

1664

СОГЛАСОВАНО

Начальник ГЦИ СИ «Воентест»
32 ГНИИ МО РФ



А.Ю. Кузин

Система измерительная СИ-1/ГТД-96	Внесена в Государственный реестр средств измерений Регистрационный № _____ Взамен № _____
-----------------------------------	---

Изготовлена по технической документации ОАО «УМПО», г. Уфа. Заводской номер 001.

Назначение и область применения

Система измерительная СИ-1/ГТД-96 (далее - система) предназначена для измерений параметров газотурбинных двигателей (ГТД): давления и температуры жидкостей и газов, расхода топлива, расхода воздуха через ГТД, частоты вращения роторов, силы от тяги, параметров вибрации корпуса ГТД, прокачки масла, угловых перемещений элементов ГТД, а также сопротивления постоянному току, силы и напряжения постоянного тока.

Система применяется в сфере обороны и безопасности при проведении стендовых испытаний ГТД.

Описание

Принцип работы системы заключается в измерении параметров ГТД датчиками физических величин, преобразовании их в электрические сигналы, преобразовании электрических сигналов в цифровой код с помощью устройства согласования с объектом и передаче цифровой информации в промышленный компьютер (далее - ПК) для дальнейшего её использования в автоматизированной системе управления технологическим процессом испытаний.

Система представляет собой измерительную систему ИС-2 по ГОСТ Р 8.596-2002.

Функционально система содержит 10 типов каналов измерения (ИК) параметров ГТД:

- ИК силы от тяги;
- ИК частоты вращения роторов;
- ИК прокачки масла;
- ИК температуры термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК и напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температуры;
- ИК температуры термометрами сопротивления и сопротивления постоянному току, соответствующего значениям температуры;
- ИК давления и силы постоянного тока, соответствующего значениям давления;
- ИК расхода топлива;
- ИК расхода воздуха;
- ИК параметров вибрации;
- ИК угловых перемещений и напряжения постоянного тока, соответствующего угловым перемещениям.

Конструктивно система представляет собой размещенные в пультовой 2 шкафа с ПК и аппаратурой сбора и преобразования сигналов, выполненной в виде модулей и соединенной с первичными измерительными преобразователями (ПП), размещенными в испытательном боксе, линиями связи длиной до 50 м. В основе системы заложены четыре одноплатных промышлен-

ных компьютера, через которые организуется работа всей системы по сбору информации с ПП, ее анализу, представлению всей нужной информации на 4-х мониторах, хранению данных, ведению печатного протокола. Одноплатные компьютеры объединены между собой локальной сетью и представляют собой единый измерительно-вычислительный комплекс (ИВК), который, кроме того, соединен с цеховым сервером (персональный компьютер) для передачи информации на более высокий уровень.

По условиям эксплуатации система удовлетворяет требованиям гр.1.1 УХЛ ГОСТ РВ 20.39.304-98, с диапазоном рабочих температур от 15 до 25 °С при относительной влажности воздуха от 30 до 80 % при температуре 25 °С без предъявления требований к механическим воздействиям, статической (динамической) пыли/песка, специальных сред.

ИК силы от тяги

Принцип действия ИК основан на воздействии силы от тяги ГТД через динамометрическую платформу на тензометрические силоизмерители, вследствие чего происходит разбалансировка тензометрического моста, выходной сигнал которого, пропорциональный приложенной силе, поступает на вход модуля нормализации, выходной сигнал с которого в виде напряжения постоянного тока поступает на вход модуля аналого-цифрового преобразователя (далее – АЦП), где преобразуется в цифровой код, регистрируемый ПК, с последующим вычислением значения измеряемой силы по известной градуировочной характеристике ИК.

ИК частоты вращения роторов

Принцип действия ИК основан на законе электромагнитной индукции. При каждом проходе «зуба» индукторной шестерни вблизи торца постоянного магнита магнитоиндукционного датчика ДЧВ-2500 в его обмотке образуется ЭДС индукции. Электрические импульсы напряжения с выхода обмотки датчика, частота следования которых пропорциональна частоте вращения ротора, поступают на вход модуля нормализации, который преобразует частотный сигнал в значение напряжения постоянного тока, и далее - на АЦП, где сигнал преобразуется в цифровой код, регистрируемый в ПК, с последующим вычислением измеряемой частоты вращения по программе с использованием индивидуальной функции преобразования ИК.

ИК прокачки масла

Принцип действия ИК основан на измерении объемного расхода (прокачки) масла турбинными преобразователями расхода (ТПР). Поток жидкости, проходящий по трубопроводу, приводит во вращение турбину ТПР, угловая скорость которой пропорциональна скорости движения жидкости в трубопроводе и, соответственно, объемному расходу. В результате на выходе встроенного в ТПР магнитоиндукционного датчика появляется электрический сигнал переменного тока, частота которого пропорциональна измеряемому объемному расходу. Частотный сигнал поступает на вход модуля нормализации, который преобразует его в значение напряжения постоянного тока, поступающее на вход АЦП, который преобразует электрический сигнал в цифровой код, регистрируемый в ПК, где по программе с учетом градуировочной характеристики ТПР вычисляется значение прокачки масла.

ИК температуры термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК и напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температуры

Принцип действия ИК температуры основан на зависимости термо-ЭДС, возникающей в термоэлектродных проводах термоэлектрических преобразователей ХА, ХК от разности температур между «горячими» и «холодными» спаями.

Значение термо-ЭДС поступает на вход модуля нормализации, с выхода которого усиленное напряжение постоянного тока поступает на вход АЦП, где электрический сигнал преобразу-

ется в цифровой код, регистрируемый в ПК, где по программе с учетом градуировочной характеристики термоэлектрического преобразователя вычисляется значение измеренной температуры. Учет температуры холодного спая для (ХА) осуществляется аппаратно внутри модуля нормализации. Для термопар ХК учет температуры холодного спая выполняется программным путем, с использованием показаний датчика измерения температуры холодного спая.

Принцип действия ИК напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температуры, основан на преобразовании с помощью модуля нормализации указанного напряжения в цифровой код, регистрируемый в ПК, с последующим вычислением по программе измеряемого напряжения с использованием индивидуальной функции преобразования ИК.

ИК температуры термометрами сопротивления и сопротивления постоянному току, соответствующего значениям температуры

Принцип действия ИК измерения температуры основан на зависимости изменения сопротивления термометра сопротивления от температуры среды. Сопротивление постоянному току термометра сопротивления преобразуется соответствующим модулем нормализации в значение напряжения постоянного тока, которое АЦП преобразует в цифровой код, поступающий в ИВК, где по индивидуальной функции преобразования ИК с учетом номинальной статической характеристики термометра сопротивления вычисляется значение измеренной температуры.

Принцип действия ИК измерения сопротивления постоянному току, соответствующего значениям температуры, основан на преобразовании соответствующим модулем нормализации значения сопротивления в значение напряжения постоянного тока, которое АЦП преобразует в цифровой код, регистрируемый в ПК, с последующим определением по программе значения измеренного сопротивления.

ИК давления и силы постоянного тока, соответствующего значениям давления

Принцип действия ИК измерения давления основан на зависимости выходного сигнала ПП давления от значений перемещения или деформации чувствительного элемента датчика под действием измеряемого давления (абсолютного, избыточного) или перепада давления. Значение силы постоянного тока от ПП преобразуется модулем нормализации в значение напряжения постоянного тока, которое преобразуется АЦП в цифровой код, регистрируемый ИВК с последующим вычислением значений измеряемого давления по индивидуальной функции преобразования ИК.

Принцип действия ИК измерения силы постоянного тока, соответствующей значениям давления, основан на преобразовании АЦП значения силы постоянного тока в цифровой код, регистрацией его в ПК и определении по программе измеренной силы тока с использованием индивидуальной функции преобразования ИК.

ИК расхода топлива

Принцип действия ИК основан на измерении массового расхода топлива кориолисовым ПП расхода Micro Motion, состоящего из датчика расхода (сенсора) CMF200 и преобразователя 2700. Измеряемая среда, поступающая в сенсор, разделяется на равные половины, протекающие через каждую из сенсорных трубок. Движение задающей катушки приводит к тому, что трубки колеблются вверх-вниз в противоположных направлениях друг к другу. При движении измеряемой среды через сенсор проявляется физическое явление, известное как эффект Кориолиса. Сила Кориолиса, действующая на сенсорную трубку, и, следовательно, величина ее изгиба прямо пропорциональна массовому расходу протекающей через нее жидкости. Детекторы измеряют фазовый сдвиг при движении противоположных сторон сенсорной трубки. Как результат изгиба сенсорных трубок генерируемые детекторами сигналы не совпадают по фазе, так как сигнал от входной стороны запаздывает по отношению к сигналу с выходной стороны. Разница во времени между сигналами (ΔT) измеряется в микросекундах и прямо пропорциональна массовому расходу. Преобразователь конвертирует полученную с сенсора информацию в цифровой

код, который поступает по интерфейсу RS-232 в ПК, где по программе определяется массовый расход.

ИК расхода воздуха

Принцип действия ИК основан на использовании уравнения Бернулли, устанавливающего зависимость между изменением скоростного напора и перепадом давления на сужающем устройстве, расположенном на входе в ГТД, и на последующем расчете массового расхода воздуха по результатам проведенных измерений с использованием значений геометрических размеров сужающего устройства, эмпирических коэффициентов и физических констант для воздуха. Сужающее устройство представляет собой расходомерный коллектор (РМК), расположенный на входе ГТД и выполненный в соответствии с требованиями ОСТ 1 02555-85.

ИК параметров вибрации

Принцип действия ИК основан на использовании индуктивных и пьезоэлектрических датчиков вибрации, преобразующих виброскорость или виброускорение корпуса ГТД или его узлов в значения напряжения переменного тока или электрического заряда. Сигнал с датчиков виброскорости поступает на модуль нормализации, с выхода которого в виде напряжения переменного тока поступает в АЦП, где преобразуется в цифровой код, передаваемый в ИВК, где по программе с использованием индивидуальной градуировочной характеристики датчика вибрации определяется значение измеренной виброскорости. Сигнал с датчика виброускорения поступает на виброизмерительную аппаратуру, осуществляющую преобразование сигнала в полосе рабочих частот в переменное напряжение с амплитудным значением, пропорциональным измеряемому виброускорению. С выхода виброаппаратуры сигнал поступает на модуль нормализации, с выхода которого в виде напряжения переменного тока поступает в АЦП, где преобразуется в цифровой код, регистрируемый ПК, с последующим определением по программе измеренного значения виброускорения с использованием индивидуальной функции преобразования ИК.

ИК угловых перемещений и напряжения постоянного тока, соответствующего угловым перемещениям

Принцип действия ИК угловых перемещений основан на преобразовании с помощью следящей системы (БСС- блок следящих систем), включающей сельсин-датчик и сельсин-приемник, углов поворота элементов двигателя в соответствующее им напряжение постоянного тока. Напряжение поступает на вход модуля нормализации, с выхода которого в виде напряжения постоянного тока, поступает на вход АЦП, где преобразуется в цифровой код, который передается в ПК, где по индивидуальной функции преобразования ИК преобразуется в значение угла.

Принцип действия ИК измерения напряжения постоянного тока, соответствующего угловым перемещениям, основан на преобразовании с помощью АЦП напряжения постоянного тока в цифровой код, регистрируемый ПК, с последующим вычислением по программе значений измеряемого углового перемещения с использованием индивидуальной функции преобразования ИК.

Основные технические характеристики

Значения основных технических характеристик приведены в таблице.

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности
<i>ИК силы от тяги</i>		
Сила от тяги двигателя (количество ИК - 2)	от 196 до 161711 Н (от 200 до 16500 кгс)	± 0,3 % от ВП в диапазоне от 200 до 7500 кгс (ВП=7500 кгс - верхний предел диапазона измерений), ± 0,3 % от ИЗ в диапазоне от 7500 до 16500 кгс (ИЗ - измеренное значение)
<i>ИК частоты вращения роторов</i>		
Частота вращения ротора компрессора низкого давления (КНД)	от 300 до 3500 Гц	± 0,1 % от ВП
Частота вращения ротора компрессора высокого давления (КВД)	от 300 до 3500 Гц	± 0,1 % от ВП
<i>ИК прокачки масла</i>		
Прокачка масла	от 15 до 70 л/мин	± 1,0 % от ВП ВП=70 л/мин
<i>ИК температуры термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК и напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температуры. ИК температуры термометрами сопротивления и сопротивления постоянному току, соответствующего значениям температуры</i>		
Температура атмосферного воздуха	от 223 до 323 К	± 0,3 % от ИЗ
Температура воздуха (газа) ГТД: (количество ИК - 6) (количество ИК - 1) (количество ИК - 1) (количество ИК - 1) (количество ИК - 1) (количество ИК - 1) (количество ИК - 1) (количество ИК - 2)	от 223 до 323 К от 273 до 473 К от 213 до 473 К от 223 до 523 К от 273 до 673 К от 273 до 873 К от 273 до 973 К от 273 до 1173 К	± 0,3 % от ИЗ ± 0,3 % от ИЗ ± 1,0 % от ВП ± 1,0 % от ВП ± 0,5 % от ВП ± 0,5 % от ВП ± 0,5 % от ВП ± 0,5 % от ВП
Температура рабочих жидкостей (топлива, масла): (количество ИК - 1) (количество ИК - 1)	от 273 до 393 К (от 0 до 120 °С) от 273 до 423 К (от 0 до 150 °С)	± 1,0 % от НЗ ± 1,0 % от НЗ (НЗ – нормированное значение)
Напряжение постоянного тока, соответствующее значениям температуры, измеряемой с помощью преобразователей ХА, ХК (количество ИК – 37)	от минус 2 до 55 мВ	± 0,25 % от ВП

Сопротивление постоянному току, соответствующее значениям температуры, измеряемой с помощью преобразователей сопротивления (количество ИК – 14)	от 80 до 200 Ом	± 0,1 % от ВП
<i>ИК давления и силы постоянного тока, соответствующего значениям давления</i>		
Атмосферное давление	от 93,3 до 106,7 кПа (от 700 до 800 мм рт. ст.)	± 67 Па(± 0,5 мм рт.ст.)
Избыточное давление воздуха (газа) ГТД: (количество ИК – 2) (количество ИК – 2)	от 0 до 0,588 МПа (от 0 до 6 кгс/см ²) от 0 до 3,923 МПа (от 0 до 40 кгс/см ²)	± 0,3 % от ВП
Избыточное статическое давление воздуха (газа) ГТД: (количество ИК – 1) (количество ИК – 1) (количество ИК – 1) (количество ИК – 1) (количество ИК – 1)	от 0 до 0,098 МПа (от 0 до 1,0 кгс/см ²) от 0 до 0,147 МПа (от 0 до 1,5 кгс/см ²) от 0 до 0,588 МПа (от 0 до 6 кгс/см ²) от 0 до 0,98 МПа (от 0 до 10 кгс/см ²) от 0 до 3,923 МПа (от 0 до 40 кгс/см ²)	± 0,3 % от ВП
Перепад между полным давлением на входе расходомерного коллектора (РМК) и статическим давлением в мерном сечении (количество ИК – 4)	от 0 до 25 кПа	± 0,3 % от 0,5 ВП в диапазоне от 0 до 0,5 ВП ± 0,3 % от ИЗ в диапазоне от 0,5 ВП до 1,0 ВП (ВП=25 кПа)
Перепад между атмосферным давлением и полным давлением на входе в РМК (количество ИК – 2)	от 0 до 1,6 кПа	±50 Па
Избыточное давление рабочих жидкостей (топлива, масла): (количество ИК – 1) (количество ИК – 1) (количество ИК – 1) (количество ИК – 3) (количество каналов – 2)	от минус 0,098 до 0,49 МПа (от минус 1 до 5 кгс/см ²) от 0 до 0,588 МПа (от 0 до 6 кгс/см ²) от 0 до 1,569 МПа (от 0 до 16 кгс/см ²) от 0 до 5,884 МПа (от 0 до 60,0 кгс/см ²) от 0 до 24,517 МПа (от 0 до 250 кгс/см ²)	± 1,0 % от НЗ ± 0,6 % от НЗ ± 1,0 % от НЗ ± 1,0 % от НЗ ± 1,0 % от НЗ
Сила постоянного тока, соответствующая значениям давления (количество каналов – 105)	от 4 до 20 мА	± 0,1 % от ВП
<i>ИК расхода топлива</i>		
Массовый расход топлива	от 400 до 7500 кг/ч	± 0,3 % от ВП в диапа-

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности
	от 7500 до 50000 кг/ч	зоне от 400 до 7500 кг/ч (ВП=7500 кг/ч - верхний предел диапазона измерений), ± 0,3 % от ИЗ в диапазоне от 7500 до 50000 кг/ч
<i>ИК расхода воздуха</i>		
Массовый расход воздуха (количество ИК – 2)	от 90 до 130 кг/с	± 0,5 % от ИЗ
<i>ИК параметров вибрации</i>		
Виброскорость двигателя в контрольных точках в диапазоне частот от 50 до 250 Гц (количество ИК – 11)	от 0 до 100 мм/с	± 10 % от ВП
<i>ИК угловых перемещений и напряжения постоянного тока, соответствующего угловым перемещениям</i>		
Напряжение постоянного тока, соответствующее угловым перемещениям (количество ИК -4)	от 0 до 10 В	± 0,1 % от ВП
Угловые перемещения рычага управления двигателем (РУД)	от 0 до 115°	±0,5°

Общие характеристики

Параметры электропитания:
 напряжение переменного тока, В 220 ± 22;
 частота переменного тока, Гц 50 ± 1.
 Потребляемая мощность, Вт, не более 3000.
 Габаритные размеры и масса системы соответствуют значениям, указанным в таблице.

Таблица

Составная часть системы	Обозначение	Габаритные размеры, мм, не более			Масса, кг, не более
		Длина	Ширина	Высота	
Шкаф СИ-1/ГТД-96	Секция 1	800	600	1800	170
Шкаф СИ-1/ГТД-96	Секция 2	800	600	1800	170

Рабочие условия эксплуатации:

в помещении пультной

температура воздуха, °С (К) 20 ± 5 (от 288 до 298);
 относительная влажность воздуха при температуре 25 °С, % 65 ± 15;
 атмосферное давление, мм рт.ст. (кПа) от 720 до 800 (от 96 до 106,7).

в испытательном боксе

температура воздуха, °С (К) от минус 30 до 40 (от 243 до 313);
 относительная влажность воздуха при температуре 25 °С, % до 90;
 атмосферное давление, мм рт.ст. (кПа) от 720 до 800 (от 96 до 106,7).
 Срок службы, лет 8.
 Нарботка на отказ не менее, ч 1500.

Знак утверждения типа

Знак утверждения типа наносится методом наклейки на лицевую панель шкафов с аппаратурой и на титульный лист руководства по эксплуатации.

Комплектность

В комплект поставки входят: комплект модулей, комплект ПП, комплект компьютеров, программное обеспечение, комплект кабелей и соединителей, комплект эксплуатационной документации, методика поверки.

Поверка

Поверка системы осуществляется в соответствии с документом «Система измерительная СИ-1/ГТД-96. Методика поверки 279.01.54.000 МП», утвержденным начальником ГЦИ СИ «Воентест» 32 ГНИИИ МО РФ в июне 2008 г. и входящим в комплект поставки.

Средства поверки: калибратор давления DPI 610 «Druck» (диапазон воспроизведения давления от минус 0,1 до 2,0 МПа, погрешность не более $\pm (0,025 + 1 \text{ ед. мл.р.}) \%$); манометры грузопоршневые МП-6, МП-60, МП-600 (диапазон воспроизведения давления от 0 до 60 МПа (от 0 до 600 кгс/см²), погрешность не более $\pm 0,05 \%$); калибратор многофункциональный TRX-II-R (диапазон воспроизведения сопротивления от 0 до 400 Ом, погрешность не более $\pm (0,005 \%$ от показаний $+0,008 \%$ от диапазона $+ 1 \text{ ед.мл.р.}$), диапазон воспроизведения напряжения постоянного тока от минус 10 до 100 мВ, погрешность не более $\pm (0,003 \%$ от показаний $+0,004 \%$ от диапазона $+1 \text{ ед.м.р.}$), диапазон воспроизведения напряжения постоянного тока от 0 до 12 В, погрешность не более $\pm (0,004 \%$ от показаний $+ 0,002 \%$ от диапазона $+1 \text{ ед.мл.р.}$), диапазон воспроизведения силы постоянного тока от 0 до 24 мА, погрешность не более $\pm (0,012 \%$ $+1 \text{ ед. мл.р.}$); магазин сопротивлений R4831 (диапазон воспроизведения сопротивления от 0,002 до 11111,10 Ом; класс точности $0,02/2 \cdot 10^{-6}$); калибратор температуры FLUKE серия 500, модель 518 (диапазон воспроизведения температуры от минус 30 до 670 °С, погрешность не более $\pm 0,25 \text{ }^\circ\text{C}$); датчик весоизмерительный тензорезисторный серии «С» (наибольший предел измерений 196 кН, погрешность не более $\pm 0,05 \%$); генератор сигналов низкочастотный прецизионный ГЗ-110 (диапазон воспроизведения частоты от 0,01 Гц до 10 МГц, погрешность не более $\pm 5 \cdot 10^{-5} \%$); вибропреобразователь ускорения 8305 (чувствительность 0,125 пКл/м·с², погрешность не более $\pm 3 \%$); головка оптическая делительная ОДГЭ-20 (диапазон воспроизведения от 0 до 360°, погрешность не более $\pm 15''$); генератор сигналов низкочастотный ГЗ-117 (диапазон воспроизведения частот от 20 Гц до 200 кГц, погрешность не более $\pm (2 \cdot 10^{-5} f + 0,01) \%$); вольтметр универсальный цифровой В7-38 (диапазон измерений напряжения переменного тока на частотах от 40 Гц до 10 кГц от 10 мкВ до 300 В, погрешность не более $\pm (0,05 + 0,1 U_n / U_x) \%$).

Межповерочный интервал – 3 года для ИК расхода топлива, 2 года - для ИК силы от тяги, 1 год – для остальных ИК.

Нормативные и технические документы

ГОСТ РВ 20.39.304-98.

ГОСТ 8.596-2002 ГСИ. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения

ОСТ 1 01021-93 Стенды испытательные авиационных газотурбинных двигателей. Общие требования.

Заключение

Тип системы измерительной СИ-1/ГТД-96 утвержден с техническими и метрологическими характеристиками, приведенными в настоящем описании типа, метрологически обеспечен в эксплуатации.

Изготовитель

ОАО «УМПО»,
450039, г.Уфа, ул.Ферина, 2

Технический директор
ОАО «УМПО»



С.П. Павлинич