagnostic systems department, E-mail: aidan@ssau.ru. Area of research: developing methods and designing electronic equipment for determining parameters of turbine-unit blade operating condition.

Gretskov Andrey Aleksandrovich, post-graduate of the radio engineering and medical diagnostic systems department, E-mail: greckov1989@rambler.ru. Area of research: developing methods and designing electronic equipment for determining parameters of turbine-unit blade operating condition.