

УДК 681.586+621.452.3

КОСВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ ВИБРАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ ТРЕХКАНАЛЬНЫМ ДАТЧИКОМ ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В КАМЕРАХ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

©2011 Н. И. Лиманова¹, П. Е. Юдин², И. А. Лиманов³¹Тольяттинский государственный университет²ЗАО «Научно-производственный центр «Самара»³Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)

В статье рассмотрена проблема возникновения вибрационного горения в низкоэмиссионных камерах сгорания наземных ГТД. Предложена конструкция трёхканального датчика измерения перемещений для косвенного определения наличия вибрационного горения. Представлена схема датчика, а также алгоритм его работы. Проанализированы преимущества трёхканального датчика перед одноканальным.

Низкоэмиссионная камера сгорания, вибрационное горение, трёхканальный датчик измерения перемещений.

В камерах сгорания газотурбинных двигателей может возникать особый режим горения – вибрационное горение, характеризующееся периодическими колебаниями давления со значительной амплитудой (до 10% от давления за компрессором). Вибрационное горение является недопустимым, так как приводит к быстрому разрушению элементов камеры сгорания.

В практике современного двигателестроения борьба с виброгорением осуществляется главным образом на этапе разработки двигателя путём аэродинамической доводки камеры сгорания.

Проблема вибрационного горения особенно остра для низкоэмиссионных камер сгорания наземных газотурбинных установок. Уменьшение эмиссии вредных веществ, в первую очередь окислов азота NO_x , достигается повышением скорости течения потока, что приводит к уменьшению времени пребывания газа в камере и максимально обедняет рабочую смесь, снижает среднemasсовую температуру в зоне горения. Реализация данного подхода в применяемых в настоящее время низкоэмиссионных камерах сгорания стационарных ГТД осуществляется организаци-

ей двухзонного горения с отдельным для каждой зоны управлением расходом топлива и дозирующими устройствами. Управление расходом топлива в основной зоне горения осуществляется по закону $G_T = \text{const}$ из условия максимального снижения эмиссии вредных веществ. Во второй зоне дозирование топлива осуществляется из условия выполнения заданного закона управления двигателем, например, по закону стабилизации частоты вращения турбины нагнетателя $N_{TH} = \text{const}$. Организация рабочего процесса в основной зоне из условия снижения эмиссии вредных веществ повышает вероятность срыва пламени и способствует возникновению вибрационного горения.

Анализ вибрационных характеристик процессов горения в низкоэмиссионных камерах показывает, что в них может возникать вибрация в достаточно узких диапазонах режимов работы двигателя. Таким образом, на различных режимах возможности обеднения рабочей смеси в камере сгорания для снижения эмиссии вредных веществ различны.

Предотвратить возникновение вибрационного горения в камере сгорания можно путём управления расходом смеси

и коэффициентом избытка воздуха. Но на пути решения данной задачи возникает ряд препятствий, основное – отсутствие надёжного количественного признака его проявления. Косвенно определить величины пульсаций давления в КС можно, измерив уровень корпусных вибраций [1].

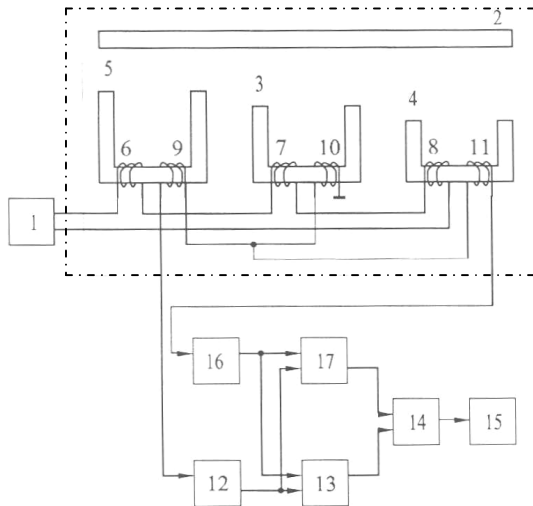


Рис 1. Трехканальный электромагнитный датчик перемещений

Для бесконтактного измерения корпусных вибраций возможно применение многоканального измерительного устройства [2], изображённого на рис.1. В состав измерителя вибраций входит генератор 1 [3], индуктивный датчик 2, включающий в себя первый сердечник 3, второй сердечник 4, плечи которого короче плеч сердечника 3 на величину ΔH , третий сердечник 5, плечи которого длиннее плеч сердечника 3 на величину ΔH . Питающие обмотки 6, 7 и 8 подключены к генератору 1 последовательно. Устройство содержит также измерительные обмотки 9, 10 и 11, первый 12 и второй 16 амплитудные детекторы, блок сложения 13, блок деления 14, регистратор 15 и блок вычитания 17. Измерительные обмотки 9 и 10, 10 и 11 включены последовательно-встречно.

Питающие обмотки 6, 7 и 8 датчика 2 запитываются синусоидальным током от генератора 1. В измерительных обмотках 10, 11 и 9 наводится ЭДС, величины которых соответственно равны:

$$\begin{cases} U_1 = \frac{a_2}{2} + a_1; \\ U_2 = \frac{a_2}{z + \Delta H} + a_1; \\ U_3 = \frac{a_2}{z - \Delta H} + a_1, \end{cases} \quad (1)$$

где под z здесь и далее по тексту понимается значение измеряемого перемещения, нормированное относительно длины П-образного сердечника; a_1, a_2 – коэффициенты преобразования, учитывающие наличие ёмкостных связей между обмотками, влияние внешних электромагнитных полей.

Так как измерительные обмотки 9, 10 и 11 включены последовательно-встречно, то на вход амплитудных детекторов 12 и 16 поступают сигналы δ_1 и δ_2 , величины которых соответственно равны:

$$\begin{aligned} d_1 = U_1 - U_3 &= \frac{-a_2 \cdot \Delta H}{z(z - \Delta H)}; \\ d_2 = U_1 - U_2 &= \frac{a_2 \cdot \Delta H}{z(z + \Delta H)}. \end{aligned} \quad (2)$$

На выходах амплитудных детекторов 12 и 16 после детектирования сигналов δ_1 и δ_2 появляются сигналы S_1 и S_2 , величины которых соответственно равны:

$$\begin{aligned} S_1 = |d_1| &= \frac{a_2 \cdot \Delta H}{z(z - \Delta H)}; \\ S_2 = |d_2| &= \frac{a_2 \cdot \Delta H}{z(z + \Delta H)}. \end{aligned} \quad (3)$$

Величины сигналов S_3 с выхода блока сложения 13 и S_4 с выхода блока вычитания 17 составляют:

$$\begin{aligned} S_3 &= S_1 + S_2; \\ S_4 &= S_1 - S_2. \end{aligned} \quad (4)$$

На выходе с блока 14 деления сформируется сигнал

$$S = \frac{S_3}{S_4} = \frac{\frac{a_2 \Delta H}{z(z - \Delta H)} + \frac{a_2 \Delta H}{z(z + \Delta H)}}{\frac{a_2 \Delta H}{z(z - \Delta H)} - \frac{a_2 \Delta H}{z(z + \Delta H)}} = \frac{z}{\Delta H}. \quad (5)$$

Сигнал $S = \frac{z}{\Delta H}$, величина которого

не зависит от величины коэффициентов a_1

и a_2 , поступает на регистратор 15, который с учётом множителя $1/\Delta H$ регистрирует измеряемую величину z .

При необходимости можно использовать П-образные сердечники с одинаковой длиной плеч. При этом их надо закреплять в индуктивном датчике таким образом, чтобы расстояния от торцов второго и третьего сердечников до контролируемого объекта отличались соответственно на величины ΔH и $-\Delta H$ от расстояния между торцами первого сердечника и контролируемым объектом. Таким образом, использование многоканального электромагнитного датчика позволяет повышать точность измерения вибраций и перемещений контролируемого изделия, так как непосредственно в процессе контроля происходит отстройка от влияния величин коэффициентов a_1 и a_2 (см. выражение (1)). Это позволяет учесть с большей точностью наличие ёмкостных связей между обмотками, влияние внешних электромагнитных полей и замыкание части магнитного потока не через контролируемое изделие. Благодаря этому повышается точность измерений и существенно расширяется диапазон изменения измеряемого параметра при той же допустимой погрешности измерений, что и для одноканального датчика.

Использование многоканального датчика измерения вибрации на низко-

эмиссионных камерах сгорания позволит получить характеристику колебаний жаровой трубы, тем самым косвенным образом определить наличие вибрационного горения. Так как данный датчик позволяет отстраиваться от влияния внешних электромагнитных помех, его применение возможно в составе работающего ГТД. Работа датчика в составе устройства регулирования расходом газа и коэффициентом избытка воздуха позволит увести камеру сгорания из областей вибрационного горения.

Библиографический список

1. Применение средств вибрационной диагностики для защиты от вибрационного горения [Текст] / С.В. Лозня, С.С. Некрасов, В.Г. Соляник [и др.] // Вибрации в технике и технологии. -2001.- №4 (20).- С.57-60.

2. А.с. 1585693 СССР, МКИ G 01 H 11/00. Электромагнитное измерительное устройство [Текст]/ Н.И. Лиманова, А.Р. Шишкин, В.Н. Буров. – № 4422835/25-28; заявл. 07.05.88; опубл. 15.08.90, Бюл.№30.

3. А.с. 17202511 СССР, МКИ H03 B 1/00, G01 N 27/00. Генератор синусоидальных сигналов [Текст]/ А.Р. Шишкин, В.Н. Буров, Н.И. Лиманова. – №4373042/28; заявл. 25.07.90; опубл. 30.12.91, Бюл. №48.

INDIRECT DETERMINATION OF THE PRESENCE OF VIBRATION COMBUSTION IN COMBUSTION CHAMBERS OF TURBINE ENGINES BY A THREE-CHANNEL SENSOR FOR MEASURING MOVEMENT

2011© N. I. Limanova¹, P. E. Yudin², I. A Limanov²

¹Togliatti State University

²JSC "Research-and-Production Center "Samara"

³Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)

The paper deals with the problem of vibration combustion in low-emission combustion chambers of terrestrial gas turbine engines. A design of a three-channel sensor for measuring movement for the indirect determination of the presence of vibration combustion is proposed. The scheme of the sensor and the algorithm of its work is presented. The advantages of a three-channel sensor over a single-channel one are analyzed.

Low-emission combustion chamber, vibration combustion, three-channel sensor for measuring movement.

Информация об авторах

Наталья Игоревна Лиманова, доктор технических наук, профессор кафедры «Прикладная математика и прикладная информатика», Тольяттинский государственный университет. E-mail: n.limanova@tltsu.ru. Область научных интересов: датчики и преобразователи информации, системы измерения, контроля и управления.

Павел Евгеньевич Юдин, технический директор ЗАО «Научно-производственный центр «Самара», соискатель ученой степени кандидата технических наук. E-mail: yudinpav@yandex.ru. Область научных интересов: процессы горения и диагностика элементов тепловых двигателей.

Игорь Алексеевич Лиманов, кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: опто-волоконные средства измерения, диагностика элементов тепловых двигателей.

Natalia Igorevna Limanova, Dr. Sci. Tech., Professor of the department "Applied Mathematics and Applied Informatics", Togliatti State University. E-mail: n.limanova@tltsu.ru. Area of research: sensors and data converters, systems of measurement, control and management.

Pavel Yevgenyevich Yudin, technical chief of JSC "Research-and-Production Center "Samara", applicant for the degree of Cand. Tech. Sci. E-mail: yudinpav@yandex.ru. Area of research: combustion processes and diagnostics of elements of heat engines.

Igor Alekseevich Limanov, Cand. Tech. Sci., Associate Professor of the department "Electrical Engineering" Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). Area of research: fiber-optic measuring instruments, diagnostics of heat engine elements.