

КОРРЕКЦИЯ КАЛИБРОВОЧНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЕМКОСТНОГО ДАТЧИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНТАКТНОГО ДАТЧИКА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ЗАЗОРОВ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

**Дмитрий Добров, Михаил Владов, Данил Украинцев
Молдова, Кишинев, «Comelpro» SRL,
e-mail: office@comelpro.com**

Abstract. In the article has described a method of the capacitive probe radial calibration curve correction using touch probe during the gas-turbine engine blade tip clearance measurement

Ключевые слова: Система контрольно-измерительная, емкостной датчик, контактный датчик, измерение зазоров газотурбинного двигателя, калибровка датчика, коррекция калибровочной характеристики.

I. Введение

При проведении измерений радиальных и осевых зазоров в газотурбинных двигателях с использованием емкостных датчиков, достаточно сложным является процесс калибровки этих датчиков, а так же выставка начальных зазоров датчиков над лопатками при установке на двигатель, что, в конечном счете, сильно влияет на конечные результаты измерений зазоров. Для решения этих проблем многие фирмы-изготовители систем измерения радиальных зазоров в газотурбинных двигателях требуют от заказчика точные геометрические размеры лопаток, рабочих колес и др. для создания полного макета-аналога измеряемого узла [1]. Это значительно удорожает изготовление систем измерений зазоров, а зачастую заказчик не может предоставить такую информацию в силу ряда объективных причин, связанной с коммерческой тайной и конкуренцией разрабатывающих двигателестроительных фирм.

Сотрудниками «Comelpro» SRL, по заданию ЦИАМ им. Баранова г. Москва, РФ была разработана 14-ти канальная система измерения радиальных зазоров СКИ «АГАТ-РЗ» [2]. Каждый канал СКИ «АГАТ-РЗ» осуществляет измерение радиального зазора рабочего колеса компрессора двигателя с помощью емкостного датчика. Нормализатор сигнала емкостного датчика обеспечивает формирование измерительного сигнала с помощью микросхемы ФАПЧ, включающей в себя генератор, управляемый напряжением (ГУН) и фазовый компаратор (ФК). Амплитуда сигнала на выходе ФАПЧ, зависит от емкости подключенного к нему датчика и характеризует величину измеряемого радиального зазора.

II. Калибровка калибровочной характеристики емкостного датчика в реальных условиях эксплуатации.

На этапе настройки измерительного канала на статическом стенде формируются калибровочные таблицы соответствия уровня выходного сигнала нормализатора величине радиального зазора для нескольких вариантов толщины лопатки рабочего колеса компрессора. Обычно толщины лопаток должны варьироваться в некоторых пределах (порядка $\pm 10\%$) вокруг предполагаемой номинальной толщины исследуемой лопатки рабочего колеса компрессора. Пример двух калибровочных кривых для соответствующих

значений толщины лопатки представлен на рисунке 1.

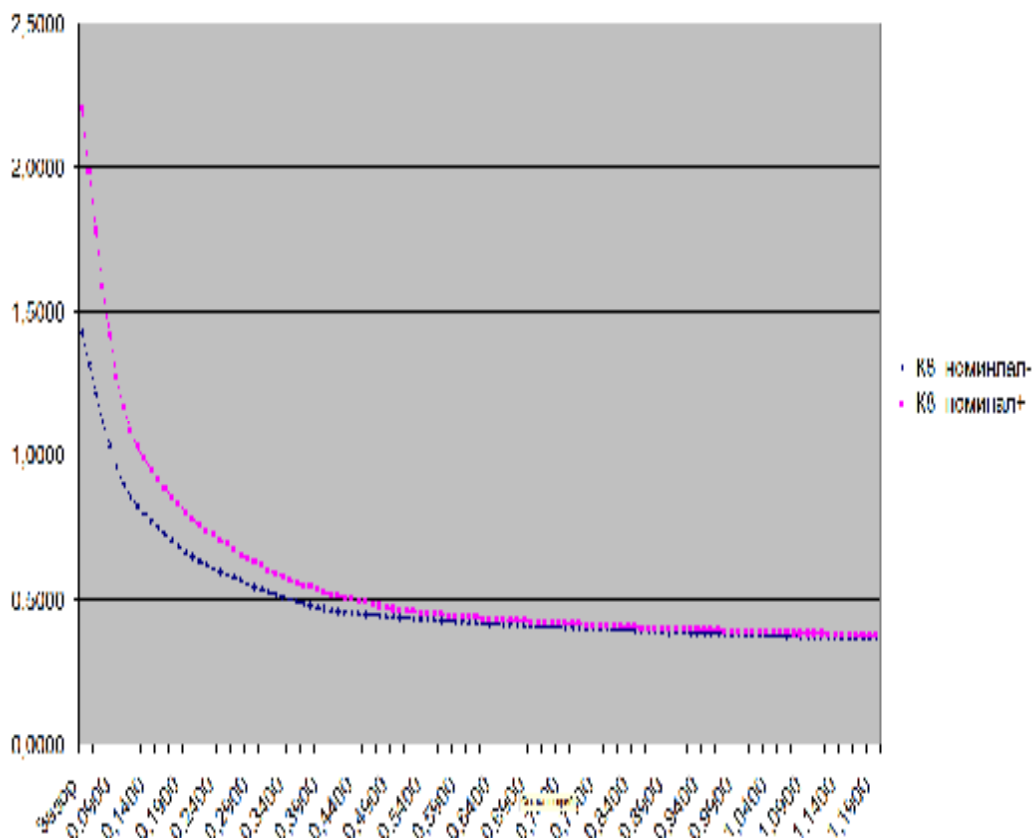


Рис. 1. Калибровочные кривые для двух вариантов толщины лопатки

Дальнейшее функционирование измерительного канала зазорметра зависит от корректности калибровочных таблиц с учетом реальных геометрических параметров лопаток рабочего колеса. Вследствие несоответствия параметров лопатки в реальном изделии лопаткам, использованным на этапе отладки измерительных каналов Зазорметра, возникает дополнительная погрешность измерения радиального зазора. Для уменьшения погрешности необходимо осуществить коррекцию калибровочных таблиц измерительных каналов зазорметра, но на реальном изделии не всегда имеется возможность выполнения измерений для достаточного числа вариантов радиального зазора, чтобы осуществить требуемую коррекцию. В этом случае предлагается выполнить коррекцию калибровочной характеристики с помощью однократного измерения, используя контактный датчик. Контактный датчик устанавливается с известным смещением по отношению к поверхности емкостного датчика (0,3 – 0,5) мм. (см. рис. 2). СКИ «АГАТ-РЗ» отслеживает момент касания лопатки контактным датчиком, фиксирует уровень сигнала в измерительном канале емкостного датчика и сопоставляет со значениями уровня сигнала ранее имеющихся калибровочных таблиц для установленного смещения емкостного и контактного датчиков. При достаточно малом изменении толщины лопатки и, соответственно площади пересечения торца лопатки и емкостного датчика, считаем, что амплитуда измеренного сигнала прямо пропорционально зависит от емкости датчика при неизменном зазоре. В этом случае можно ввести коэффициент пропорциональности для нахождения точек новой калибровочной таблицы, что позволит в дальнейшем снизить возникающие погрешности измерений.



Рис. 2. Измерения с емкостным датчиком и смещённым контактным датчиком

Для установленного смещения контактного датчика, например на 0,3 мм, коэффициент пропорциональности равен:

$$K_{0,3} = \frac{U_{0,3_изм.} - U_{0,3_ном-}}{U_{0,3_ном+} - U_{0,3_ном-}} \quad (1)$$

Где $U_{0,3_ном-}$ - уровень сигнала из калибровочной таблицы для минимально возможной толщины лопатки и для радиального зазора 0,3 мм;

$U_{0,3_ном+}$ - уровень сигнала из калибровочной таблицы для максимально возможной толщины лопатки и для радиального зазора 0,3 мм;

$U_{0,3_изм}$ - уровень сигнала на выходе нормализатора измерительного канала, измеренный в момент срабатывания контактного датчика (радиальный зазор при этом равен 0,3 мм).

Теперь уровень сигнала откорректированной калибровочной кривой для каждого i -ого радиального зазора δ_i определяется выражением (2):

$$U_{i_кор} = U_{i_ном-} + K_{0,3} * (U_{i_ном+} - U_{i_ном-}) \quad (2)$$

Где $K_{0,3}$ - коэффициент пропорциональности, полученный для зазора 0,3 мм в момент срабатывания контактного датчика;

$U_{i_ном-}$ - уровень сигнала из калибровочной таблицы для минимально возможной толщины лопатки и для радиального зазора δ_i , мм;

$U_{i_ном+}$ - уровень сигнала из калибровочной таблицы для максимально возможной толщины лопатки и для радиального зазора δ_i , мм;

$U_{i_кор}$ - уровень сигнала откорректированной калибровочной кривой для радиального зазора δ_i , мм;

Пример построения такой откорректированной калибровочной кривой для измерительного канала К8 представлен на рисунке 3. Полученные таким способом откорректированные калибровочные характеристики для всех каналов СКИ «АГАТ-РЗ» используются для определения радиальных зазоров на реальных изделиях, например компрессоры ФГУП ЦИАМ им. Баранова г. Москва, РФ.

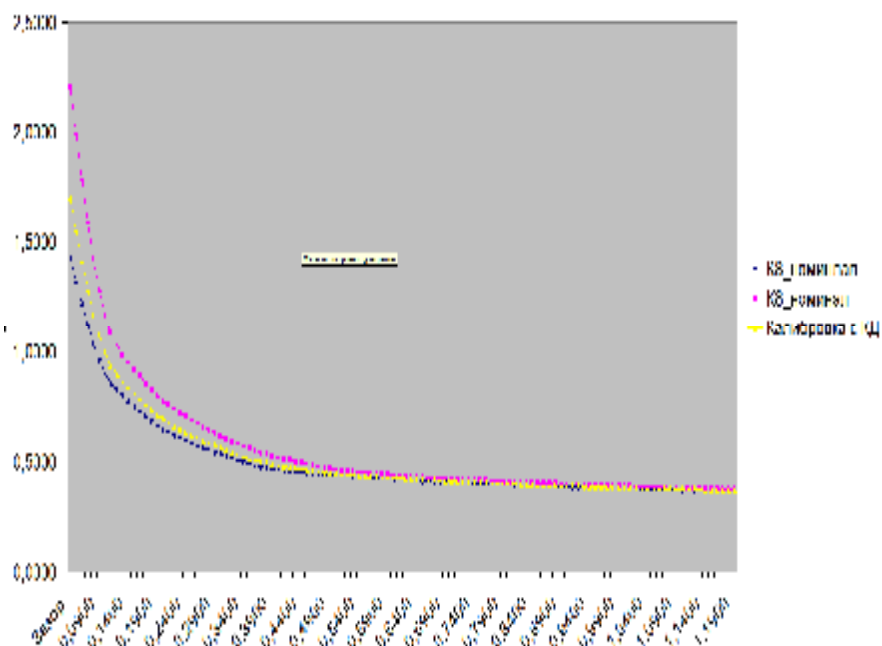


Рисунок 3 - Откорректированная калибровочная кривая, полученная с помощью измерения с контактным датчиком

Фотография статического стенда для формирования данных калибровочных таблиц представлена на рисунке 4.



Рис.4. Фото статического стенда формирования данных для калибровочных таблиц.

II. Заключение

Вышеизложенный метод коррекции калибровочной характеристики емкостного датчика при измерении зазоров газотурбинного двигателя с использованием контактного датчика позволил решить задачу измерения радиальных зазоров для вновь разрабатываемых газотурбинных двигателях с меньшими материальными затратами и за меньшие временные сроки.

Идея использования контактного датчика для коррекции калибровочной характеристики предложена начальником сектора ФГУП ЦИАМ им. Баранова, Максимовым В.П.

III. Библиография

1. ROTADATE Limited, BRO Pyrometry Iss 1 000 BROCHURE MODIFIED 17 MAY 2005 RU.
2. Владов М.П., Добров Д.И. Обзор контрольно-измерительных систем ООО «COMELPRO» для двигателестроительных предприятий РФ. Труды 3-й международной научно-технической конференции "Авиадвигатели XXI века", ФГУП ЦИАМ им. Баранова, г. Москва, РФ, 2010.