

1343

СОГЛАСОВАНО

Начальник ГЦИ СИ «Воентест» 32 ГНИИ МО РФ



А. Ю. Кузин

2007 г.

Система измерительная СИ-3/ГТД	Внесена в Государственный реестр средств измерений Регистрационный № <u>35120-07</u> Взамен № _____
--------------------------------	---

Изготовлена в соответствии с технической документацией ОАО «ММП им. В.В.Чернышева», г. Москва, заводской номер 001.

### Назначение и область применения

Система измерительная СИ-3/ГТД (далее - ИС) предназначена для измерений параметров газотурбинных двигателей (ГТД): давления жидкостей и газов; температуры жидкостей и газов, напряжения постоянного тока; частоты вращения роторов; силы от тяги; параметров вибрации корпуса ГТД.

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

### Описание

Принцип работы ИС заключается в измерении параметров ГТД датчиками физических величин, преобразовании их в электрические сигналы, преобразовании электрических сигналов в цифровой код с помощью измерительно-вычислительных комплексов (ИВК) МІС-400 и передаче цифровой информации в персональный компьютер (ПК) для дальнейшего её использования в автоматизированной системе управления технологическим процессом испытания (АСУ ТП).

Функционально система состоит из 8 измерительных подсистем, включающих в себя измерительные каналы (ИК):

- подсистемы измерения силы от тяги;
- подсистемы измерения частоты вращения роторов;
- подсистемы измерения температуры (с термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК) и напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температуры;
- подсистемы измерения температуры (с термопреобразователями сопротивления ТСП, ТСМ);
- подсистемы измерения давления;
- подсистемы измерения расхода топлива;
- подсистемы измерения расхода воздуха;
- подсистемы измерения параметров вибрации.

Конструктивно ИС включает в себя ИВК МІС-400, представляющий собой конструкцию крейтового типа с установленными в ней модулями, соединенными с датчиками физических величин, а также с внешними устройствами преобразователей и нормализаторов сигналов датчиков линиями связи длиной до 40 м, и ПК операторской станции со средой обмена данными в сечении ЛВС Ethernet.

По условиям эксплуатации ИС удовлетворяет требованиям гр.1.1 УХЛ по ГОСТ РВ 20.39.304-98 с диапазоном рабочих температур от 10 до 30 °С и относительной влажностью воздуха до 80 % при температуре 25 °С без предъявления требований к механическим воздействиям.



### *Подсистема измерения силы от тяги*

Принцип действия подсистемы основан на воздействии силы от тяги ГТД через динамометрическую платформу на тензометрический силоизмеритель, вследствие чего происходит разбалансировка его тензометрического моста, выходной сигнал которого, пропорциональный приложенной силе, поступает на устройство согласования с объектом (УСО) ИВК МІС-400, где преобразуется в цифровой код, регистрируемый затем ПК.

### *Подсистема измерения частоты вращения роторов*

Принцип действия подсистемы основан на законе электромагнитной индукции. При каждом прохождении «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 УСО ИВК МІС-400, преобразуются им в цифровой код и поступают на ПК, где по программе вычисляется значение измеряемой частоты вращения.

### *Подсистема измерения температуры (с термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК) и напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температуры*

Принцип действия подсистемы измерения температуры (с термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК) основан на зависимости термо-ЭДС, возникающей в термоэлектродных проводах от разности температур между «горячими» и «холодными» спаями.

Сигнал термо-ЭДС поступает на УСО ИВК МІС-400 и далее в виде цифрового кода - в ПК, где по индивидуальной функции преобразования ИК и по номинальной статической характеристике преобразования термопар ХА, ХК с учетом температуры «холодного» спая определяется значение измеренной температуры.

Принцип действия подсистемы измерения напряжения постоянного тока, соответствующего значениям измеряемой температуры, основан на преобразовании с помощью УСО ИВК МІС-400 напряжения в цифровой код с последующим вычислением по программе ПК измеряемого напряжения с использованием индивидуальной функции преобразования ИК.

### *Подсистема измерения температуры (с термопреобразователями сопротивления ТСП, ТСМ)*

Принцип действия подсистемы основан на зависимости изменения сопротивления термопреобразователя от температуры среды. Сигнал, пропорциональный изменению сопротивления, преобразуется с помощью УСО ИВК МІС-400 в цифровой код, поступающий в ПК, где по индивидуальной функции преобразования ИК и по номинальной статической характеристике преобразования ТСП, ТСМ вычисляется значение температуры.

### *Подсистема измерения давления*

Принцип действия основан на зависимости выходного электрического сигнала датчиков давления (напряжение или частота) от воздействия измеряемого давления на чувствительный элемент датчика. Электрический сигнал датчика преобразуется УСО ИВК МІС-400 в цифровой код, регистрируемый ПК.

### *Подсистема измерения расхода топлива*

Принцип действия подсистемы основан на измерении массового расхода топлива кориолисовым датчиком расхода. При прохождении топлива через измерительные (расходомерные) трубки сенсора расходомера в них возникают кориолисовы силы, вызывающие фазовое смещение колебаний противоположных сторон трубок, измеряемое с помощью детекторов скорости. Сигнал с детекторов поступает на измерительный преобразователь, с выхода которого аналого-



вый токовый сигнал (4-20) мА подается на вход УСО ИВК МІС-400, где преобразуется в цифровой код, и затем по программе ПК вычисляется массовый расход топлива.

#### *Подсистема измерения расхода воздуха*

Принцип действия подсистемы основан на использовании уравнения Бернулли, устанавливающего зависимость между изменением скоростного напора и перепадом давления на сужающем устройстве, расположенном на входе в ГТД, и последующем расчете 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 конструкторской документации.

#### *Подсистема измерения параметров вибрации*

Принцип действия подсистемы основан на использовании пьезоэлектрических датчиков вибрации, преобразующих виброскорость корпуса ГТД в электрический заряд, поступающий на виброаппаратуру ИВ-Д-СФ-3М. Выходное напряжение постоянного тока виброаппаратуры, пропорциональное амплитуде виброскорости на частотах роторных гармоник двигателя, преобразуется УСО ИВК МІС-400 в цифровой код, поступающий в ПК, где по программе вычисляется значение амплитуды виброскорости.

### **Основные технические характеристики**

#### *Подсистема измерения силы тяги*

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности
Сила от тяги (количество каналов: - 1 рабочий; 1 – контрольный)	от 0 до 10000 кгс	$\pm 0,5$ % от измеряемой величины (ИВ) в диапазоне от 0,5 до 1,0 верхнего предела (ВП) $\pm 0,5$ % от ВП в диапазоне от 0 до 0,5 ВП ( ВП= 10000 кгс)

#### *Подсистема измерения частоты вращения роторов*

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений,	Пределы допускаемой погрешности
Частота вращения роторов	Вентилятора ( $n_v$ )	от 300 до 3200 Гц $\pm 0,15$ % от ВП ВП = 3200 Гц
	Компрессора ( $n_k$ )	от 300 до 3700 Гц $\pm 0,15$ % от ВП ВП = 3700 Гц

*Подсистема измерения температуры (с термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК) и напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температуры*  
*Подсистема измерения температуры (с термопреобразователями сопротивления ТСП, ТСМ)*

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности
Температура воздуха за вентилятором ( $T^*_{в}$ ) (количество каналов -14)	от 273 до 473 К	$\pm 1$ % от ВП
Температура воздуха за компрессором ( $T^*_{к}$ ) (количество каналов - 8)	от 273 до 873 К	$\pm 1$ % от ВП

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности
Температура газа за турбиной по термопаре с открытым спаем ( $t^*4$ ос)	от 273 до 1273 К	$\pm 1\%$ от ВП
Температура газа за турбиной –измерение поля температур ( $t^*4$ п) (количество каналов – 14)	от 273 до 1173 К	$\pm 1\%$ от ВП
Температура масла на входе в двигатель ( $t_{м\text{ вх}}$ )	от 0 до 150 °С	$\pm 1,5\%$ от НЗ (НЗ – нормированное значение, НЗ=150 °С)
Температура масла на выходе из двигателя ( $t_{м\text{ вых}}$ )	от 0 до 200 °С	$\pm 1,5\%$ от НЗ (НЗ=200 °С)
Температура воздуха на входе в двигатель ( $t^*\text{вх}$ ) (количество каналов – 6)	от 223 до 323 К	$\pm 0,5\%$ от ИВ
Температура воздуха на входе в двигатель на режимах с подогревом воздуха ( $t^*\text{вх г}$ ) (количество каналов – 8)	от 223 до 523 К	$\pm 0,5\%$ от ИВ
Температура холодного спая	от 273 до 323 К	$\pm 0,5\%$ от ИВ
Температура топлива на входе в насос ДЦН ( $t_{т\text{ вх}}$ )	от минус 30 до 65 °С	$\pm 1,5\%$ от НЗ НЗ=95 °С
Температура корпуса электродвигателя пускового маслонасоса ( $t_{к\text{ пн}}$ )	от 0 до 100 °С	$\pm 1,5\%$ от НЗ НЗ=100 °С
Температура масла на выходе из КСА ( $T_{м\text{ вых кса}}$ )	от 0 до 200 °С	$\pm 1,5\%$ от НЗ НЗ=200 °С
Напряжение постоянного тока, соответствующее значениям температур, измеряемых с помощью преобразователей ХА (количество каналов-12)	от 0 до 50 мВ	$\pm 0,2\%$ от ВП

*Подсистема измерения давления*

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности
Атмосферное давление	от 95,83 до 106,48 кПа (от 720 до 800 мм рт. ст.)	$\pm 66$ Па ( $\pm 0,5$ мм рт.ст.)
Избыточное давление масла на входе в двигатель ( $P_{м\text{ вх}}$ )	от 0 до 0,65 МПа (от 0 до 6,5 кгс/см <sup>2</sup> )	$\pm 1,0\%$ от НЗ НЗ=0,65 МПа
Избыточное давление топлива на входе в насос ДЦН ( $P_{т\text{ вх}}$ )	от 0 до 0,3 МПа (от 0 до 3,0 кгс/см <sup>2</sup> )	$\pm 1,0\%$ от НЗ НЗ=0,3 МПа
Избыточное давление топлива в основном контуре форсунок основной камеры сгорания ( $P_{т\text{ 2}}$ )	от 0 до 6 МПа (от 0 до 60 кгс/см <sup>2</sup> )	$\pm 1,0\%$ от НЗ НЗ=0,6 МПа
Избыточное давление топлива в дополнительном контуре форсунок основной камеры сгорания ( $P_{т\text{ 1}}$ )	от 0 до 3,5 МПа (от 0 до 35 кгс/см <sup>2</sup> )	$\pm 1,0\%$ от НЗ НЗ=3,5 МПа
Избыточное полное давление воздуха за вентилятором ( $P_{в^*}$ ) (количество каналов-14)	от 0 до 0,35 МПа (от 0 до 3,5 кгс/см <sup>2</sup> )	$\pm 0,5\%$ от ВП ВП=0,35 МПа
Избыточное статическое давление воздуха	от 0 до 2,5 МПа	$\pm 0,5\%$ от ВП



Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности
за компрессором (Рк) (количество каналов-2)	(от 0 до 25 кгс/см <sup>2</sup> )	ВП=2,5 МПа
Избыточное давление потока воздуха за компрессором (**Рк) (количество каналов-4)	от 0 до 2,5 МПа (от 0 до 25 кгс/см <sup>2</sup> )	± 0,5 % от ВП ВП=2,5 МПа
Избыточное полное давление потока газа за ТНД (Р4*)	от 0 до 0,35 МПа (от 0 до 3,5 кгс/см <sup>2</sup> )	± 0,5 % от ВП ВП=0,35 МПа
Избыточное давление потока воздуха за редуционно-отсечным клапаном противообледенительной системы (Рпос)	от 0 до 0,6 МПа (от 0 до 6 кгс/см <sup>2</sup> )	± 0,5 % от ВП ВП=0,6 МПа
Избыточное давление масла на входе в турбостартер (Рм вх тс)	от 0 до 0,6 МПа (от 0 до 6 кгс/см <sup>2</sup> )	± 1,0 % от НЗ=0,6 МПа
Избыточное давление масла на смазку КСА (Рм кса)	от 0 до 0,6 МПа (от 0 до 6 кгс/см <sup>2</sup> )	± 1,0 % от НЗ=0,6 МПа
Перепад между полным давлением на входе РМК и статическим давлением в мерном сечении (количество каналов-2)	от 0 до 20 кПа (от 0 до 2000 мм вод. ст.)	±0,5 % от ИВ в диапазоне от 0,5 до 1,0 ВП
Перепад между атмосферным давлением и полным давлением на входе в РМК (количество каналов-2)	от 0 до 1,6 кПа (от 0 до 160 мм вод. ст.)	40 Па (5 мм вод.ст.)

*Подсистема измерения расхода топлива*

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности
Массовый расход топлива	от 350 до 20000 кг/ч	±0,5 % от ИВ в диапазоне от 0,5 до 1,0 ВП ±0,5 % от ВП в диапазоне от 0 до 0,5 ВП

*Подсистема измерения расхода воздуха*

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности
Массовый расход воздуха (количество каналов-2)	от 58 до 83 кг/с	±0,7 % от ИВ

*Подсистема измерения параметров вибрации*

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности
Виброскорость двигателя в контрольных точках в диапазоне частот от 10 до 1000 Гц (количество каналов-2)	от 5 до 100 мм/с	± 10 % от ВП

### Общие характеристики

Потребляемая мощность, кВ·А, не более .....	0,5.
Габаритные размеры (длина x ширина x высота), мм, не более .....	465 × 435 × 200.
Масса, кг, не более .....	150.
Параметры питания:	
- напряжение переменного тока, В.....	220 ± 22;
- частота переменного тока, Гц .....	50±1.
Рабочие условия эксплуатации:	
в помещении пультовой:	
- 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 .....	10.
Средняя наработка на отказ, ч .....	10000.

### Знак утверждения типа

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

### Комплект поставки

В комплект поставки входят: комплект измерительной аппаратуры, комплект датчиков физических величин, персональный компьютер, программное обеспечение, комплект кабелей и соединителей, комплект эксплуатационной документации, методика поверки.

### Поверка

Поверка ИС осуществляется в соответствии с документом «Система измерительная СИ-2/ГТД. Методика поверки. 550.80.849.00077 МП», утвержденным начальником ГЦИ СИ «Воентест» 32 ГНИИИ МО РФ в мае 2007 г. и входящим в комплект поставки.

Средства поверки: манометры избыточного давления грузопоршневые МП-6, МП-60 и МП-600 (кл.т. 0,05); калибратор давления DPI, мод. 610 (кл.т. 0,025); прибор для поверки вольтметров программируемый В1-13 (погрешность не более  $5 \cdot 10^{-5} \cdot U_k + 40$  мкВ в диапазоне от 10 мкВ до 10В), погрешность не более  $1 \cdot 10^{-4} I_k + 1$  мкА в диапазоне от 100 нА до 100 мА); генератор сигналов низкочастотный прецизионный ГЗ-110 (погрешность не более  $\pm 3 \cdot 10^{-5} \%$ ); магазин сопротивления МСР-60М (кл.т.0,02/2·10<sup>-5</sup>); датчик весоизмерительный тензорезисторный серии «С» (наибольший предел измерений 20 т, погрешность не более  $\pm 0,04 \%$ ); вибропреобразователь ускорения 8305 (чувствительность 0,125 пКл/м·с<sup>2</sup>, погрешность не более  $\pm 3 \%$ ); калибратор температуры Fluke серии 500, модель 518 (погрешность не более  $\pm 0,25$  °С); преобразователь измерительный температуры и влажности ИПТВ-056/МЗ (диапазон измерений температуры от минус 40 до 110°С, диапазон измерений влажности от 0 до 100 %, погрешность измерений температуры не более  $\pm 0,4$  °С; погрешность измерений влажности не более  $\pm 2 \%$ ); барометр рабочий сетевой БРС-1М-2 (диапазон измерений давления от 600 до 1100 гПа, погрешность не более  $\pm 20$  Па).

Межповерочный интервал – 1 год.



### **Нормативные и технические документы**

ГОСТ РВ 20.39.304-98 Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования стойкости к внешним воздействующим факторам.

ГОСТ 8.596-2002 ГСИ. Системы измерительные. Метрологическое обеспечение. Основные положения.

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

### **Заключение**

Тип системы измерительной СИ-3/ГТД утвержден с техническими и метрологическими характеристиками, приведенными в настоящем описании типа, метрологически обеспечен в эксплуатации.

### **Изготовитель**

ОАО «ММП им. В.В.Чернышева»,

Адрес: 125362, г. Москва, Северо-Западный округ, ул. Вишневая, д.7.

Технический директор ОАО «ММП им. В.В.Чернышева»

А.Г. Пайкин