

1172

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Главный метролог ФГУП
«Завод им.В.Я. Климова»

Начальник ГЦИ СИ «Воентест»
32 ГНИИ МО РФ

_____ В.М. Иванов



_____ А.Ю. Кузин

« _____ » _____ 2006 г

« 31 » 07 _____ 2006 г

**Системы измерительные
стендов для испытаний газотурбинных двигателей СИ-РД33**

Методика поверки

061.046.06МП

2006 г

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
1 Операции поверки	6
2 Средства поверки	7
3 Требования безопасности	9
4 Условия поверки	10
5 Подготовка к поверке	11
6 Проведение поверки	12
6.1 Внешний осмотр	12
6.2 Загрузка компьютерной программы	12
6.3 Опробование ИК	12
6.4 Установление способов и параметров поверки	13
6.5 Поверка ИК подсистемы измерения давления и напряжения постоянного тока, соответствующего значениям давления	14
6.6 Поверка ИК подсистемы измерения температуры (с термопреобразователями сопротивления ТСП, ТСМ) и сопротивления постоянному току, соответствующего значениям температуры	15
6.7 Поверка ИК подсистемы измерения температуры (с термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК) и напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температуры	16
6.8 Поверка ИК подсистемы измерения частоты вращения роторов	18
6.9 Поверка ИК подсистемы измерения расхода топлива	18
6.10 Поверка ИК подсистемы измерения силы от тяги	18
6.11 Поверка ИК подсистемы измерения расхода воздуха	21
6.12 Поверка ИК подсистемы измерения параметров вибрации и напряжения постоянного тока, соответствующего значениям параметров вибрации	21

6.13	Поверка ИК подсистемы измерения угловых перемещений и напряжения постоянного тока, соответствующего значениям угла перемещения	22
6.14	Поверка ИК подсистемы измерения интервалов времени	23
6.15	Определение характеристик чувствительности к влияющим величинам	24
7	Обработка результатов поверки	25
8	Оформление результатов поверки	34
	Приложение А. Основные метрологические характеристики СИ-РД33	35
	Приложение Б. Значения коэффициента Стьюдента-Фишера в зависимости от числа степеней свободы при доверительной вероятности $P=0,95$	38
	Приложение В. Протокол №.....определения погрешностей и диапазонов измерений ИК подсистемы измеренияизмерительной системы СИ-РД33 стенда № ... для испытаний газотурбинного двигателя ФГУП «Завод им. В.Я.Климова»	39
	Приложение Г. Свидетельство о поверке № (Форма)	41

ВВЕДЕНИЕ

1.1 Настоящая методика поверки устанавливает порядок, методы и средства проведения первичной и периодической поверок ИК измерительных систем

СИ-РД33 стендов для испытаний газотурбинных двигателей, принадлежащих ФГУП «Завод им.В.Я. Климova» и предназначенной для испытаний ГТД РД 33 и его модификаций на стендах № 1, 2, 3.

МП разработана в соответствии с требованиями: ОСТ 1 01021-93, ГОСТ 8.009-84, ГОСТ 8.207-76, ПР 50.2.006-94, МИ 2083-90.

ИС представляются на поверку со следующими комплектами технической документации: Формуляром. Руководством по эксплуатации. Методикой поверки.

Поверка измерительных каналов (ИК) ИС осуществляется двумя способами:

- комплектным способом, при котором проводится градуировка всего ИК и по результатам определяются его метрологические характеристики как единого целого;
- поэлементным, при котором проводится поверка (градуировка) отдельных частей ИК. Погрешность ИК определяется суммированием погрешностей его отдельных частей.

Обработка результатов поверки ИК при прямых измерениях проводится в соответствии с ГОСТ 8.207-76.

Обработка результатов поверки ИК при косвенных измерениях проводится в соответствии с МИ 2083-90.

Периодичность поверки ИС:

- подсистема измерения силы тяги-1 раз в два года;
- остальные подсистемы-1 раз в год.

1.2 Нормативные ссылки:

- ОСТ 1 01021-93 Стенды для испытаний авиационных ГТД в наземных условиях. Общие технические требования;
- ПР 50.2.006-94 ГСИ Порядок проведения поверки средств измерений;
- ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений;
- ГОСТ 8.207-76 ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.
- МИ 2083-90 ГСИ Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей;
- МИ-187-86 ГСИ Средства измерений. Критерии достоверности и параметры методик поверки;
- МИ188-86 ГСИ Средства измерений. Установление значений параметров методик поверки;
- ГОСТ 6651-94 Термопреобразователи сопротивления. Общие технические требования и методы испытаний;
- ГОСТ Р 8.585-2001 ГСОЕИ Термopары. Номинальные статические характеристики преобразования;
- ОСТ 1 02677-89 Силоизмерительные системы испытательных стендов авиационных двигателей. Общие требования к поверочным и стендовым градуировочным устройствам;

- ОСТ 1 02555-85 Система измерения расхода воздуха с коллектором на входе авиационных ГТД при стендовых испытаниях;
- ЛТКЖ.411528.019 Д1 Устройство измерительно-управляющее УИУ 2002. Методика поверки;
- ЖЯИУ. 421431.003 МП Аппаратура измерения роторных вибраций ИВ-Д-СФ-3М. Методика поверки;
- ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
- ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ Электробезопасность. Защитное заземление, зануление;
- ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов;
- ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность.

1.3 Принятые в документе сокращенные обозначения:

- ГТД – газотурбинный двигатель;
- МП - методика поверки;
- УИУ – устройство измерительно-управляющее;
- АИИС – автоматизированная информационно-измерительная система;
- ИК - измерительный канал;
- ИС - измерительная система;
- ПП - первичный преобразователь;
- ИРП – измерительно-регистрационный прибор;
- ДМП – динамометрическая платформа;
- СИС – силоизмерительная система;
- СГУ - стендовое градуировочное устройство;
- РЭ - рабочий эталон;
- ТДР, ТПР - турбинный преобразователь расхода жидкости;
- РМК - расходомерный коллектор;
- НСП – неисключенная систематическая погрешность;
- СКО – среднее квадратическое отклонение;
- НСХП – номинальная статическая характеристика преобразования;
- МХ – метрологические характеристики;
- R_{max} - максимальная сила, измеряемая СИС;
- ВП – верхний предел измерений;
- ИЗ - измеренное значение;
- НЗ - нормированное значение.

1 ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ

1.1. При проведении первичной и периодической поверок ИК должны выполняться операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1

Наименование операции	Номер пункта МП	Проведение операции	
		Первичная поверка	Периодическая поверка
1	2	3	4
1 Внешний осмотр	6.1	да	да
2 Загрузка компьютерной программы	6.2	да	да
3 Опробование.	6.3	да	да
4 Установление способов и параметров поверки	6.4	да	да
5 Поверка ИК	6.5...6.14	да	да
6 Определение характеристик чувствительности к влияющим величинам	6.15	да	нет
7 Обработка результатов поверки	7.1...7.8	да	да

2 СРЕДСТВА ПОВЕРКИ

2.1. При проведении поверки используются рабочие эталоны и вспомогательные средства поверки, приведенные в таблице 2.

Таблица 2.

<i>Номер пункта документа по поверке</i>	<i>Наименование и тип (условное обозначение) основного или вспомогательного средства поверки; обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования, и (или) метрологические и основные характеристики средства поверки</i>
6.5	Портативный калибратор давления Метран-501-ПКД-Р, диапазон воспроизведения давления от минус 0,063 до 600 кгс/см ² , погрешность не более $\pm 0,05\%$ от ВП Манометр абсолютного давления МАД-3М (диапазон воспроизведения от 2 до 20000 мм рт. ст., погрешность не более $\pm 0,1$ мм рт. ст.)
6.5	Калибратор программируемый П320: диапазон воспроизведения напряжения от 0 до 10 В, погрешность не более $\pm(10U_k+40)$ мкВ; диапазон воспроизведения силы тока от 0 до 20 мА, погрешность не более $\pm(0,05 \cdot I_k+1)$ мкА.
6.7	Калибратор-измеритель КИСС-03: диапазон от 0 до 100 мВ; погрешность не более $\pm(0,05+0,0075(U/U_k-1))$ %
6.6, 6.9, 6.11	Магазин сопротивлений Р4831: диапазон измерений от 0,002 до 111111,10 Ом; погрешность не более $0,02/2 \cdot 10^{-6}$.
6.6, 6.7	Калибратор температуры FLUKE серии 500, модель 518: диапазон измерений от минус 30 до 670 °С; погрешность не более $\pm 0,25$ °С.
6.10	Датчик весоизмерительный тензорезисторный С-2: наибольший предел измерений 20т, погрешность не более $\pm 0,04$ %.
6.10	Стендовое контрольно-поверочное градуировочное устройство рычажно-грузового типа по ОСТ 1 02677-89: диапазон воспроизведения силы от 0 до 100000 Н, погрешность не более $\pm 0,15$ %
6.8, 6.9	Генератор сигналов низкочастотный прецизионный ГЗ-110, диапазон воспроизведений частоты от 0,01 Гц до 2 МГц, погрешность не более $\pm 5 \cdot 10^{-5}$ %
6.9	Ареометр АНТ-1: диапазон измерений от 750 до 830 кг/м ³ ; погрешность не более $\pm 0,5$ кг/м ³ .
6.12	Вибропреобразователь 8305 фирмы «Брюль и Кьер»: частотный диапазон от 0,1 до 4500 Гц, чувствительность 0,125 пКл/м/с ² ; погрешность не более ± 3 %.
6.13	Оптическая делительная головка ОДГЭ-10: диапазон измерений от 0 до 360°, погрешность не более $\pm 20''$.
6.14	Генератор функциональный SFG-830: диапазон воспроизведений частоты от 20 мГц до 20 МГц; погрешность установки частоты не более $\pm 10^{-5}$.
5	Барометр рабочий сетевой БРС-1М-1: диапазон измерений от 600 до 1100 гПа (от 450 до 825 мм рт.ст.); погрешность не более ± 33 Па,

<i>Номер пункта документа по поверке</i>	<i>Наименование и тип (условное обозначение) основного или вспомогательного средства поверки; обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования, и (или) метрологические и основные характеристики средства поверки</i>
	($\pm 0,25$ мм рт.ст).
5	Измеритель влажности и температуры ИВТМ-7: диапазон измерений влажности от 10 до 98 %; погрешность не более $\pm 2,0$ %
5	Термометр стеклянный ртутный лабораторный ТЛ-4: диапазон измерений от 0 до 55 °С; погрешность не более $\pm 0,2$ °С.

2.2 При проведении поверки допускается применять другие средства измерений, удовлетворяющие по точности и диапазону измерения требованиям настоящей методики.

2.3 При поверке должны использоваться средства измерений утвержденных типов.

2.4 Используемые при поверке средства измерений должны быть поверены и иметь действующие свидетельства о поверке

3 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

При проведении поверки ИС необходимо соблюдать требования техники безопасности, предусмотренные «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей», «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» (изд.3), ГОСТ 12.1.019-79, ГОСТ 12.1.030.0-81, ГОСТ 12.1.038-82, ГОСТ 12.1.004-91 и требования безопасности, указанными в технической документации на применяемые эталоны и вспомогательное оборудование.

Кроме того, необходимо соблюдать следующие требования:

- к работе по выполнению поверки (калибровки) допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие аттестацию по технике безопасности и промышленной санитарии, ознакомленные с эксплуатационной документацией на стенд, с инструкцией по эксплуатации электрооборудования стенда и с настоящей методикой;
- электрооборудование стенда, а также электроизмерительные приборы, используемые в качестве средств поверки, должны быть заземлены, блоки питания должны иметь предохранители номинальной величины;
- работы по выполнению поверки ИС должны проводиться по согласованию с лицами, ответственными за эксплуатацию испытательного стенда.

4 УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ

Условия окружающей среды в испытательном боксе:

- температура воздуха, °С (К).....от 10 до 30 (от 283 до 303);
- относительная влажность воздуха, %..... не более 90;
- атмосферное давление, мм рт.ст. (кПа)..... от 720 до 800 (от 96 до 106,7).

Условия окружающей среды в помещении пультовой:

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

Питание электронных приборов и ЭВМ:

- напряжение питающей сети, В 220 ± 22 ;
- частота питающей сети, Гц..... 50 ± 1 .

Примечание. При проведении поверочных работ условия окружающей среды средств поверки (рабочих эталонов) должны соответствовать требованиям, указанным в их руководствах по эксплуатации.

5 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ

При подготовке к поверке проводят следующие работы:

- проверить комплектность технологической и эксплуатационной документации ИС;
- проверить наличие поверочных клейм, а также свидетельств о поверке на эталонные и вспомогательные средства поверки;
- подготовить к работе все приборы и аппаратуру согласно руководства по их эксплуатации 06Ц-07.00.00.38 РЭ;
- собрать схемы поверки ИК подсистем в соответствии с блок-схемами, приведенными в разделе 6 методики поверки 061.046.06МП, и проверить целостность электрических цепей;
- обеспечить оперативную связь оператора у монитора с оператором, задающим контрольные значения эталонных сигналов на входе ИК подсистем;
 - включить вентиляцию и освещение в испытательных помещениях;
 - включить питание измерительных преобразователей и аппаратуры ИС;
 - создать, проконтролировать и записать в протокол поверки условия проведения поверки.

6 ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ

6.1 Внешний осмотр

При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие ИС следующим требованиям:

- комплектность ИС должна соответствовать указанной в формуляре 2005Ц-007 ФО;
- маркировка ИС должна соответствовать требованиям эксплуатационной документации;
- наличие и сохранность пломб (согласно сборочным чертежам);
- измерительные средства, входящие в ИС СИ-РД33, не должны иметь внешних повреждений, которые могут влиять на работу ИС, при этом должно быть обеспечено надежное крепление соединителей и разъемов, отсутствие нарушений экранировки кабелей и качественное заземление.

6.2 Загрузка компьютерной программы

Комплектная и поэлементная поверка ИК ИС СИ-33РД осуществляется разными компьютерными программами, работающими в ОС Linux и ОС Windows соответственно.

При комплектной поверке загрузка компьютерной программы осуществляется в следующей последовательности:

- войти в каталог */das*;
- загрузить программу *calibr.tcl*;
- в открывшемся окне «Программа метрологических исследований» выбрать режим поверки, номера поверяемых каналов и описание поверки;
- в открывшемся окне проведения поверки отображается вся информация о поверке ИК.

При поэлементной поверке ИК ИС СИ-33РД загрузка компьютерной программы осуществляется в следующей последовательности:

- войти в директорию *C:\Program Files\METP_УИУ2002*;
- загрузить программу *MetrUIU.exe*;
- в открывшемся окне «Конфигурация УИУ» выбрать режим поверки и поверяемый модуль УИУ2002, и нажать мышкой по кнопке «Метрология»;
- в открывшемся окне «Метрология» выбрать номер ИК, тип датчика, тип градуировки.

Программа готова к проведению поверки.

Информация на всех этапах поверки отображается на дисплее.

6.3 Опробование ИК

При опробовании ИК проверяется правильность его функционирования.

Для этого необходимо подать на вход ИК с помощью рабочих эталонов минимальное контрольное значение эталонного физического параметра или имитирующего сигнала, а также значения равные 0,5ВП и 1,0ВП и наблюдать результаты измерений на экране монитора.

Убедиться в правильности функционирования ИК. Правильность функционирования проверяется выполнением следующего критерия:

$$\max |x_k - x| < \Delta,$$

где x_k – задаваемые эталонные значения физического параметра в k -той контрольной точке;

x – выведенный на экране монитора результат измерения физического параметра в k -той контрольной точке;

Δ - допускаемая абсолютная погрешность ИК.

6.4 Установление способов и параметров поверки

6.4.1 Установлены два способа поверки ИК ИС СИ-РД33:

комплектный и поэлементный.

Комплектная поверка ИК проводится по методике 061.046.06 МП.

При *поэлементном* способе поверки ИК проводится автономная *комплектная* поверка его части, включающей ПП в комплекте с ИРП, по установленным методикам поверки, а другая часть, включающая УСО УИУ-2002 и ПК поверяется *комплектно* в составе стендовой АИИС по методике поверки ЛТКЖ.411528.019 Д1, утвержденной ВНИИМ им. Д.И.Менделеева.

6.4.2 Градуировка ИК при *комплектной* поверке проводится в следующей последовательности.

Установить с помощью РЭ в диапазоне градуировки последовательно p контрольных точек (ступеней) входной величины x_k от x_0 до x_p (прямой ход) и p контрольных точек входной величины x_k от x_p до x_0 (обратный ход),

$$x_k = x_0 + ((x_p - x_0) / p) \times k,$$

где: k -номер ступени (контрольной точки), $k=0,1,2,\dots,p$;

x_0, x_p -нижний и верхний пределы диапазона измерений поверяемых каналов.

На каждой ступени при прямом и обратном ходе произвести m отсчетов измеряемой величины. Указанные циклы измерения (прямой и обратный ходы) повторить l раз. В результате в памяти компьютера запоминаются массивы значений выходной величины $y'_{икп}$ при прямом ходе и $y''_{икп}$ при обратном ходе,

где: i -номер градуировки; ($i=1,2,\dots,l$);

n -номер отсчета в каждой контрольной точке ($n=1,2,\dots,m$).

Примечание. Для ИК с пренебрежимо малой погрешностью вариации допускается обратные ходы градуировки не проводить.

Подход к выбору количества ступеней нагружения и количества наблюдений при проведении поверки измерительных каналов в общем виде изложен в методических указаниях МИ 187-86, МИ 188-86.

С учетом рекомендаций этих документов, а также исходя из опыта применения средств и методов измерений близких к используемым в СИ-РД-33 могут быть приняты следующие значения параметров p, l, m :

- для ИК подсистем измерения силы от тяги при первичной и периодической поверках: $p \geq 10$; $l \geq 5$; $m \geq 2$:

- для ИК остальных подсистем: при первичной поверке $p \geq 5$; $l \geq 5$; $m \geq 2$; при периодической поверке: $p \geq 5$; $l \geq 3$; $m \geq 2$

Принятые значения параметров p , l , m в дальнейшем могут быть скорректированы по результатам первичной и периодической поверок СИ-РД33.

6.4.3 Градуировка части ИК, включающей УСО УИУ 2002 и ПК, проводится в следующей последовательности:

- установить на входе УСО УИУ 2002 с помощью РЭ последовательно три контрольных значения входной величины x_k равные минимальному, среднему и максимальному значениям диапазона измерений;

- при каждом контрольном значении входной величины x_k произвести 80 отсчетов измеряемой величины

Примечание. При поверке ИК интервалов времени устанавливается одно контрольное значение времени равное 50 с.

6.5 Поверка ИК подсистемы измерения давления и напряжения постоянного тока, соответствующего значениям давления

6.5.1 Блок-схема комплектной поверки ИК подсистемы измерения давления приведена на рис.1

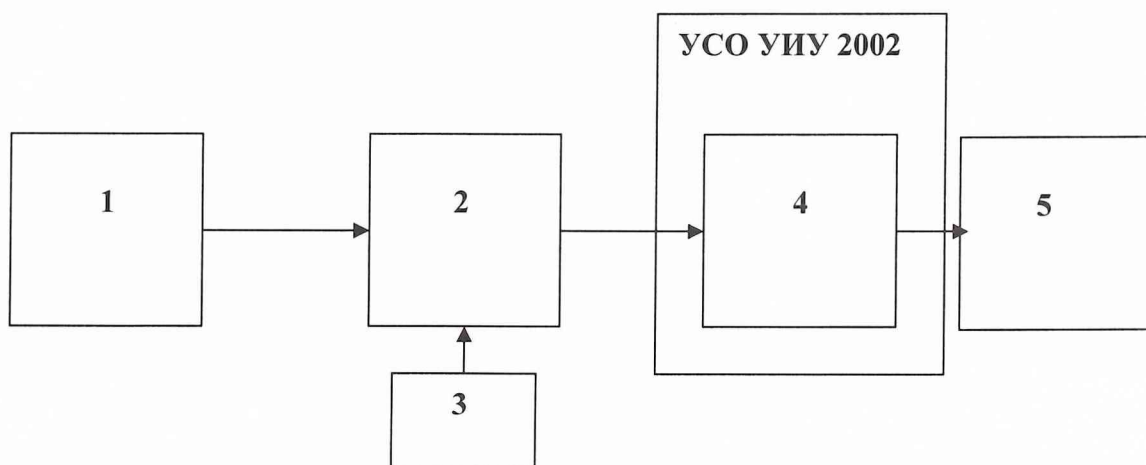


Рис.1

1- РЭ давления (МЕТРАН-501-ПКД-Р);

2 - датчики давления МИДА, МЕТРАН, САПФИР, ИКД;

3 - блок питания (22БП36, 4БП36, БП-КАРАТ-22, МИДА-БП-101, МИДА-БП -104);

4 - модуль измерительный МИ-1;

5 - ПК.

Поверку проводить в следующей последовательности.

Отсоединить вход первичного преобразователя давления от измерительной магистрали испытательного стенда и соединить его с РЭ давления. Провести градуировку ИК давления в соответствии с методикой раздела 6.4.2.

6.5.2 *Поэлементная* поверка ИК подсистемы измерения давления включает в себя:

- автономную поверку датчиков давления по установленным методикам;
- градуировку ИК напряжения постоянного тока по методике раздела 6.4.3 в соответствии с блок-схемой, приведенной на рис.2

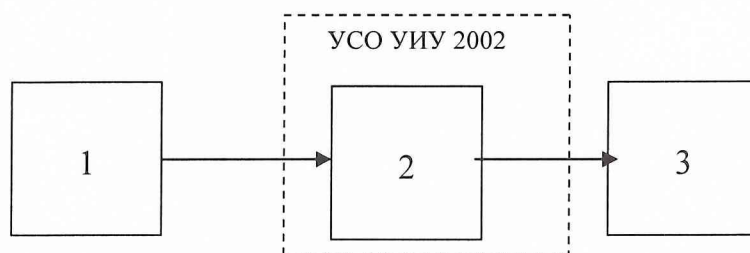


Рис.2

- 1 - РЭ (калибратор программируемый ПЗ20);
- 2- модуль измерительный МИ-1;
- 3 - ПК.

6.5.3 *Комплектная* поверка напряжения постоянного тока, соответствующего значениям давления, проводится согласно блок-схемы, приведенной на рис.2 по методике раздела 6.4.3.

6.6 *Поверка ИК подсистемы измерения температуры (с термопреобразователями сопротивления ТСП, ТСМ) и сопротивления постоянному току, соответствующего значениям температуры*

6.6.1 *Комплектная* поверки ИК подсистемы измерения температуры (с термопреобразователями сопротивления ТСМ, ТСП) проводится в соответствии с блок-схемой, приведенной на рис.3.

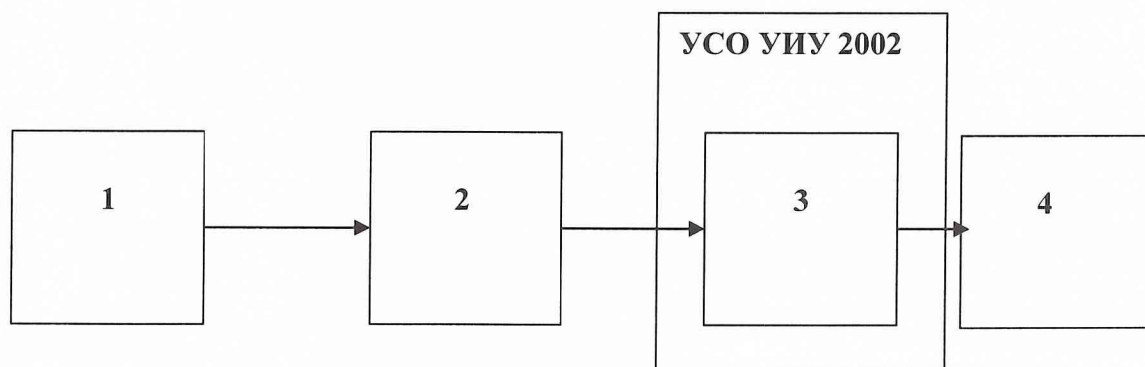


Рис. 3

- 1 – РЭ (калибратор температуры Fluke);
- 2 – термопреобразователь сопротивления ТСП (ТСМ);
- 3 - измерительный модуль МИ-1;
- 4 - ПК.

Провести градуировку ИК в соответствии с методикой раздела 6.4.2, задавая контрольные значения температуры с помощью РЭ Fluke.

6.6.2 *Поэлементная* поверка ИК подсистемы измерения температуры термопреобразователями сопротивления ТСМ, ТСП включает в себя:

- градуировку ИК сопротивления в соответствии с блок схемой, приведенной на рис. 4, по методике раздела 6.4.3. Для этого отсоединяют электрический кабель от термопреобразователя сопротивления, входящего в состав поверяемого ИК, и вместо термопреобразователя сопротивления подключают с помощью жгута-переходника к этому кабелю магазин сопротивлений Р4831. Значения эталонного сопротивления в контрольных точках термопреобразователя сопротивления берутся согласно ГОСТ 6651-94;

- определение суммарной погрешности ИК проводится с учетом НСП термопреобразователя сопротивления (ГОСТ 6651-94).

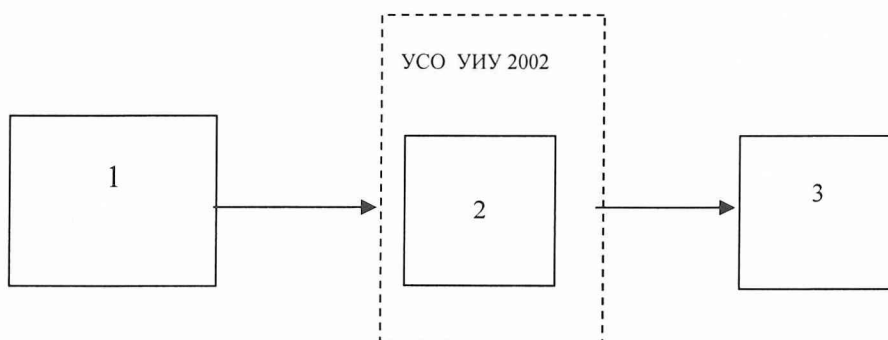


Рис.4

- 1 – РЭ (магазин сопротивлений Р4831);
- 2 - модуль измерительный МИ-1;
- 3 - ПК.

6.6.3 *Комплектная* поверка ИК сопротивления постоянному току, соответствующего значениям температуры, измеряемой термопреобразователями сопротивления ТСМ, ТСП, проводится согласно блок-схемы, приведенной на рис.4 по методике раздела 6.4.3.

6.7 *Поверка ИК подсистемы измерения температуры (с термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК) и напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температуры*

6.7.1 Блок-схема *комплектной* поверки ИК подсистемы измерения температуры термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК приведена на рис.5.

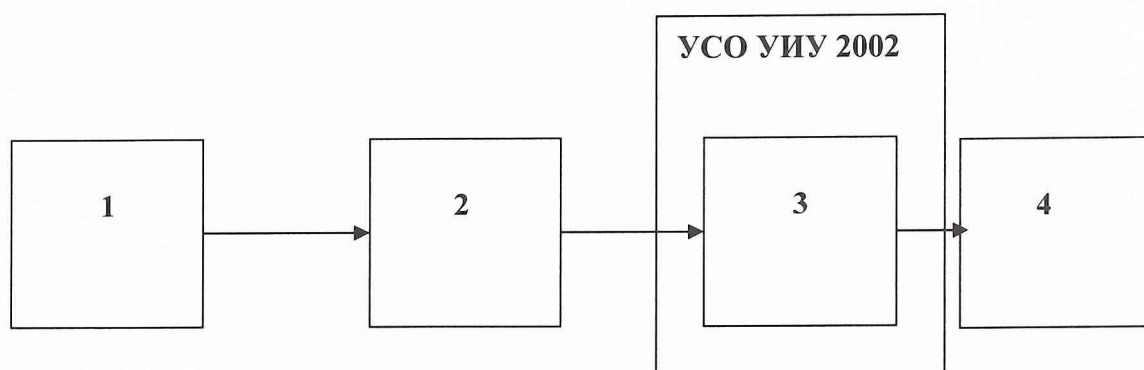


Рис. 5

- 1 – РЭ (калибратор температуры);
- 2 – термоэлектрический преобразователь ХА, ХК;
- 3 - модуль измерительный МИ-1;
- 4 – ПК.

Провести градуировку ИК в соответствии с методикой раздела 6.4.2, задавая контрольные значения РЭ температуры.

6.7.2 Поэлементная поверка ИК подсистемы измерения температуры термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК включает в себя:

- градуировку ИК температуры в соответствии с блок схемой, приведенной на рис. 6 по методике раздела 6.4.3. Для этого отсоединить провода термопары, входящей в состав поверяемого ИК, от клеммного блока и подключить вместо нее к клеммному блоку рабочий эталон. Провести градуировку ИК температуры в соответствии с методикой раздела 6.4.3. Значения эталонного напряжения, задаваемого в контрольных точках, рассчитываются для каждого типа термопар с помощью полинома или берутся согласно ГОСТ Р 8.585-2001;
- определение суммарной погрешности ИК проводится с учетом НСП термопар (ГОСТ Р 8.585-2001).

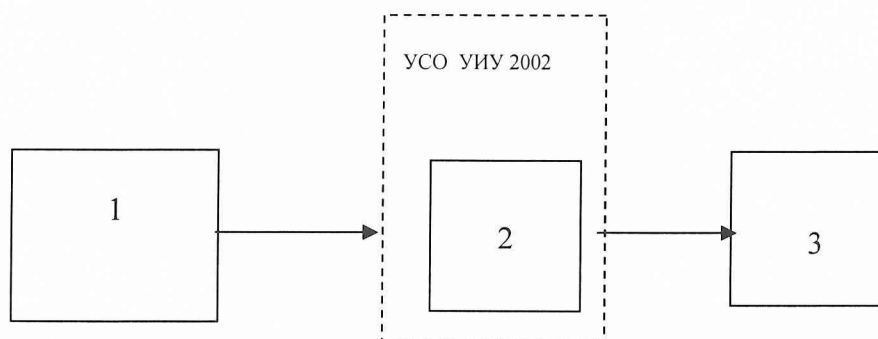


Рис.6

- 1 - РЭ (калибратор-измеритель стандартных сигналов КИСС-03);
- 2 – модуль измерительный МИ-1;
- 3 – ПК.

6.7.3 *Комплектная* поверка ИК напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температуры, измеряемой термоэлектрическими преобразователями ХА,ХК, производится согласно блок-схемы, приведенной на рис.6, по методике раздела 6.4.3.

6.8 Поверка ИК подсистемы измерения частоты вращения роторов

Блок-схема поверки ИК подсистемы измерения частоты вращения роторов приведена на рис.7.

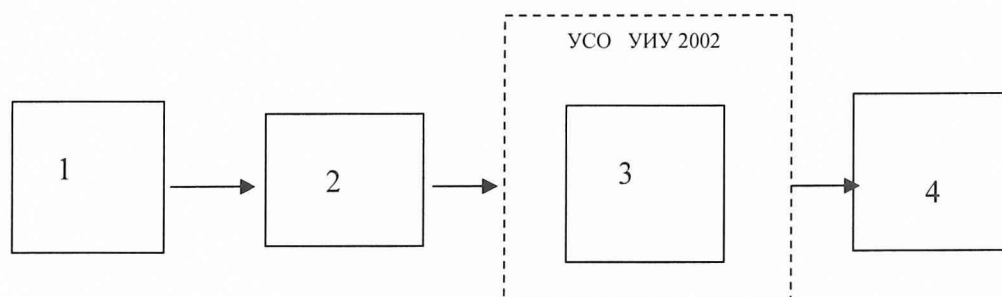


Рис.7

- 1 – РЭ (- генератор сигналов низкочастотный прецизионный ГЗ-110);
- 2 - блок преобразования частоты ПЧ-2;
- 3 - модуль частотный МЧ;
- 4 – ПК.

Поверку проводить в следующей последовательности.

Отсоединить электрический кабель поверяемого ИК от установленного на двигателе датчика частоты вращения и с помощью жгута-переходника подключить к этому кабелю генератор синусоидальных сигналов ГЗ-110. Провести градуировку ИК в соответствии с методикой раздела 6.4.3.

6.9 Поверка ИК подсистемы измерения расхода топлива

Поэлементная поверка ИК подсистемы измерения расхода топлива включает в себя:

- автономную поверку по установленным методикам преобразователей расхода топлива ТДР, ТПР, РС-СПА-П и ареометра АНТ- 1;
- *поэлементную или комплектную* поверку ИК температуры топлива по методике раздела 6.6;
- поверку ИК частоты выходного сигнала датчиков расхода топлива по методике раздела 6.8.

Обработка результатов поверки проводится в соответствии с МИ 2083-90.

6.10 Поверка ИК подсистемы измерения силы от тяги

Блок-схема поверки ИК подсистемы измерения силы тяги приведена на рис.8.

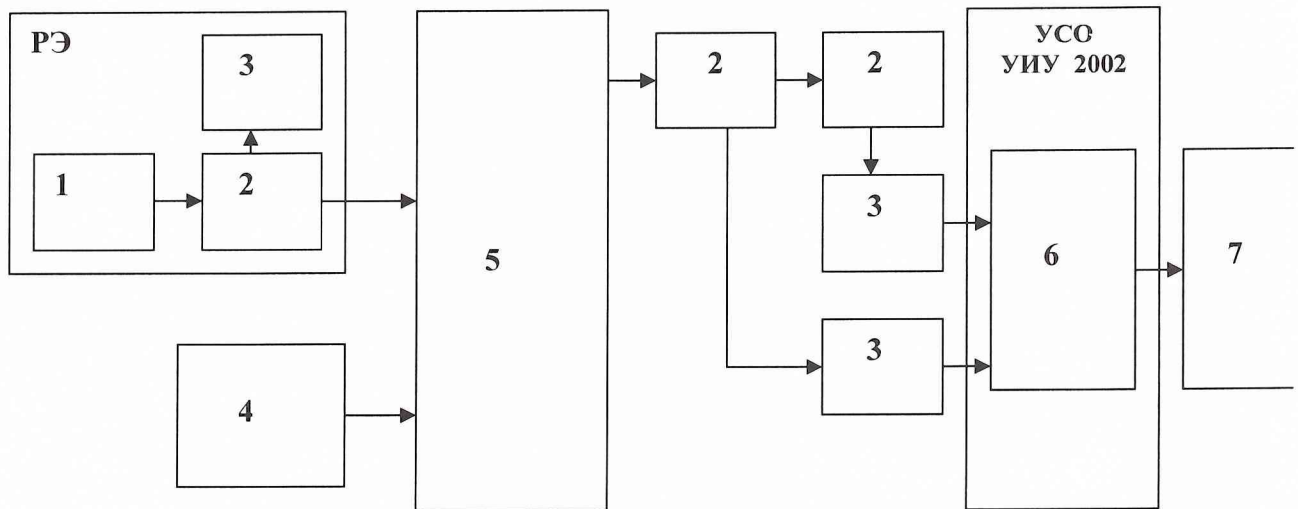


Рис.8

- 1 - гидронагружатель силы;
- 2 - датчик весоизмерительный тензорезисторный С2 (ДСТВ 2М);
- 3 - терминал весовой «ТВ-003/05Д»;
- 4 - СГУ;
- 5 - ДМП
- 6 - модуль измерительный МИ-1 (МИ-3);
- 7 – ПК;
- РЭ – рабочий эталон силы (ПГУ).

6.10.1 Определение порога реагирования СИС

Порог реагирования СИС определяется при действии на ДМП сил равных $0,1 R_{\max}$ и $1,0 R_{\max}$.

Порядок выполнения операции:

- приложить к ДМП при помощи СГУ последовательно силы $0,1 R_{\max}$ и $1,0 R_{\max}$;
- положить на грузоприёмное устройство СГУ плавно (без толчков) такое количество дополнительных гирь, при котором появляется реагирование показаний силы на экране монитора на одну-две единицы наименьшего разряда;
- снять дополнительные гири с грузоприёмного устройства СГУ и записать в протокол вес этих дополнительных гирь;
- повторить эксперимент с наложением гирь еще 4 раза.

6.10.2 Определение индивидуальной функции преобразования (градуировочной характеристики) и случайной составляющей основной погрешности СИС

- 1) Разгрузить СИС до условного нуля;

- 2) Нагрузить СИС до R_{max} и без выдержки разгрузить;
 - 3) Записать в протокол поверки время начала градуировки, температуру окружающего воздуха в боксе, в котором размещена СИС, и показания силоизмерительной системы при нагрузке, соответствующей условному нулю СИС.
 - 4) Задавая регулярную последовательность не менее чем из 11-ти контрольных значений силы (10 ступеней нагружения) от условного нуля до R_{max} (прямой ход) и от R_{max} до условного нуля (обратный ход), и, останавливаясь на каждой контрольной точке не менее чем на 15 секунд, произвести регистрацию показаний СИС и запись в протокол
 - 5) Повторить работы по пункту 4) ещё четыре раза;
Результаты градуировки занести в протокол.
- Примечание.* При градуировке СИС необходимо соблюдать следующие правила:
- считывание и регистрацию показаний СИС производить после успокоения их показаний;
 - при осуществлении нагружения (разгрузки) СИС не допускать переход через принятые контрольные точки градуировки и возврата к ним с противоположной стороны хода градуировки. В случае такого перехода следует разгрузить (нагрузить) СИС до значения силы, предшествующей данной контрольной точке, после чего нагрузить (разгрузить) СИС и выйти на необходимую контрольную точку;
 - перерыв между следующими друг за другом однократными градуировками не должен превышать 10 минут;

6.10.3 *Определение систематической составляющей основной погрешности СИС*

Систематическая составляющая основной погрешности СИС определяется путем сличения функций преобразования силоизмерительной системы, полученной в нормальных статических условиях при 5-ти кратной градуировке с помощью СГУ, с функцией преобразования полученной при 5-ти кратной градуировке с помощью РЭ силы. Для проведения 5-ти кратной градуировки СИС с помощью РЭ необходимо выполнить следующие операции:

- 1) Замкнуть силовую цепь РЭ;
 - 2) Нагрузить СИС гидронагружателем РЭ силой R_{max} и выдержать под нагрузкой не менее 3-х минут;
 - 3 Разгрузить СИС до нуля, разомкнуть силовую цепь РЭ и зарегистрировать нуль силоизмерительной системы;
 - 4 Замкнуть силовую цепь РЭ и повторить операции по п.п.2) и 3);
 - 5 Сравнить нулевые показания силоизмерительной системы, зарегистрированные при выполнении п.3) и 4).
- Если они отличаются не более $0,1\%R_{max}$, то можно приступить к градуировке СИС, в противном случае - повторить операции по п. 2) и 3) еще один-два раза;
- 6) Замкнуть силовую цепь РЭ и нагрузить СИС силой R_{max} ;
 - 7) Разгрузить СИС до нагрузки равной $(0,2...0,6)$ нагрузки, соответствующей первой контрольной точке;
 - 8) Задавая гидронагружателем РЭ последовательность контрольных значений силы от условного нуля до R_{max} , равным значениям силы по п.6.10.2. 4) и останавливаясь на каждой контрольной точке не менее чем на 15 секунд, произвести регистрацию показаний силоизмерительной системы;

9) После достижения нагрузки на СИС значения R_{max} произвести плавную, со скоростью не более 3% R_{max} за 1 с., разгрузку СИС до (0,2 ... 0,6) нагрузки, соответствующей первой контрольной точке;

10) Повторить операции по п.8) и 9) еще четыре раза;

11) После окончания 5-той градуировки разомкнуть силовую цепь РЭ и записать в протокол нулевые показания силоизмерительной системы, время окончания градуировки и температуру окружающего воздуха в боксе;

12) После предварительного анализа полученных результатов градуировки СИС демонтировать силоизмерительную цепь РЭ.

Примечание. Перед градуировкой и при градуировке СИС с помощью РЭ необходимо соблюдать следующие правила:

- РЭ должен быть выдержан в помещении, где производится поверка не менее 3-х часов для принятия им температуры окружающего воздуха в этом помещении;

- считывание и регистрацию показаний силоизмерительной системы производить по командам специалиста, работающего с РЭ;

- при осуществлении градуировки не допускать перехода через принятые контрольные значения силы и возврата к ним с противоположной стороны хода градуировки;

- не допускать перерыва между следующими друг за другом однократными градуировками более 10 минут;

- температура в боксе за период градуировки не должна изменяться более чем на $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

6.11 Поверка ИК подсистемы измерения расхода воздуха

Поэлементная поверка подсистемы измерения расхода воздуха включает в себя:

- *комплектную* поверку ИК давления воздуха на входе в РМК и перепада между полным давлением воздуха на входе в РМК и статического давления в мерном сечении по методике раздела 6.5.1;

- *комплектную или поэлементную* поверку подсистемы измерения температуры воздуха на входе в РМК по методике раздела 6.6;

- контроль геометрических параметров РМК на соответствие требованиям чертежа и ОСТ 1 02555-85.

Результат поверки определяется в соответствии с МИ 2083-90.

6.12 Поверка ИК подсистемы измерения параметров вибрации и напряжения постоянного тока, соответствующего значениям параметров вибрации

6.12.1 *Поэлементная* поверка ИК подсистемы измерения параметров вибрации включает в себя:

- автономную поверку аппаратуры измерения роторных вибраций

ИВ-Д-СФ-3М в комплекте с датчиками вибрации МВ-43-2Б,

МВ-38 и др. по методике поверки ЖЯИУ. 421431.003 МП.

- градуировку ИК напряжения постоянного тока, соответствующего параметрам вибрации, согласно блок-схемы, приведенной на рис.9. по методике раздела 6.4.3.

Для этого отсоединяют электрический кабель поверяемого ИК от выхода аппаратуры ИВДСФ-3М и с помощью жгута-переходника подключают к этому кабелю калибратор П-320.

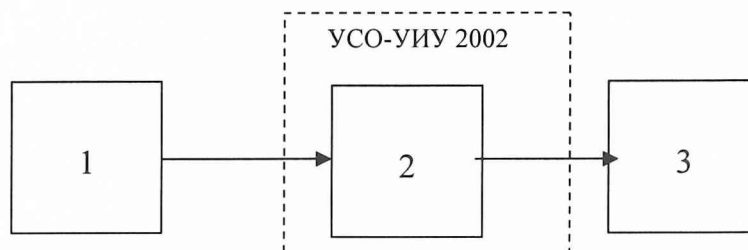


Рис.9

- 1 - РЭ (калибратор программируемый П320);
- 2- модуль измерительный МИ-1;
- 3 - ПК.

6.12.2 *Комплектная поверка ИК* напряжения постоянного тока, соответствующего значениям параметров вибрации, проводится согласно блок-схемы, приведенной на рис.9 по методике раздела 6.4.3.

6.13 *Поверка ИК подсистемы измерения угловых перемещений и напряжения постоянного тока, соответствующего значениям угла перемещения*

6.13.1 Блок-схема *комплектной поверки ИК подсистемы измерения угловых перемещений* приведена на рис.10.

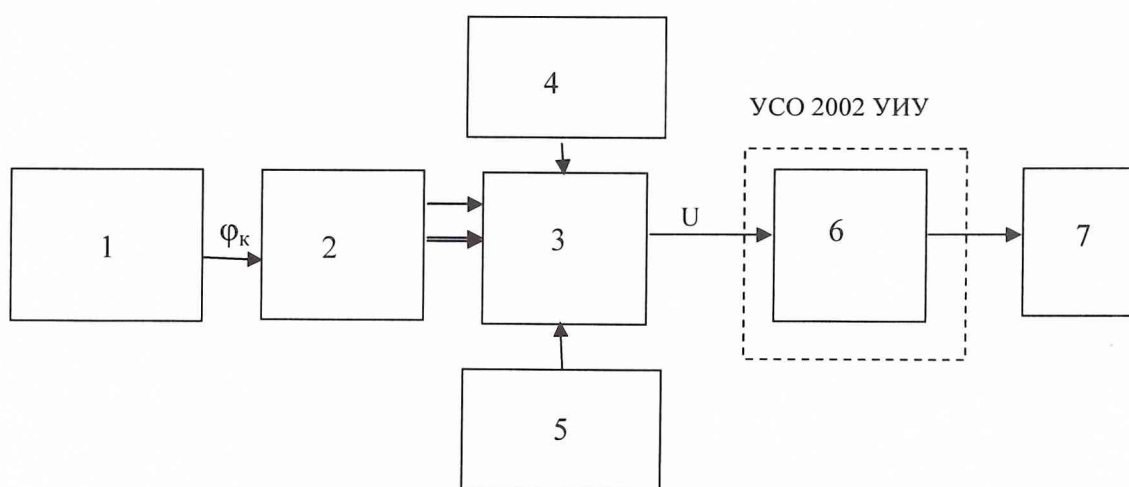


Рис.10

- 1 – РЭ (делительная головка ОДГЭ-20);
- 2 - сельсин - датчик ДС-11;
- 3 - сельсин-приемник БСС3 05;
- 4,5- блоки питания БП, БП ДС-11и БСС3-05;
- 6 - модуль измерительный МИ-1;
- 7 - ПК.

Поверку производить в следующей последовательности:

- установить сельсин-датчик на делительную головку;
- произвести подключения электрических коммуникаций согласно приведенной на рис.10 блок-схемы;
- провести градуировку ИК подсистемы угловых перемещений по методике раздела 6.4.2, устанавливая контрольные значения углов φ_k делительной головкой ОДГ-10.

6.13.2 Блок схема *комплектной* поверки ИК напряжения постоянного тока, соответствующего значениям угла перемещения, приведена на рис.11.

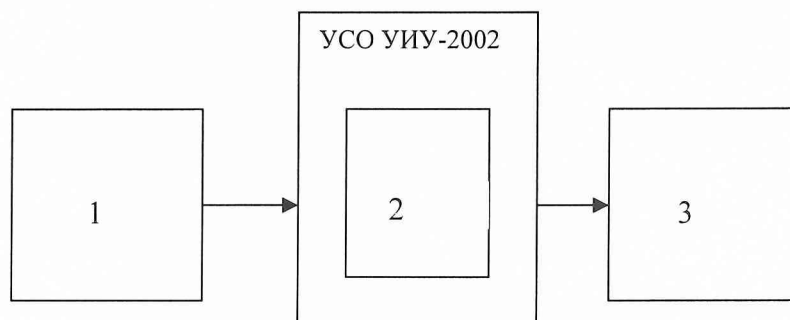


Рис.11

- 1 – РЭ (калибратор программируемый П-320);
- 2 - модуль измерительный МИ-1;
- 3 – ПК.

Поверку проводить в следующей последовательности.

Отсоединить электрический кабель поверяемого ИК от сельсина- приемника и с помощью жгута-переходника подключить к этому кабелю РЭ (П-320).. Провести градуировку ИК в соответствии с методикой раздела 6.4.3.

6.14 Поверка ИК подсистемы измерения интервалов времени

Блок-схема *комплектной* поверки ИК подсистемы измерения интервалов времени приведена на рис.12.

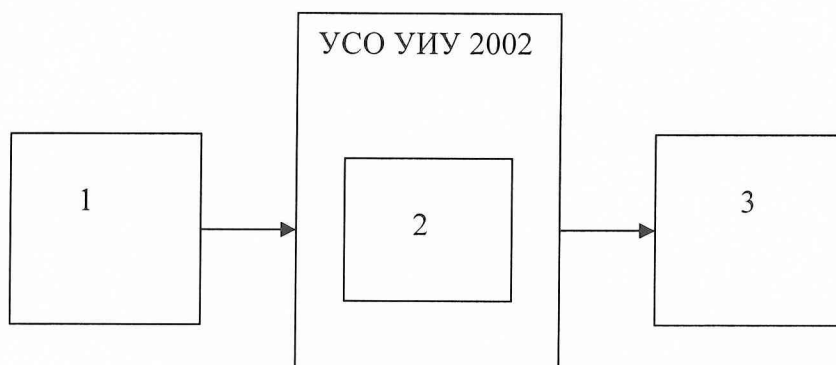


Рис.12

- 1 – РЭ (генератор функциональный SFG-830);
- 2 – модуль частотный МЧ;
- 3 - ПК.

Поверку проводить в следующей последовательности:

- установить на генераторе SFG-830 амплитуду выходного сигнала 5 В, частоту выходного сигнала $f = 0,02$ Гц (временной интервал $T=50$ с);
- перевести УИУ 2002 в режим измерения значений временного интервала;
- произвести измерение временного интервала.

6.15 Определение характеристик чувствительности к влияющим величинам

К влияющим величинам относятся:

- отклонение условий окружающей среды (температура, давление, влажность) от нормальных;
- отклонение параметров электропитания измерительных приборов и аппаратуры от номинальных значений;
- динамические помехи и воздействие механических факторов;
- электрические помехи;
- влияние фактора времени с начала испытаний (временная нестабильность СИ) и др.

Дополнительная погрешность $\Delta j_{доп}$ из-за j -той влияющей величины учитывается при оценке суммарной погрешности ИК СИ при выполнении критерия существенности

$$\Delta j_{доп} / \Delta_{осн} \geq 0,17,$$

где $\Delta_{осн}$ - основная погрешность ИК.

Характеристики чувствительности к влияющим величинам оцениваются либо расчетным способом по паспортным данным на датчики и измерительную аппаратуру или путем экспериментальных исследований. В последнем случае проводят пятикратные градуировки при максимальном, минимальном и номинальном значениях влияющих величин по методике раздела 6.4.2...6.4.3.

7 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

Результаты измерений, полученные при определении градуировочных характеристик ИК, обрабатывают в следующем порядке.

7.1 Находят и исключают грубые промахи.

При нормальном законе распределения результатов наблюдений грубые промахи исключают в соответствии с указаниями ГОСТ Р 8.207 для случая, когда неизвестно генеральное среднее квадратическое отклонение (СКО) и генеральное среднее при уровне значимости $\alpha=0,05$.

В случае, когда факт появления грубого промаха установлен достоверно, его отбраковка производится оператором ЭВМ на стадии просмотра результатов наблюдений при градуировке.

7.2 *Определение индивидуальной функции преобразования.*

Индивидуальную функцию преобразования ИК ИС определяют по результатам градуировки в виде обратной функции, т.е. как зависимость значений величины x на входе ИС от значений y на ее выходе. Эту функцию представляют либо в виде степенного полинома, если нелинейность функции такова, что с достаточной точностью можно ограничиться аппроксимирующим полиномом не выше 4-й степени:

$$x = a_0 + a_1 \cdot y + \dots + a_n \cdot y_n \quad (1)$$

либо кусочно-линейной зависимостью

$$x = x_k + q_{\text{sfk}} \cdot (y - y_k), \quad (2)$$

где a_0, a_1, \dots, a_n – коэффициенты аппроксимирующей функции преобразования, определяемые методом наименьших квадратов;

x_k – эталонное значение входной величины на k -той ступени;

q_{sfk} – цена единицы наименьшего разряда кода на k -той ступени;

y_k – среднее значение результатов наблюдений выходной величины при градуировке на k -той ступени.

Величины y_k и q_{sfk} определяются по формулам:

$$y_k = \sum_i \sum_n (y'_{ikn} + y''_{ikn}) / 2 \cdot l \cdot m, \quad (3)$$

$$q_{\text{sfk}} = \frac{x_{k+1} - x_k}{y_{k+1} - y_k} \quad (4)$$

7.3 *Определение характеристик основной погрешности при комплектной поверке*

7.3.1 Абсолютное значение неисключенной систематической погрешности (НСП) ИК на каждой k -той контрольной точке:

1) НСП ИК подсистем измерения давления и температуры воздуха (газа) и жидкостей, угловых перемещений

Доверительные границы НСП при $P=0,95$ определяются:

$$\Delta_{оск} = 1,1 \sqrt{\tilde{\Delta}_{оск}^2 + \Delta_{эм}^2}, \quad (5)$$

где: $\tilde{\Delta}_{оск}$ - НСП, обусловленная погрешностью аппроксимации при задании индивидуальной функции преобразования в виде степенного полинома (1):

$$\tilde{\Delta}_{оск} = |(a_0 + a_1 y_k + \dots + a_n y_k^n) - x_k| \quad (6)$$

При задании индивидуальной функции преобразования в виде кусочно-линейной зависимости (2)

$$\hat{\Delta}_{оск} = 0; \quad (7)$$

$\Delta_{эм}$ - погрешность рабочего эталона.

2) НСП ИК подсистемы измерения силы тяги

$$\tilde{\Delta}_{оск} = 1,1((R_{прив.изм.к} - R_{прив.дин.т.к})^2 + \Delta_{эм}^2)^{0,5} \quad (8)$$

где: $R_{прив.изм.к}$ - сила, измеренная силоизмерительной системой стенда, в k -той контрольной точке и приведенная к 1-вой контрольной точке при градуировке её с помощью ПГУ;

$R_{прив.дин.т.к}$ - сила, воспроизведённая рабочим эталоном в k -той контрольной точке с учетом температурной поправки, приведенная к 1-вой контрольной точке.

7.3.2 Абсолютное значение среднего квадратического отклонения (СКО) случайной составляющей абсолютной погрешности ИК подсистем измерения давления и температуры воздуха (газа) и жидкостей, силы тяги, угловых перемещений на каждой k -той контрольной точке:

$$\tilde{\sigma}_{[\Delta_{оск}]} = \sqrt{\frac{\sum_n \sum_i (x'_{икн} - x'_k)^2 + \sum_n \sum_i (x''_{икн} - x''_k)^2}{2ml - 1}} \quad (9)$$

где: $x'_{икн}, x''_{икн}$ - приведенные по входу значения результатов наблюдений на k -той ступени при прямом и обратном ходе градуировки соответственно; x'_k, x''_k - приведенные по входу средние значения результатов наблюдения на k -той ступени при прямом и обратном ходе градуировки соответственно.

$$\begin{aligned}x_k'' &= \frac{1}{ml} \sum_n \sum_i x_{ikn}'' \\x_k' &= \frac{1}{ml} \sum_n \sum_i x_{ikn}'\end{aligned}\quad (10)$$

7.3.3. Определение случайной составляющей абсолютной погрешности ИК на каждой k -той контрольной точке:

1) ИК подсистем измерения давления и силы тяги

$$\tilde{\Delta}_{ок} = \tau \cdot \sqrt{\tilde{\sigma}_{[\Delta_{ок}]}^2 + \frac{\tilde{H}_{ок}^2}{12}}, \quad (11)$$

где: τ - коэффициент Стьюдента-Фишера, зависящий от доверительной вероятности (P) и числа степеней свободы $2ml - 1$. Таблица значений τ при $P = 0,95$ приведена в приложении Б;

$\tilde{H}_{ок}$ - абсолютное значение вариации,

$$\tilde{H}_{ок} = |x_k' - x_k''| \quad (12)$$

2) ИК подсистем измерения температуры воздуха (газа) и жидкостей, частоты вращения роторов, напряжения постоянного тока и сопротивления, расхода масла при прокачке, параметров вибрации, расхода топлива и воздуха

$$\tilde{\Delta}_{ок} = \tau \cdot \tilde{\sigma}_{[\Delta_{ок}]}, \quad (13)$$

Значения $\tilde{\sigma}_{[\Delta_{ок}]}$ в формулах (11) и (13) для соответствующих ИК определяются по формуле (9).

7.3.4 Абсолютная основная погрешность ИК подсистем измерения давления и температуры воздуха (газа) и жидкостей, силы тяги, угловых перемещений на каждой k -той контрольной точке

$$\begin{aligned}\tilde{\Delta}_{окабс} &= K \cdot (\tilde{\Delta}_{осл} + \tilde{\Delta}_{ок}) && \text{при } 8 > (\tilde{\Delta}_{оск} \cdot \tau / \tilde{\Delta}_{ок}) > 0,8, \\ \tilde{\Delta}_{окабс} &= \tilde{\Delta}_{осл} && \text{при } (\tilde{\Delta}_{оск} \cdot \tau / \tilde{\Delta}_{ок}) \geq 8, \\ \tilde{\Delta}_{окабс} &= \tilde{\Delta}_{ок} && \text{при } (\tilde{\Delta}_{оск} \cdot \tau / \tilde{\Delta}_{ок}) \leq 0,8,\end{aligned}\quad (14)$$

Здесь коэффициент K определяется в зависимости от отношения $\tilde{\Delta}_{оск} \cdot \tau / \tilde{\Delta}_{ок}$ в соответствии с таблицей 4.

Таблица 4

$\tilde{\Delta}_{оск} \cdot \tau / \tilde{\Delta}_{ок}$	0.75	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
K	0.77	0.74	0.71	0.73	0.76	0.78	0.79	0.80	0.81

7.3.5 Абсолютная основная погрешность ИК подсистем измерения давления и температуры воздуха (газа) и жидкостей, силы тяги, угловых перемещений

$$\tilde{\Delta}_o = \max(\tilde{\Delta}_{окабс}) \quad (15)$$

7.3.6 Абсолютная основная погрешность ИК подсистем измерения частоты вращения роторов, частоты электрических сигналов, напряжения постоянного тока и сопротивления постоянному току определяется на каждой k-той контрольной точке следующим образом:

- для каждого из полученных 80 значений результатов наблюдений вычисляется отклонение результата наблюдения от эталонного значения;
- строится вариационный ряд для 80 полученных отклонений;
- отбрасываются два крайних (по одному с каждой стороны) члена вариационного ряда;

за оценку абсолютной погрешности ИК принимается максимальное по модулю значение отклонения вариационного ряда с отброшенными крайними членами.

7.3.7 Абсолютная основная погрешность ИК подсистемы измерения интервалов времени определяется в виде

$$\tilde{\Delta}_o = \sqrt{n} \cdot \tilde{\Delta}_{o50}, \quad (16)$$

где: n – целое число, полученное от округления в большую сторону отношения заданного измеряемого интервала времени к контрольному значению равному 50 с.

7.4 *Определение характеристик основной погрешности при поэлементной проверке*

7.4.1 Абсолютная основная погрешность ИК подсистем измерения температуры воздуха (газа) и жидкостей:

- 1) ИК подсистемы измерения температуры термопреобразователями сопротивления ТСП, ТСМ

$$\tilde{\Delta}_o = 1.1 \sqrt{\Delta_{ТСП}^2 + \Delta_{мил}^2 + \Delta_{рЭ}^2} \quad (17)$$

$\Delta_{ТСП}$ – НСП термопреобразователя сопротивления. Определяется по ГОСТ 6651-94 в зависимости от его типа и класса (А, В, С);

$\Delta_{мил}$ – погрешность измерительного канала, включающего измерительный модуль МИ-1 и ПК (определяется в соответствии с разделом 7.3.6);

$\Delta_{рЭ}$ - погрешность рабочего эталона (Р4831).

- 2) ИК подсистемы измерения температуры термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК

$$\tilde{\Delta}_o = 1.1 \sqrt{\Delta_{ТП}^2 + \Delta_{xc}^2 + \Delta_{мил}^2 + \Delta_{рЭ}^2}, \quad (18)$$

$\Delta_{ТП}$ – НСП термодпары. Определяется по ГОСТ Р 8.585-2001 в зависимости от типа и класса (1, 2, 3);

Δ_{xc} - абсолютная основная погрешность ИК температуры холодных спаев (определяется по формуле 17);

$\Delta_{рЭ}$ - погрешность рабочего эталона (КИСС-03).

7.4.2 Абсолютная основная погрешность ИК подсистемы измерения расхода топлива

$$\tilde{\Delta}_o = 1.1 \sqrt{\Delta_{ПР}^2 + \Delta_f^2 + \Delta_\rho^2 + \Delta_{рЭ}^2}, \quad (19)$$

$\Delta_{ПР}$ – абсолютная погрешность преобразователей расхода ТПР, ТДР, РС-СПА-П (берется из протоколов поверки преобразователей расхода на эталонной установке);

Δ_f - абсолютная основная погрешность ИК частоты электрических сигналов преобразователей расхода (определяется в соответствии с разделом 7.3.6);

Δ_ρ - абсолютная погрешность измерения плотности топлива:

$$\Delta_\rho = ((\Delta'_\rho)^2 + (\gamma \cdot \Delta_t / \rho)^2)^{0.5}, \quad (20)$$

где: Δ'_ρ - погрешность измерения плотности топлива ареометром;

γ - температурный коэффициент плотности топлива;

ρ - номинальная плотность топлива при 20°C;

Δ_t - основная абсолютная погрешность измерения температуры топлива с помощью термопреобразователя сопротивления. Определяется по формуле (16);

$\Delta_{рЭ}$ - погрешность рабочего эталона (ГЗ-110).

7.4.3 Абсолютная основная погрешность ИК подсистем измерения расхода воздуха

$$\tilde{\Delta}_o = 1.1 \cdot G \cdot \left[W^2(\mu) \cdot (\Delta(\mu) / \mu)^2 + W^2(F_m) \cdot (\Delta(F_m) / F_m)^2 + W^2(T_o) \cdot (\Delta(T_o) / T_o)^2 + W^2(\Delta P) \cdot (\Delta(\Delta P) / \Delta P)^2 + W^2(P_k) \cdot (\Delta(P_k) / \Delta P_k)^2 + W^2(\Delta P_o) \cdot (\Delta(\Delta P_o) / \Delta P_o)^2 \right]^{0.5}, \quad (21)$$

где: G – измеренное значение массового расхода воздуха;

$\Delta(\zeta_j)$ - абсолютная основная погрешность результата измерения параметра ζ_j ;

$W(\zeta_j) = \frac{\zeta_j \cdot \partial G}{G \partial \zeta_j}$ - относительные коэффициенты влияния аргумента ζ_j на

погрешность косвенного определения расхода;

Здесь обозначены аргументы ζ_i :

μ - коэффициент расхода РМК;

F_m - площадь сечения мерного участка РМК;

P_k - давление базовое опорное (или атмосферное = P_H);

ΔP - средний перепад между полным давлением на входе РМК и статическим давлением в мерном сечении;

ΔP_o - перепад между атмосферным и полным давлением на входе РМК;

T_o – осредненная температура воздуха на входе в РМК.

Примечание. В формулу (20) не включена составляющая, обусловленная погрешностью измерения влажности воздуха, вследствие ее незначительности (<0,1%).

Коэффициенты влияния $W(\zeta_i)$ имеют следующие значения (с учетом поправки на влияние диаметров отверстий ~1 мм приемников статического давления согласно ОСТ 102555-85):

$$\begin{aligned} W(M) &= 1, \\ W(FM) &= 1, \\ W(T_o) &= -\frac{1}{2}, \\ W(P_\kappa) &= \frac{P_\kappa}{\Delta P} (\pi - 1)(W(\Delta P) - 1), \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} W(\Delta P_o) &= -\frac{\Delta P_o}{\Delta P} \cdot (\pi - 1)(W(\Delta P) - 1) \\ W(\Delta P) &= \frac{D}{\kappa \pi} \left(1 + \frac{1 - \kappa}{2} \cdot \frac{1}{\pi^{\frac{1-\kappa}{\kappa}} - 1} \right) \end{aligned}$$

Значение π и D при учете влияния диаметра приемника статического давления в РМК (~1 мм) вычисляются в виде:

$$\pi = \frac{0,995(P_\kappa - \Delta P_o) - 1,009\Delta P}{0,995(P_\kappa - \Delta P_o) - 0,009\Delta P} \quad (23)$$

$$D = \frac{(\pi - 1)(1,009 - 0,009\pi)}{0,986 + 0,009\pi}$$

Если влиянием диаметров отверстий приемников статического давления пренебречь, то выражения π и коэффициента D будут следующими:

$$\pi = 1 - \frac{\Delta P}{P_\kappa - \Delta P_o}, \quad D = \pi - 1$$

7.4.4 Абсолютная основная погрешность ИК подсистемы измерения параметров вибрации

$$\tilde{\Delta}_o = \sqrt{\Delta_{ВП}^2 + \Delta_{МИ1}^2 + \Delta_{РЭ}^2}, \quad (24)$$

где: $\Delta_{ВП}$ – погрешность аппаратуры измерения роторных вибраций (определяется по методике поверки ЖЯИУ. 421431.003 МП);

$\Delta_{\text{МИ}}$ – абсолютная основная погрешность измерительного канала, включающего измерительный модуль МИ-1 и ПК, (определяется в соответствии с разделом 7.3.6);

$\Delta_{\text{рЭ}}$ – погрешность рабочего эталона (П-320).

7.5 Определение относительной погрешности ИК

$$\tilde{\delta}_o = \frac{\tilde{\Delta}_o}{x_\kappa} \cdot 100\% \quad (25)$$

7.6 Определение приведенной к ВП погрешность ИК

$$\tilde{\gamma}_o = \frac{\tilde{\Delta}_o}{ВП} \cdot 100\% \quad (26)$$

7.7 Определение приведенной к 0,5ВП погрешность ИК

$$\tilde{\gamma}_o^* = \frac{\tilde{\Delta}_o}{0,5ВП} \cdot 100\% \quad (27)$$

7.8 Определение характеристик суммарной погрешности ИК в реальных условиях эксплуатации.

7.8.1 Абсолютная погрешность ИК

$$\tilde{\Delta} = \sqrt{\tilde{\Delta}_o^2 + \tilde{\Delta}_{\text{дон}}^2}, \quad (28)$$

$$\tilde{\Delta}_{\text{дон}} = 1,1 \sqrt{\sum_{j=1}^m \tilde{\Delta}_{j \text{ дон}}^2}, \quad (29)$$

где: $\tilde{\Delta}_{\text{дон}}$ – дополнительная погрешность ИК СИ;

$\tilde{\Delta}_{j \text{ дон}}$ – j-тая составляющая дополнительной погрешности ИК ИС.

7.8.2. Относительная погрешность ИК

$$\tilde{\delta} = \frac{\tilde{\Delta}}{x_\kappa} \cdot 100\% \quad (30)$$

7.8.3 Приведенная к ВП погрешность ИК

$$\tilde{\gamma} = \frac{\tilde{\Delta}}{ВП} \cdot 100\% \quad (31)$$

7.8.4 Приведенная к 0,5ВП погрешность

$$\tilde{\gamma}^* = \frac{\tilde{\Delta}}{0,5ВП} \cdot 100\% \quad (32)$$

Значения погрешностей $\tilde{\Delta}_{j\text{доп}}$, берутся из паспортов на средства измерений, входящие в ИК.

При необходимости значения $\tilde{\Delta}_{j\text{доп}}$ могут быть определены экспериментально проведением градуировок ИК по методике раздела 6 в реальных условиях эксплуатации.

При этом обработка результатов наблюдений проводится в следующем виде:

- определяют абсолютную функцию влияния $\Psi_{jks}(\xi_j)$ j -той влияющей величины на систематическую составляющую погрешности ИК ИС на k -той контрольной точке

$$\Psi_{jks}(\xi_j) = A_{jks} \cdot \Delta \xi_j \quad (33)$$

$$A_{jks} = \frac{f[y_k(\xi_{jnp})] - f[y_k(\xi_{jref})]}{\xi_{jnp} - \xi_{jref}} \quad (34)$$

$$\Delta \xi_j = \xi_j - \xi_{jref}; \quad (35)$$

$f(y)$ – индивидуальная функция преобразования ИК ИС;

$y_k(\xi_{jnp})$ – среднее значение результатов наблюдений на k -той ступени при воздействии на ИС предельного значения j -той влияющей величины;

$y_k(\xi_{jref})$ – среднее значение результатов наблюдений на k -той ступени при воздействии на ИС нормального значения j -той влияющей величины;

ξ_{jnp} – предельное значение j -той влияющей величины при определении функции влияния

ξ_{jref} – нормальное значение j -той влияющей величины;

ξ_j – текущее значение j -той влияющей величины;

-определяют СКО абсолютной функции влияния $\Psi_{jks}(\xi_j)$ j -той влияющей величины на случайную составляющую погрешности ИК ИС на k -той контрольной точке.

Значения функции влияния $\Psi_{jks}(\xi_j)$ определяются совместным решением уравнений

$$\{\Psi_{jks}(\xi_j) + \tilde{\sigma}_{|\Delta_{ок} \xi_j}|\}^2 = |\tilde{\sigma}_{|\Delta_{ок} \xi_j}|^2 \quad (36)$$

$$\tilde{\sigma}_{|\Delta_{ок} \xi_j|} = \sqrt{\frac{\sum_n \sum_i [f[y'_{ikn}(\xi_{jnp})] - f[y'_k(\xi_{jnp})]]^2 + \sum_n \sum_i [f[y''_{ikn}(\xi_{jnp})] - f[y''_k(\xi_{jnp})]]^2}{2ml - 1}} \quad (37)$$

где: $\tilde{\sigma}_{|\Delta_{ок} \xi_j|}$ - СКО ИК при действии предельного значения влияющей величины ξ_{jnp} ;

$y'_{ikn}(\xi_{jnp})$, $y''_{ikn}(\xi_{jnp})$ – i -тые значения результатов наблюдений на k -той ступени при воздействии на ИС предельного значения j -той влияющей величины при прямом и обратном ходе градуировки соответственно;

$y'_{kn}(\xi_{jnp})$, $y''_{kn}(\xi_{jnp})$ – средние значения результатов наблюдений на k -той ступени при воздействии на ИС предельного значения j -той влияющей величины при прямом и обратном ходе градуировки соответственно;

- определяют абсолютную функцию влияния $\Psi_{jk\sigma}(\xi_j)$ j-той влияющей величины на случайную составляющую погрешности ИК на k-той контрольной точке

$$\Psi_{jk\epsilon}(\xi_j) = \tau \cdot \Psi_{jk\sigma}(\xi_j) \quad (38)$$

- определяют абсолютное значение дополнительной погрешности j-той влияющей величины на k-той контрольной точке

$$\begin{aligned} \tilde{\Delta}_{jk_{дон}} &= K \cdot (\Psi_{jks}(\xi_j) + \Psi_{jk\epsilon}(\xi_j)) \quad \text{при } \psi_{jks}(\xi_j) \cdot \tau / \psi_{jk\epsilon}(\xi_j) > 0,8, \\ \tilde{\Delta}_{jk_{дон}} &= \psi_{jks}(\xi_j) \quad \text{при } (\psi_{jks}(\xi_j) \cdot \tau / \psi_{jk\epsilon}(\xi_j)) \geq 8, \\ \tilde{\Delta}_{jk_{дон}} &= \psi_{jk\epsilon}(\xi_j) \quad \text{при } (\psi_{jks}(\xi_j) \cdot \tau / \psi_{jk\epsilon}(\xi_j)) \leq 0,8. \end{aligned} \quad (39)$$

Здесь коэффициент K определяется в зависимости от отношения $\psi_{jks}(\xi_j) \cdot \tau / \psi_{jk\epsilon}(\xi_j)$ в соответствии с таблицей 4;

- определяют абсолютное значение дополнительной погрешности j-той влияющей величины ИК ИС

$$\tilde{\Delta}_{j_{дон}} = \max(\tilde{\Delta}_{jk_{дон}}) \quad (40)$$

8 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

8.1 Результаты первичной и периодической поверки заносятся в Протокол поверки (приложение В).

8.2 При положительных результатах поверки метрологической службой организации, аккредитованной на право проведения поверочных работ, оформляется свидетельство о поверке по форме, приведенной в приложении Г.

Измерительная система считается прошедшей поверку с положительными результатами при выполнении следующих требований:

- ИС функционирует нормально, неисправности и дефекты, препятствующие выполнению операций поверки и последующей эксплуатации, отсутствуют;

- основные технические характеристики ИС соответствуют техническому заданию, РЭ и другим нормативным документам;

- метрологические характеристики соответствуют требованиям ОСТ 1 01021-93 и методике поверки 061.046.06 МП;

- диапазоны измерения соответствуют описанию на ИС и методике поверки 061.046.06 МП.

Старший научный сотрудник ГЦИ СИ «Воентест»
32 ГНИИИ МО РФ



С.Н. Чурилов

Старший научный сотрудник ГЦИ СИ «Воентест»
32 ГНИИИ МО РФ



А. А. Горбачев

Основные метрологические характеристики СИ-РДЗЗ

Подсистема измерения силы от тяги

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений, кгс	Пределы допускаемой погрешности, %
Сила от тяги (количество каналов – 2)	от 0 до 10000	$\pm 0,3$ от ИЗ в диапазоне от 0,5 до 1,0 ВП $\pm 0,3$ от 0,5 ВП в диапазоне от 0 до 0,5 ВП (ВП - верхний предел измерений, ИЗ – измеренное значение)

Подсистема измерения частоты вращения роторов

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений, Гц	Пределы допускаемой погрешности, % от ВП
Частота вращения ротора вентилятора	от 300 до 3100	$\pm 0,15$
Частота вращения ротора компрессора	от 300 до 3600	$\pm 0,15$

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

Подсистема измерения температуры (с термопреобразователями сопротивления ТСП, ТСМ) и сопротивления постоянному току, соответствующего значениям температуры

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности
Температура воздуха (газа) по тракту ГТД (количество каналов – 2)	от 273 до 1273 К	± 1 % от ВП
Температура воздуха на входе в двигатель (количество каналов – 2)	от 223 до 473 К	$\pm 0,5$ % от ИЗ
Температура холодного спая (количество каналов – 2)	от 223 до 323 К	$\pm 0,5$ % от ИЗ
Температура рабочих жидкостей (топлива, масла) (количество каналов – 16)	от минус 50 до 200 °С	$\pm 1,5$ % от НЗ (НЗ - нормированное значение)
Напряжение постоянного тока, соответствующее значениям температур, измеряемых с помощью преобразователей ХА, ХК (количество каналов – 27)	от 0 до 50 мВ	$\pm 0,3$ % от ВП
Сопротивление постоянному току, соответствующее значениям температур, измеряемых с помощью преобразователей ТСП, ТСМ (количество каналов – 8)	от 6,085 до 92,775 Ом от 8,650 до 88,525 Ом от 12,17 до 185,55 Ом (от минус 200 до 200 °С)	$\pm 0,3$ °С $\pm 0,3$ °С $\pm 0,4$ °С

Подсистема измерения давления и напряжения постоянного тока, соответствующего параметрам давления

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности
Атмосферное давление	от 720 до 800 мм рт. ст.	$\pm 0,5$ мм рт.ст.
Избыточное давление воздуха (газа) по тракту ГТД (количество каналов – 13)	от 0 до 25 кгс/см ²	$\pm 0,5$ % от ВП
Перепад между полным давлением на входе РМК и статическим давлением в мерном сечении (количество каналов – 2)	от 0 до 25 кПа (от 0 до 2500 мм вод. ст.)	$\pm 0,5$ % от ИЗ
Перепад между атмосферным давлением и полным давлением на входе в РМК (количество каналов – 2)	от 0 до 0,5 кПа (от 0 до 50 мм вод. ст.)	5 мм вод.ст.
Давление-разрежение рабочих жидкостей (топлива, масла) (количество каналов – 21)	от минус 0,6 до 270 кгс/см ²	± 1 % от НЗ
Перепад давления топлива ТДК	от 0 до 15 кгс/см ²	± 1 % от НЗ
Избыточное давление азота для проверки кислородной системы	от 0 до 10 кгс/см ²	± 1 % от НЗ
Разрежение воздуха в боксе	от минус 0,006 до 0 кгс/см ²	± 1 % от ВП
Напряжение постоянного тока, соответствующее значению давления (количество каналов – 32)	от минус 1 до 1 В от минус 10 до 10 В	$\pm 0,05$ % от ВП

Подсистема измерения расхода топлива

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений, кг/ч	Пределы допускаемой погрешности, % от ИЗ
Массовый расход топлива (количество каналов – 3)	от 350 до 20000	$\pm 0,5$

Подсистема измерения параметров расхода воздуха

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений, кг/с	Пределы допускаемой погрешности, % от ИЗ
Массовый расход воздуха двигателя (количество каналов -2)	от 53 до 83	$\pm 0,7$

*Подсистема измерения параметров вибрации и напряжения постоянного тока,
соответствующего значениям параметров вибрации*

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности, % от ВП
Виброскорость двигателя в контрольных точках (количество каналов – 7)	от 0 до 100 мм/с	± 10
Напряжение постоянного тока, соответствующее значениям параметров вибрации (количество каналов – 13)	от 0 до 5 В от 0 до 10 В	± 0,05

*Подсистема измерения угловых перемещений и напряжения постоянного тока,
соответствующего значениям угла перемещения*

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности
Угловое перемещение рычага управления двигателем (РУД)	от 0 до 120°	± 1,0°
Напряжение постоянного тока пропорциональное углу перемещения (количество каналов -3)	от 0 до 6,3 В	± 0,05 % от ВП

Подсистема измерения интервалов времени

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений, с	Пределы допускаемой погрешности, с
Интервалы времени (количество каналов – 3)	от 0 до 120	±0,1

ЗНАЧЕНИЯ
коэффициента Стьюдента-Фишера в зависимости
от числа степеней свободы при доверительной вероятности $P=0,95$

Число степеней свободы $2m_1-1$	Доверительная вероятность $P=0,95$	Число степеней свободы $2m_2-1$	Доверительная вероятность $P=0,95$
1	12,706	18	2,103
2	4,303	19	2,093
3	3,182	20	2,086
4	2,776	21	2,080
5	2,571	22	2,074
6	2,447	23	2,069
7	2,365	24	2,064
8	2,306	25	2,060
9	2,262	26	2,056
10	2,228	27	2,052
11	2,201	28	2,048
12	2,179	29	2,045
13	2,160	30	2,042
14	2,145	40	2,021
15	2,131	60	2,000
16	2,120	120	1,980
17	2,110	-	

Протокол №

определения погрешностей и диапазонов измерений ИК подсистемы измерения
измерительной системы СИ-РД33 стенда № для испытаний
 газотурбинного двигателя ФГУП «Завод им. В.Я.Климова»

1 Вид поверки.....

2 Дата поверки.....

3 Средства поверки

.....

4 Условия поверки

- Температура окружающего воздуха, °С
 - в боксе.....
 - в пультовой.....
- Атмосферное давление, мм.рт.ст.
- Влажность,%.....

5 Результаты экспериментальных исследований

5.1. Внешний осмотр

.....

5.2. Результаты опробования

.....

5.3. Результаты метрологических исследований

Рабочие материалы, содержащие данные по градуировкам ИК и их обработке
 представлены в рабочей папке №.....

Результаты метрологических исследований системы измерительной СИ-РД33
 представлены в Таблице.

Условия исследования:

- число ступеней нагружения $p = \dots\dots\dots$
- число циклов нагружения $l = \dots\dots\dots$
- число опросов на точке $m = \dots\dots\dots$

Расчет суммарной погрешности проводятся по формулам методики поверки
 061.046.06 МП.

Таблица

№ пп	Наименование ИК подсистемы	Диапазон измерения	Тип датчика	Тип вторичной аппаратуры	Наибольшее значение основной погрешности	Наибольшее значение суммарной погрешности в реальных условиях эксплуатации	Пределы допускаемой погрешности ИК

6. Выводы.....

.....

7. Заключение.....

Поверитель

(подпись, дата)

(ф.и.о.)

(наименование органа Государственной метрологической службы, юридического лица)

СВИДЕТЕЛЬСТВО
о поверке №
(Форма)

Действительно до «___» _____

Средство измерений _____
наименование, тип

Заводской номер _____

Принадлежащее _____
наименование юридического (физического) лица

поверено и на основании результатов первичной (периодической) поверки
признано пригодным к применению в качестве рабочего (по _____ разряду).

(только для рабочих эталонов)

МП

Начальник управления

_____ ()

подпись