

1110

УТВЕРЖДАЮ

Начальник ГЦИ СИ «Воентест»
32 ГНИИ МО РФ



А.Ю. Кузин

« 29 » 2005 г.

Инструкция

**СИСТЕМА ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ
СИ-1/ГТД**

Методика поверки

032-040-06 МП

2006 г.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
1. Операции и средства поверки	6
2. Требования безопасности	8
3. Условия поверки	9
4. Подготовка к поверке	10
5. Проведение поверки	11
5.1. Внешний осмотр	11
5.2. Загрузка компьютерной программы	11
5.3. Опробование ИК	11
5.4. Порядок проведения поверки.	11
5.4.1 Установление способов и параметров поверки	11
5.4.2 Поверка ИК подсистемы измерения давления	13
5.4.3 Поверка ИК подсистемы измерения температуры (с термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК) и напряжения постоянного тока	13
5.4.4 Поверка ИК подсистемы измерения температуры (с термопреобразовате- лями сопротивления ТСП, ТСМ) и сопротивления постоянному току	14
5.4.5 Поверка ИК подсистемы измерения частоты вращения роторов	15
5.4.6 Поверка ИК подсистемы измерения расхода топлива	15
5.4.7 Поверка ИК подсистемы измерения силы тяги	16
5.4.8 Поверка ИК подсистемы измерения расхода воздуха	18
5.4.9 Поверка ИК подсистемы измерения параметров вибрации	19
5.5. Определение характеристик чувствительности к влияющим величинам	19
6. Обработка результатов поверки	20
7. Оформление результатов поверки	30
<i>Приложение А. Основные метрологические характеристики СИ-1/ГТД</i>	31
<i>Приложение Б. Значения коэффициента Стьюдента-Фишера в зависимости от числа степеней свободы при доверительной вероятности $P = 0,95$</i>	33
<i>Приложение В. Протокол № определения погрешностей и диапазонов измере- ний ИК измерительной системы СИ-1/ГТД стенда № 1, корп. 2 для испытаний газотурбинных двигателей предприятия ОАО «ММП им. В.В.Чернышева» (Форма)</i>	34
<i>Приложение Г. Свидетельство о поверке № (Форма)</i>	36

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая методика поверки (МП) устанавливает порядок, методы и средства проведения первичной и периодической поверок системы измерительной СИ-1/РД 33 МК, принадлежащей предприятию ОАО «ММП им. В.В.Чернышева», предназначенной для испытаний газотурбинного двигателя на стенде № 1 корп. №2. **Перечень параметров системы измерительной СИ-1/ГТД (далее по тексту ИС), подлежащих поверке, и пределы допускаемых погрешностей измерения этих параметров приведены в приложении А.**

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, МИ 2526-99.

ИС представляется на поверку со следующим комплектом технической документации: Формуляр. Руководство по эксплуатации. Методика поверки.

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

ИС включает в себя подсистемы для измерений следующих параметров ГТД:

- давления воздуха (газов) и жидкостей;
- температуры воздуха (газов) и жидкостей (с термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК) и напряжения постоянного тока;
- температуры воздуха (газов) и жидкостей (с термопреобразователями сопротивления ТСП) и сопротивления постоянному току;
- частоты вращения роторов;
- расхода топлива;
- силы тяги;
- расхода воздуха;
- параметров вибрации.

При поверке измерительных каналов (ИК) ИС используются следующие способы определения метрологических характеристик (МХ):

- комплектная поверка, когда сквозной градуировке подвергается весь ИК, включая датчики физических величин, и по результатам градуировки определяются МХ ИК как единого целого;
- поэлементная поверка, когда поверке подвергаются отдельные части ИК и МХ определяются путем суммирования погрешностей. Для этого способа допускается использовать результаты поверки отдельных частей ИК или их стандартизованные МХ.

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 1 год, за исключением подсистемы измерения силы тяги, для которой периодичность поверки установлена в соответствии с ОСТ 1 02517-84 1 раз в два года.

Принятые в документе сокращенные обозначения:

ГТД – газотурбинный двигатель;
МП - методика поверки;
ТД - техническая документация;
ИК - измерительный канал;
ПП - первичный преобразователь;
ИРП – измерительно-регистрирующий прибор;
УСО – устройство согласования с объектом;
ПК - персональный компьютер;
МХ – метрологические характеристики;
ИС - измерительная система;
ДМП – динамометрическая платформа;
СИС – силоизмерительная система;
СГУ - стендовое градуировочное устройство;
РЭ - рабочий эталон;
ТПР - турбинный преобразователь расхода жидкости;
РМК - расходомерный коллектор;
АИИС – автоматизированная информационно-измерительная система;
ТЭДС термо ЭДС;
НСХП – номинальная статическая характеристика преобразования;
НСП – неисключенная систематическая погрешность;
R_{max} - максимальная сила, измеряемая СИС;
ВП – верхний предел измерений;
ИЗ - измеренное значение;
НЗ – нормированное значение.

Перечень метрологических характеристик, подлежащих определению при поверке, приведен в таблице 1.

Таблица 1

Наименование метрологической характеристики	Условное обозначение
1 Характеристики, предназначенные для определения результатов измерений: 1.1 Индивидуальная функция преобразования 1.2 Цена единицы наименьшего разряда кода АЦП или цена деления шкалы ИРП	полином степени $n \leq 4$ $x=f(y)=a_0+a_1+\dots+a_n y^n$; кусочно-линейная функция $x=x_k+q_{sfk}(y-y_k)$ q_{sf}
2 Характеристики погрешностей: 2.1 Характеристики основной погрешности на каждой k-той контрольной точке: 2.1.1 Неисключенная систематическая составляющая абсолютной погрешности 2.1.2 Среднее квадратическое отклонение (СКО) случайной составляющей абсолютной погрешности. 2.1.3 Абсолютное значение вариации 2.1.4 Случайная составляющая абсолютной погрешности 2.1.5 Абсолютная погрешность 2.2 Характеристики основной погрешности: 2.2.1 Абсолютная погрешность 2.2.2 Относительная погрешность 2.2.3 Приведенная к ВП погрешность 2.2.4 Приведенная к 0,5ВП погрешность 2.4 Характеристики суммарной погрешности в реальных условиях эксплуатации. 2.4.2 Абсолютная погрешность. 2.4.3 Относительная погрешность. 2.4.4 Приведенная к ВП погрешность 2.4.5 Приведенная к 0,5 ВП погрешность.	$\tilde{\Delta}_{ок}$ $\tilde{\sigma}[\tilde{\Delta}_{ок}]$ $\tilde{H}_{ок}$ $\tilde{\Delta}_{ок}$ $\tilde{\Delta}_{окабс}$ $\tilde{\Delta}_o$ $\tilde{\delta}_o$ $\tilde{\gamma}_o$ $\tilde{\gamma}_o^*$ $\tilde{\Delta}$ $\tilde{\delta}$ $\tilde{\gamma}$ $\tilde{\gamma}^*$

1 ОПЕРАЦИИ И СРЕДСТВА ПОВЕРКИ

1.1 При проведении первичной и периодической поверок ИС должны выполняться операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2

Наименование операции	Номер пункта МП	Проведение операции	
		первичная поверка	периодическая поверка
1	2	3	4
1 Внешний осмотр.	5.1	да	да
2 Загрузка компьютерной программы	5.2	да	да
3 Опробование.	5.3	да	да
4 Проведение поверки ИК	5.4	да	да
5 Определение индивидуальной функции преобразования	6.2	да	да
6 Определение основной погрешности ИК	6.3, 6.4	да	да
7 Определение суммарной погрешности ИК в реальных условиях эксплуатации	6.5	да	да
8 Определение характеристик чувствительности к влияющим величинам	5.5	да	нет

1.2 При проведении поверки используются средства измерений, приведенные в таблице 3.

Таблица 3

Номер пункта документа по поверке	Наименование и тип (условное обозначение) основного или вспомогательного средства поверки; обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования, и (или) метрологические и основные характеристики средства поверки
5.4.2	Манометры избыточного давления грузопоршневые: МП-6: диапазон измерений от 0 до 0,6 МПа, класс точности 0,05 ; МП-60: диапазон измерений от 0,1 до 6 МПа, класс точности 0,05; МП-600: диапазон измерений от 1 до 60 МПа, класс точности 0,05;
5.4.2, 5.4.8	Калибратор давления DPI-610: диапазон измерений от минус 0,35 до 0,35 кгс/см ² , класс точности 0,025.
5.4.3, 5.4.9	Программируемый прибор для поверки вольтметров В1-13: диапазон измерений от 0,01мкВ до 1000 В, погрешность $5 \cdot 10^{-5} + 40$ мкВ в диапазоне от 10 мкВ до 10В.
5.4.4, 5.4.6, 5.4.8	Магазин сопротивлений МСР-63: диапазон измерений от 10^{-2} до 10^5 Ом, класс точности 0,05.
5.4.2, 5.4.5, 5.4.6	Генератор сигналов низкочастотный прецизионный ГЗ-110 ЕХ3.265.036 ТУ: диапазон генерирования сигналов от 0,01 Гц до 2 МГц, погрешность не более $\pm 3 \cdot 10^{-5} \%$.
5.4.7	Датчик весоизмерительный тензорезисторный С2: диапазон измерений от 0 до 20 т, класс точности 0,04.

Номер пункта документа по поверке	Наименование и тип (условное обозначение) основного или вспомогательного средства поверки; обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования, и (или) метрологические и основные характеристики средства поверки
5.4.7	Стендовое контрольно-поверочное градуировочное устройство рычажно-грузового типа по ОСТ 1 02677-89: диапазон измерения от 0 до 100000 кгс, погрешность от 0,1 %.
5.4.3, 5.4.4	Калибратор температуры Fluke серия 500, модель 518. США: диапазон измерений от минус 30 до 670 °С, погрешность не более $\pm 0,25$ °С.
5.4.9	Преобразователь электрический 8305 фирмы «Брюль и Кьер». Частотный диапазон от 0,1 до 4500 Гц, чувствительность 0,125 пКл/м·с ² , погрешность $\pm 3\%$.
5.4.6	Трубопоршневая установка ЭГА-20: диапазон воспроизведения объемного расхода жидкости от 44 до 20000 л/час, относительная погрешность воспроизведения объемного расхода жидкости 0,15 %.
5.4.6	Ареометр для нефти АНТ-1: диапазон измерений от 750 до 830 кг/м ³ . Погрешность измерений 0,5 кг/м ³ .
5.4.7	Набор (1 мг - 1 кг) Е ₂ ГОСТ 7328-2001
<i>Вспомогательное оборудование</i>	
3	Гигрометр «Волна-5»: диапазон измерений от 0 до 100 %, погрешность не более $\pm 2,5$ %.
3	Барометр цифровой БРС-1М-1: диапазон измерений от 600 до 1100 гПа (от 450 до 825 мм рт.ст.), погрешность не более ± 33 Па, ($\pm 0,25$ мм рт.ст.).
3	Термометр стеклянный ртутный лабораторный ТЛ-4: диапазон измерений от 0 до 55 °С, погрешность не более $\pm 0,2$ °С.

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

1.4. При поверке должны использоваться средства измерений утвержденных типов.

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

2 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 12.2.007.0-75; ГОСТ 12.1.019-79; ГОСТ 12.2.091-94 и требования безопасности, указанные 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.

3 УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ

Условия окружающей среды в испытательном боксе:

- температура воздуха, °C (K).....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, °C(K)..... 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).

Электропитание СИ: осуществляется от сети переменного тока:

- напряжение переменного тока, В 220 ± 22 ;
- частота, Гц(50 ± 1).

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

4 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ

При подготовке к поверке проводят следующие работы:

- проверить комплектность проектно-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;
- собрать схемы поверки ИК подсистем в соответствии с блок-схемами, приведенными в разделе 5, и проверить целостность электрических цепей;
- обеспечить оперативную связь оператора у монитора с оператором, задающим контрольные значения эталонных сигналов на входе ИК подсистем;
- включить аппаратные средства ИС
- включить вентиляцию и освещение в испытательных помещениях;
- включить питание измерительных преобразователей и аппаратуры ИС СИ-1/ГТД в сеть 220 В, 50 Гц;
- создать, проконтролировать и зафиксировать в протоколе поверки условия проведения поверки.

5 ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ

5.1 Внешний осмотр

При внешнем осмотре необходимо убедиться, что все средства измерений, входящие в ИС, не имеют внешних повреждений, которые могут влиять на его работу, при этом должно быть обеспечено надежное крепление соединителей и разъемов и качественное заземление.

5.2 Загрузка компьютерной программы

Установить на диске «Д» компьютера директорию /L-card 42/.

Загрузить программу «METR.EXE».

Выбрать в меню пункт «Выбор канала».

Установить курсором номер поверяемого канала.

Перейти к пункту меню «Поверка», при этом вся информация о поверке ИК высвечивается на дисплее.

5.3 Опробование ИК

При опробовании ИК проверяется «нулевые» показания ИК ИС и ее функционирование подачей на вход ИК с помощью рабочих эталонов значений физического параметра или имитирующего сигнала, соответствующего ВП рабочего диапазона измерений. Правильность функционирования ИК определяется выполнением следующего критерия:

$$|x_k - x|_{\max} < \Delta ,$$

где x_k – задаваемые на вход ИК эталонные значения физического параметра;

x – выведенный на экране монитора результат измерения физического параметра;

Δ - допускаемая суммарная погрешность ИК.

5.4 Порядок проведения поверки

5.4.1 Установление способов и параметров поверки

При исследовании МХ ИК установлены следующие способы поверки:

комплектная – для ИК подсистем измерения: давления воздуха (газа) и жидкостей; силы тяги; частоты вращения роторов; напряжения постоянного тока; сопротивления постоянному току;

поэлементная -для ИК подсистем измерения: температуры воздуха (газа) и жидкостей; параметров вибрации, расхода топлива и расхода воздуха.

При комплектном способе проводится поверка ИК в составе стендовой АИИС, включая ПП, ИРП, УСО и ПК, по методике поверки 032-040-05 МП.

При поэлементном способе проводится автономная поверка части ИК, включающей ПП в комплекте с ИРП, по установленным методикам поверки, а другая часть, включающая УСО и ПК – в составе стендовой АИИС.

При поэлементной поверке ИК температуры НСХП и погрешности ПП температуры устанавливаются в соответствии с ГОСТ Р 8.585-2001, ГОСТ 6651-94.

При необходимости определения индивидуальной градуировочной характеристики ИК температуры проводится его комплектная поверка в составе стендовой АИИС, включая преобразователь температуры, УСО и ПК.

Обработка результатов измерений при поверке ИК проводится следующими способами:

ИК подсистем измерения давления и температуры воздуха (газа) и жидкостей, напряжения постоянного тока, сопротивления постоянному току, частоты вращения роторов, параметров вибрации и силы тяги - по ГОСТ 8.207-76 для прямых измерений;

ИК подсистем измерения расхода топлива и расхода воздуха - по МИ 2083-90 для косвенных измерений.

Градуировку ИК при их комплектной поверке или части ИК при поэлементной поверке проводить 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-1/ГТД могут быть приняты следующие значения параметров p, l, m :

для ИК подсистем измерения силы тяги и параметров вибрации 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 -1/ГТД.

5.4.2 Поверка ИК подсистемы измерения давления

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

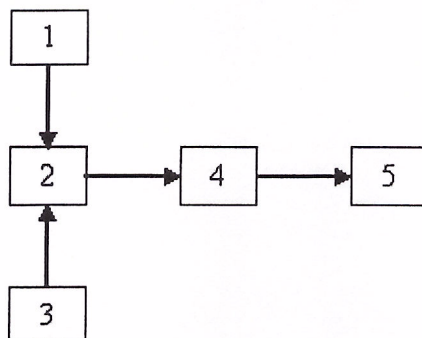


Рис. 1

- 1 – источник питания;
- 2 – датчик давления ADZ-SML-10, ДДВ;
- 3 – рабочий эталон (грузопоршневой манометр типа МП-6, МП-60, МП-600, калибратор давления DPI-610, генератор сигналов низкочастотный прецизионный ГЗ-110);
- 4 – плата ввода-вывода:
LC-451 для датчиков давления типа ДДВ;
LC-227С для датчиков давления типа ADZ-SML-10);
- 5 – ПК.

Отсоединить вход первичного преобразователя давления от магистрали испытательного стенда и соединить его с РЭ давления. Провести градуировку ИК давления в соответствии с методикой раздела 5.4.1.

5.4.3 Поверка ИК подсистемы измерения температуры (с термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК) и напряжения постоянного тока

Блок-схема поверки ИК подсистемы измерения температуры (с термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК) при поэлементном способе поверки и напряжения постоянного тока при комплектном способе поверки приведена на рис.2.

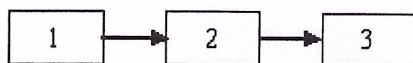


Рис. 2

- 1 – РЭ (Программируемый прибор для поверки вольтметров В1-13);
- 2 - плата ввода-вывода LC-227К;
- 3 - ПК.

Блок-схема комплектной поверки ИК подсистемы измерения температуры (с термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК), приведена на рис.3.

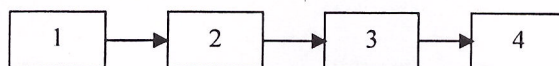


Рис. 3

- 1 – РЭ (калибратор температуры Fluke);
- 2 – термоэлектрические преобразователи ХА, ХК;
- 3 - плата ввода-вывода (LC-227К);
- 4 - ПК.

Поверку по схеме рис.2 проводить в следующей последовательности.

Отсоединить провода термопары, входящей в состав поверяемого ИК, от клеммного блока в испытательном боксе и подключить вместо нее к клеммному блоку РЭ В1-13.

Провести градуировку ИК по принятой в разделе 5.4.1 методике. Значения эталонного напряжения, задаваемого в контрольных точках, рассчитываются для каждого типа термопар с помощью полинома или берутся из таблиц, приведенных в ГОСТ Р 8.585-2001.

Поверку по схеме рис.3 проводить аналогично предыдущему, задавая контрольные значения температуры термопар ХА, ХК от рабочего эталона температур.

5.4.4 Поверка ИК подсистемы измерения температуры (с термопреобразователями сопротивления ТСП, ТСМ) и сопротивления постоянному току

Блок-схема поверки ИК подсистемы измерения температуры (с термопреобразователями сопротивления ТСП, ТСМ) при поэлементном способе поверки и сопротивления постоянному току при комплектном способе поверки приведена на рис.4.

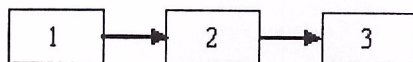


Рис. 4

- 1 – РЭ (магазин сопротивлений МСР-63);
- 2 - модули LC-114F, LC-116;
- 3 - ПК.

Блок-схема комплектной поверки ИК подсистемы измерения температуры (с термопреобразователями сопротивления ТСП, ТСМ), приведена на рис.5.

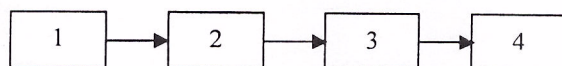


Рис. 5

- 1 – РЭ (калибратор температуры Fluke);
- 2 – термопреобразователь сопротивления ТСП;
- 3 - модули LC-114F, LC-116;
- 4 - ПК.

Поверку по схеме рис.4 проводить в следующей последовательности.

Отсоединить электрический кабель от термопреобразователя сопротивления, входящего в состав поверяемого ИК, и вместо термопреобразователя подключить с помощью жгута-переходника к этому кабелю РЭ (магазин сопротивлений). Провести градуировку по методике раздела 5.4.1. Значения эталонного сопротивления в контрольных точках термопреобразователя сопротивления берутся из таблиц, приведенных в ГОСТ 6651-94.

Поверку по схеме рис.5 проводить аналогично предыдущему, задавая контрольные значения температуры термопреобразователей сопротивления от рабочего эталона температур.

5.4.5 Поверка ИК подсистемы измерения частоты вращения роторов

Блок-схема поверки ИК подсистемы измерения частоты вращения роторов приведена на рис.6.

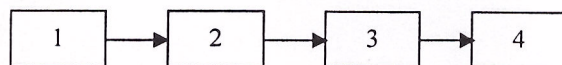


Рис. 6

- 1 – РЭ (генератор сигналов низкочастотный прецизионный ГЗ-110);
- 2 – усилитель-ограничитель сигналов низкой частоты ПЧ-6;
- 3 - плата ввода-вывода частотных сигналов LC-451;
- 4 – ПК.

Указав точку подключения ГЗ-110 к ПЧ-6. На каждом из каналов
~~5 - переходник для подключения ГЗ-110 к ПЧ-6.~~

Поверку по схеме рис.6 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 ГЗ-110.

Провести градуировку по методике раздела 5.4.1.

5.4.6 Поверка ИК подсистемы измерения расхода топлива

Поверка турбинных преобразователей расхода ТДР (ТПР) проводится автономно на РЭ (эталонная трубопоршневая установка).

Поверка части ИК подсистемы измерения расхода топлива проводится в составе стендовой АИИС в соответствии с блок-схемой, приведенной на рис.7.

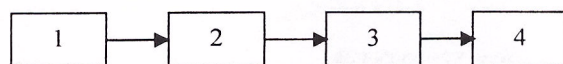


Рис. 7

1 – РЭ (генератор ГЗ-110);

2 – усилитель-ограничитель сигналов низкой частоты ПЧ-6;

3 – плата ввода-вывода частотных сигналов LC-451;

4 – ПК.

Поверку по схеме рис.7 проводить в следующей последовательности.

Отсоединить электрический кабель от ТПР, входящего в состав поверяемого ИК, и вместо него с помощью жгута-переходника подсоединить к этому кабелю РЭ генератор ГЗ-110.

Провести градуировку по методике раздела 5.4.1.

5.4.7 Поверка ИК подсистемы измерения силы тяги

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

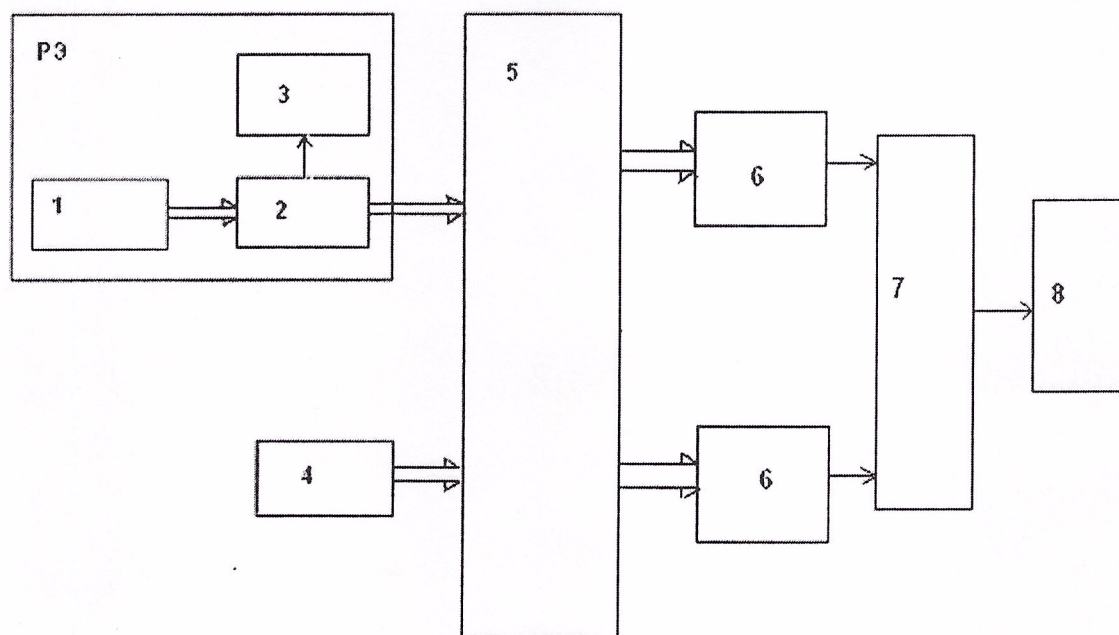


Рис. 8

1 - гидравлический нагружатель силы;

2 – тензорезисторный датчик силы типа С2;

3 - терминал весовой «ТВ-003/05Д»;

4 - СГУ;

- 5 - ДМП;
- 6 - тензометрические датчики силы М70К, С2;
- 7 - плата ввода-вывода LC-212F;
- 8 - ПК.

5.4.7.1 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:

при приложении к ДМП при помощи СГУ последовательно указанных сил 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 и записать в протокол вес этих дополнительных гирь. Повторить эксперимент с наложением гирь еще 2 раза. Порог реагирования СИС не должен превышать 0,02% от ВП.

5.4.7.2 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 от СГУ регулярную последовательность силы не менее чем из 11-ти контрольных значений 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 5.4.7.2.4) ещё четыре раза;
- Результаты градуировки занести в протокол поверки.

Примечание. При градуировке СИС необходимо соблюдать следующие правила:

- 1) Считывание и регистрацию показаний СИС производить после успокоения их показаний;
- 2). 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
- 3) Перерыв между следующими друг за другом однократными градуировками не должен превышать 10 минут;

5.4.7.3 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.

Градуировка СИС с помощью РЭ проводится в соответствии с блок-схемой рис.8. Для этого необходимо выполнить следующие операции:

- 1) Замкнуть силовую цепь РЭ;
- 2) Нагрузить СИС гидравлическим нагрузителем 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 механическим нагрузителем РЭ последовательность контрольных значений силы от условного нуля до $R_{\max}$, равным значениям силы по п.5.4.7.2.4) 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 работы по п.5.4.7.3.8) и п.5.4.7.3.9) еще четыре раза;
- 11) После окончания 5-той градуировки разомкнуть силовую цепь РЭ и записать в протокол поверки 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:

- 1) РЭ должен быть выдержан в помещении, где производится поверка не менее 3-х часов для принятия им температуры окружающего воздуха в этом помещении;
- 2) Считывание и регистрацию показаний силоизмерительной системы производить по командам специалиста, работающего с эталонным динамометром;
- 3) При осуществлении градуировки не допускать перехода через принятые контрольные значения силы и возврата к ним с противоположной стороны хода градуировки;
- 4) Не допускать перерыва между следующими друг за другом однократными градуировками более 10 минут;
- 5) Температура в боксе за период градуировки не должна изменяться более чем на $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

5.4.8 Поверка ИК подсистемы измерения расхода воздуха

Поверка подсистемы измерения расхода воздуха производится поэлементным способом поверкой геометрических параметров РМК на соответствие требованиям ОСТ 1 02555-85, поверкой подсистемы измерения температуры воздуха на входе в РМК по методике раздела 5.4.4., поверкой подсистем измерения 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 5.4.2.

5.4.9 Поверка ИК подсистемы измерения параметров вибрации

Поверка аппаратуры измерения роторных вибраций ИВ-Д-СФ-3М в комплекте с датчиками вибрации МВ-43-1Г, МВ-38 проводится автономно по методике ЖЯИУ. 421431.003 МП.

Поверка части ИК подсистемы измерения параметров вибрации, включающей УСО LC-111 и ПК, проводится в составе стендовой АИИС в соответствии с блок-схемой, приведенной на рис.9.

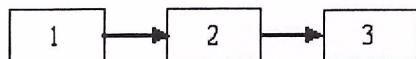


Рис. 9

1 – РЭ (Программируемый прибор для поверки вольтметров В1-13);

2 - плата ввода-вывода LC-111;

3 - ПК.

Поверку проводить в следующей последовательности.

Отсоединить провода аппаратуры ИВ-Д-СФ-3М от клеммного блока в испытательном боксе и подключить вместо нее к клеммному блоку прибор В1-13. Провести градуировку ИК по принятой в разделе 5.4.1 методике.

5.5 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 ИС) и др.

Дополнительные погрешности $\Delta j_{\text{доп}}$ из-за влияющих величин учитываются при оценке суммарной погрешности ИК ИС при выполнении критерия существенности

$$\sum_j \tilde{\Delta}_{j\text{доп}} / \Delta \geq 0,17 ,$$

где Δ - допускаемая суммарная погрешность ИК.

Характеристики чувствительности к влияющим величинам оцениваются либо расчетным способом, используя паспортные данные на датчики и измерительную аппаратуру и УСО, или путем экспериментальных исследований. В последнем случае проводят пятикратные градуировки при максимальном, минимальном и номинальном значениях влияющих величин по методике раздела 5.4.

6 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

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

6.1 Находят и исключают грубые промахи

При нормальном законе распределения результатов наблюдений грубые промахи исключают в соответствии с указаниями ГОСТ Р 8.207 по формулам ГОСТ 11.002 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 на стадии просмотра результатов наблюдений при градуировке.

6.2 Определение индивидуальной функции преобразования

Индивидуальная функция 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:

$$x = a_0 + a_1 y + \dots + a_d y^d \quad (1)$$

либо кусочно-линейной зависимостью

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

где $a_0, a_1, \dots, a_d$ – 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.

Значения y_k и q_{sfk} определяются по формулам:

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

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

6.3 Определение характеристики основной погрешности на каждой k -той контрольной точке

6.3.1 Определение неисключенной систематической составляющей абсолютной погрешности

6.3.1.1 ИК подсистем измерения давления воздуха (газа) и жидкостей, частоты вращения роторов, напряжения постоянного тока и сопротивления постоянному току

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

$$\tilde{\Delta}_{osk} = 1.1 \sqrt{\tilde{\Delta}_{oska}^2 + \Delta_{обп}^2}, \quad (5)$$

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

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

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

$$\tilde{\Delta}_{oska} = 0 ; \quad (7)$$

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

6.3.1.2 ИК подсистемы измерения температуры (с термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК) и напряжения постоянного тока

При поэлементной поверке ИК температуры

$$\tilde{\Delta}_{osk} = 1.1 \sqrt{\tilde{\Delta}_{oska}^2 + \Delta_{ТП}^2 + \Delta_{xc}^2 + \Delta_{обр}^2}, \quad (8)$$

где: $\tilde{\Delta}_{oska}$ - НСП аппроксимации части ИК, включающей плату LC-227К и ПК.

$\tilde{\Delta}_{oska}$ определяется по формуле (6);

$\Delta_{ТП}$ – пределы допускаемых отклонений ТЭДС от НСХ термопары.

(Приложение В ГОСТ Р 8.585-2001);

Δ_{xc} - погрешность ИК температуры холодных спаев.

При комплектной поверке ИК температуры

$$\tilde{\Delta}_{osk} = 1.1 \sqrt{\tilde{\Delta}_{oska}^2 + \Delta_{обр}^2 + \Delta_{xc}^2} \quad (9)$$

где: $\tilde{\Delta}_{oska}$ - НСП аппроксимации ИК.

При комплектной поверке ИК напряжения постоянного тока погрешность

$\tilde{\Delta}_{osk}$ определяется по формуле (9). Здесь $\tilde{\Delta}_{oska}$ - НСП аппроксимации ИК, включающего плату LC-227К и ПК.

6.3.1.3 ИК подсистемы измерения температуры (с термопреобразователями сопротивления ТСП, ТСМ) и электрического сопротивления постоянному току

При поэлементной поверке ИК температуры

$$\tilde{\Delta}_{osk} = 1.1 \sqrt{\tilde{\Delta}_{oska}^2 + \Delta_{ТСП}^2 + \Delta_{обр}^2} \quad (10)$$

где $\tilde{\Delta}_{oska}$ - НСП аппроксимации части ИК, включающей платы LC-114F, LC-116 и ЭВМ (определяется по формуле (6));

$\Delta_{ТСП}$ – погрешность термопреобразователя сопротивления. Определяется по паспорту на ПП или по ГОСТ 6651-94 в зависимости от типа ПП и класса (А, В, С).

При комплектной поверке ИК температуры и сопротивления

$$\tilde{\Delta}_{osk} = 1.1 \sqrt{\tilde{\Delta}_{oska}^2 + \Delta_{обр}^2} \quad (11)$$

$\tilde{\Delta}_{osk}$ определяется по формуле (11).

Здесь $\tilde{\Delta}_{oska}$ - НСП аппроксимации ИК, включающей платы LC-114F, LC-116 и ЭВМ.

6.3.1.4 ИК подсистемы измерения расхода топлива

$$\tilde{\Delta}_{osk} = 1.1 \cdot G_m \cdot \sqrt{(\Delta(F)/F)^2 + (\Delta(Q)/Q)^2 + (\Delta(\rho)/\rho)^2} \quad (12)$$

где: G_m – измеренное значение массового расхода топлива;

$\Delta(F)/F$ - НСП части ИК АИИС, включающей плату LC- 451 и ПК;

$\Delta(Q)/Q$ - НСП датчика ТДР (ТПР),

$$\Delta(Q)/Q = \sqrt{(\Delta(Q_{тпр})/Q)^2 + \delta_{обр}^2 + \delta_{нест}^2} \quad ,$$

где $\Delta(Q_{тпр})/Q$ – относительное значение НСП из-за погрешности аппроксимации градуировочной характеристики ТДР, берется из протоколов поверки ТДР на эталонной (образцовой) установке;

$\delta_{обр}$ – относительное значение погрешности образцовой установки, $\delta_{обр}=0,0015$;

$\delta_{нест}$ – относительное значение погрешности, обусловленной временной нестабильностью ТДР,

$\delta_{нест}=0,003$ за межповерочный интервал 1 год;

$\Delta(\rho)/\rho$ - относительное значение НСП измерения плотности топлива,

$$\Delta(\rho)/\rho = ((\delta_\rho)^2 + (\gamma \cdot \Delta_t / \rho)^2)^{0.5} \quad (13)$$

где: δ_ρ - погрешность измерения плотности топлива ареометром;

γ - температурный коэффициент плотности топлива;

ρ - номинальная плотность топлива при 20°C.

Δ_t - систематическая погрешность измерения температуры топлива с помощью термопреобразователя сопротивления. Δ_t определяется по формулам (10, 11).

6.3.1.5 ИК подсистемы измерения силы тяги

$$\begin{aligned} \tilde{\Delta}_{osk} &= 1,1((\tilde{\Delta}_{osk1} + \tilde{\Delta}_{osk2})^2 + \Delta_{обр}^2)^{0.5} \quad , \\ \tilde{\Delta}_{osk1} &= R_{прив.изм.к1} - 1/2 \cdot R_{прив.дин.т.к} \quad , \\ \tilde{\Delta}_{osk2} &= R_{прив.изм.к2} - 1/2 \cdot R_{прив.дин.т.к} \quad , \end{aligned} \quad (14)$$

где: $R_{прив.изм.к1}$, $R_{прив.изм.к2}$ - сила, измеренная 1-вым и 2-рым датчиками силы М70К силоизмерительной системой стенда в к-той контрольной точке, приведенная к 1-ой контрольной точке при градуировке её с помощью СГУ;

$R_{прив.дин.т.к}$ - сила, воспроизведённая эталонным динамометром в к-той контрольной точке с учетом температурной поправки, приведенная к 1-ой контрольной точке;

$\Delta_{\text{обр}}$ - погрешность эталонного динамометра.

6.3.1.6 ИК подсистемы измерения расхода воздуха

$$\tilde{\Delta}_{\text{оск}} = 1.1 \cdot G_{\text{в}} \cdot \left[W^2(\mu) \cdot (\Delta(\mu)/\mu)^2 + W^2(d_{\text{м}}) \cdot (\Delta(d_{\text{м}})/d_{\text{м}})^2 + W^2(T_{\text{о}}) \cdot (\Delta(T_{\text{о}})/T_{\text{о}})^2 + \right. \\ \left. + W^2(\Delta P) \cdot (\Delta(\Delta P)/\Delta P)^2 + W^2(P_{\text{к}}) \cdot (\Delta(P_{\text{к}})/P_{\text{к}})^2 + W^2(\Delta P_{\text{о}}) \cdot (\Delta(\Delta P_{\text{о}})/\Delta P_{\text{о}})^2 \right]^{0,5} \quad (15)$$

где: $G_{\text{в}}$ – измеренное значение массового расхода воздуха;

$\Delta(\zeta_j)/\zeta_i$ - относительное значение НСП результата измерения параметра ζ_j ;

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

грешность определения расхода;

Здесь обозначены аргументы ζ_i :

μ - коэффициент расхода РМК;

$d_{\text{м}}$ - средний диаметр сечения мерного участка РМК;

$P_{\text{к}}$ - атмосферное давление;

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

$\Delta P_{\text{о}}$ - перепад между атмосферным и полным давлением на входе РМК;

$T_{\text{о}}$ – осредненная температура воздуха на входе в РМК.

Примечание. В формулу (15) не включены составляющие погрешности измерения расхода воздуха, обусловленные температурным изменением диаметра РМК и погрешностью измерения влажности воздуха, вследствие их незначительности ($\leq 0,1\%$).

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

$$W(T_{\text{о}}) = -\frac{1}{2},$$

$$W(P_{\text{к}}) = \frac{P_{\text{к}}}{\Delta P} (\pi - 1) (W(\Delta P) - 1),$$

$$W(\Delta P_{\text{о}}) = -\frac{\Delta P_{\text{о}}}{\Delta P} \cdot (\pi - 1) (W(\Delta P) - 1)$$

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

(16)

$$\pi = \frac{0,995(P_k - \Delta P_o) - 1,009\Delta P}{0,995(P_k - \Delta P_o) - 0,009\Delta P}$$

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

$$W(\mu) = 1, \quad W(F_M) = 1$$

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

$$\pi = 1 - \frac{\Delta P}{P_k - \Delta P_o}, \quad D = \pi - 1 \quad (17)$$

6.3.1.7 ИК подсистемы измерения параметров вибрации

НСП части ИК подсистемы измерения параметров вибрации, включающей УСО LC-111 и ПК, определяется в виде

$$\tilde{\Delta}_{osk} = 1.1 \sqrt{\tilde{\Delta}_{oska}^2 + \Delta_{обр}^2} \quad (18)$$

где: $\tilde{\Delta}_{oska}$ - НСП, обусловленная погрешностью аппроксимации, определяемая по формуле (6);
 $\Delta_{обр}$ - погрешность РЭ (В1-13).

6.3.2. Определение среднего квадратического отклонения случайной составляющей абсолютной погрешности

6.3.2.1 ИК подсистем измерения давления и температуры воздуха (газа) и жидкостей, силы тяги, частоты вращения роторов, напряжения постоянного тока и сопротивления постоянному току

$$\tilde{\sigma}_{[\Delta_{ок}]} = \sqrt{\frac{\sum_n \sum_i (x'_{ikn} - x'_k)^2 + \sum_n \sum_i (x''_{ikn} - x''_k)^2}{2ml - 1}} \quad (19)$$

где: x'_{ikk}, x''_{ikk} - 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.

$$x'_k = \frac{1}{ml} \sum_n \sum_i x'_{ikn} \quad (20)$$

$$x_k'' = \frac{1}{ml} \sum_n \sum_i x_{ikn}''$$

6.3.2.2 ИК подсистемы измерения расхода топлива

$$\tilde{\sigma}_{[\Delta_{ок}]} = G_m \cdot \sqrt{(\sigma(F)/F)^2 + (\sigma(Q)/Q)^2 + (\sigma(\rho)/\rho)^2}, \quad (21)$$

где: $\sigma(Q)/Q$ – относительное значение СКО турбинного преобразователя расхода ТДР. Берется из протоколов поверки ТДР на эталонной установке;

$\sigma(F)/F$ – относительное значение СКО части ИК, включающего плату LC-451 и ПК, $\sigma(F)/F$ определяется по формуле (19);

$\sigma(\rho)/\rho$ – относительное значение СКО измерения плотности топлива,

$$\sigma(\rho)/\rho = \frac{\gamma \cdot \sigma(t)/t}{\rho} \quad (22)$$

$\sigma(t)/t$ – СКО измерения температуры топлива. Определяется по формуле (19).

6.3.2.3 ИК подсистемы измерения расхода воздуха

$$\tilde{\sigma}_{[\Delta_{ок}]} = G_s \cdot \left[W^2(T_o) \cdot (\sigma(T_o)/T_o)^2 + W^2(\Delta P) \cdot (\sigma(\Delta P)/\Delta P)^2 + W^2(\Delta P_o) \cdot (\sigma(\Delta P_o)/\Delta P_o)^2 \right]^{0,5} \quad (23)$$

где: $\sigma(\zeta_j)$ – относительное значение СКО параметров ζ_j (T_o , ΔP , ΔP_o) результата измерения, $\sigma(\zeta_j)$ определяются по формуле (19).

6.3.2.4. ИК подсистемы измерения параметров вибрации

СКО случайной составляющей относительной погрешности части ИК, включающей УСО LC-111 и ПК определяется по формуле (19).

6.3.3 Определение случайной составляющей абсолютной погрешности

6.3.3.1 ИК подсистем измерения давления

$$\tilde{\Delta}_{ок} = \tau \cdot \sqrt{\tilde{\sigma}_{[\Delta_{ок}]}^2 + \frac{\tilde{H}_{ок}^2}{12}}, \quad (24)$$

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

$\tilde{H}_{ок}$ – абсолютное значение вариации, $\tilde{H}_{ок} = |x_k' - x_k''|$.

6.3.3.2 ИК подсистем измерения силы тяги

$$\begin{aligned}\tilde{\Delta}_{ок} &= (\tilde{\Delta}_{ок1}^2 + \tilde{\Delta}_{ок2}^2)^{1/2} \\ \tilde{\Delta}_{окi} &= \tau \cdot \sqrt{\tilde{\sigma}_{[\Delta_{окi}]}^2 + \frac{\tilde{H}_{окi}^2}{12}},\end{aligned}\quad (25)$$

где $\tilde{\Delta}_{окi}$ - случайная составляющая абсолютной погрешности измерения силы 1-вым (i=1) и 2-рым (i=2) датчиками силы М70К силоизмерительной системой стенда в к-той контрольной точке.

Примечание. Для ИК подсистем измерения температуры возд уха (газа) и жидкостей, частоты вращения роторов, напряжения постоянного тока и сопротивления, параметров вибрации, расхода топлива и воздуха допускается погрешностью вариации пренебречь, и случайную составляющую абсолютной погрешности определять в виде

$$\tilde{\Delta}_{ок} = \tau \cdot \tilde{\sigma}_{[\Delta_{ок}]}, \quad (26)$$

6.3.4 Абсолютная погрешность ИК (за исключением ИК параметров вибрации)

$$\begin{aligned}\tilde{\Delta}_{окабс} &= K \cdot (\tilde{\Delta}_{осл} + \tilde{\Delta}_{ок}) \quad \text{при } 8 > (\tilde{\Delta}_{оск} \cdot \tau / \tilde{\Delta}_{ок}) > 0.8, \\ \tilde{\Delta}_{окабс} &= \tilde{\Delta}_{осл} \quad \text{при } (\tilde{\Delta}_{оск} \cdot \tau / \tilde{\Delta}_{ок}) \geq 8, \\ \tilde{\Delta}_{окабс} &= \tilde{\Delta}_{ок} \quad \text{при } (\tilde{\Delta}_{оск} \cdot \tau / \tilde{\Delta}_{ок}) \leq 0.8,\end{aligned}\quad (27)$$

Здесь коэффициент К 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
К	0.77	0.74	0.71	0.73	0.76	0.78	0.79	0.80	0.81

6.3.5 Абсолютная погрешность ИК параметров вибрации

$$\tilde{\Delta}_{окабс} = \sqrt{\tilde{\Delta}_{оив}^2 + \Delta_{окабс}^2}, \quad (28)$$

где $\tilde{\Delta}_{оив}$ - абсолютная погрешность части ИК, включающей аппаратуру измерения роторных вибраций ИВ-Д-СФ-3М-4 и датчики вибрации МВ-43-1Г, МВ-38. Определяется по результатам ее автономной поверки Государственной метрологической службой ФГУ «ТЕСТ-С.-ПЕТЕРБУРГ» по методике ЖЯИУ. 421431.003 МП.

$\tilde{\Delta}_{окабс}$ - абсолютная погрешность части ИК, включающей УСО LC-111 и ПК.

$\tilde{\Delta}_{окабс}$ определяется по формулам (27).

6.4 Определение характеристик основной погрешности ИК

6.4.1 Абсолютная погрешность ИК

$$\tilde{\Delta}_o = \max(\tilde{\Delta}_{окабс}) \quad (29)$$

6.4.2 Относительная погрешность ИК

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

6.4.3 Приведенная погрешность ИК:

$$\text{- к верхнему пределу измерений (ВП)} \quad \tilde{\gamma}_o = \frac{\tilde{\Delta}_o}{ВП} \cdot 100\% \quad ; \quad (31)$$

$$\text{- к нормированному значению (НЗ)} \quad \tilde{\gamma}_o = \frac{\tilde{\Delta}_o}{НЗ} \cdot 100\% \quad . \quad (32)$$

$$\text{- к } 0,5 ВП \quad \tilde{\gamma}_o^* = \frac{\tilde{\Delta}_o}{0,5 ВП} \cdot 100\% \quad (33)$$

6.5 Определение характеристик суммарной погрешности ИК в реальных условиях эксплуатации

6.5.1 Абсолютная погрешность ИК

$$\tilde{\Delta} = \sqrt{\tilde{\Delta}_o^2 + \tilde{\Delta}_{дон}^2} \quad , \quad (34)$$

$$\tilde{\Delta}_{дон} = 1,1 \sqrt{\sum_{j=1}^m \tilde{\Delta}_{j\,дон}^2} \quad , \quad (35)$$

где: $\tilde{\Delta}_{дон}$ - дополнительная погрешность ИК ИС;

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

6.5.2. Относительная погрешность ИК

$$\tilde{\delta} = \frac{\tilde{\Delta}}{x_k} \cdot 100\% \quad (36)$$

6.5.3 Приведенная погрешность ИК:

- к верхнему пределу измерений (ВП) $\tilde{\gamma} = \frac{\tilde{\Delta}}{ВП} \cdot 100\% \quad ; \quad (37)$

- к нормированному значению (НЗ) $\tilde{\gamma} = \frac{\tilde{\Delta}}{НЗ} \cdot 100\% \quad (38)$

- к 0,5ВП $\tilde{\gamma}^* = \frac{\tilde{\Delta}}{0,5ВП} \cdot 100\% \quad (39).$

Значения погрешностей $\tilde{\Delta}_{j\text{дон}}$ берутся из паспортов на средства измерений, входящие в ИК. При необходимости значения $\tilde{\Delta}_{j\text{дон}}$ могут быть определены экспериментально путем воспроизведения реальных условий эксплуатации ИК СИ и проведения градуировок по методике разделов 5.4.1 ... 5.4.9.

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 СИ на k -той контрольной точке

$$\Psi_{jks}(\xi_j) = A_{jks} \cdot \Delta\xi_j, \quad (40)$$

где: $A_{jks} = \frac{f[y_k(\xi_{jnp})] - f[y_k(\xi_{jref})]}{\xi_{jnp} - \xi_{jref}};$ (41)

$$\Delta\xi_j = \xi_j - \xi_{jref}; \quad (42)$$

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

ξ_j – текущее значение j -той влияющей величины;

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

влияния;

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

$y_k(\xi_{jnp})$ – среднее значение результатов наблюдений на k -той ступени

при воздействии на СИ предельного значения j -й влияющей величины;

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

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

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

$$\{\Psi_{jk\sigma}(\xi_j) + \tilde{\sigma}_{[\Delta_{ок} \xi_j]}\}^2 = |\tilde{\sigma}_{[\Delta_{ок} \xi_j]}|^2 \quad (43)$$

$$\tilde{\sigma}_{|\Delta_{ок} \xi_j|} = \sqrt{\frac{\sum_n \sum_i [f[y'_{ikn}(\xi_{jnp}) - f[y'_k(\xi_{jnp})]]^2 + \sum_n \sum_i [f[y''_{ikn}(\xi_{jref}) - f[y''_k(\xi_{jref})]]^2}{2ml - 1}}, \quad (44)$$

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

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

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

$$\Psi_{jk\epsilon}(\xi_j) = \tau \cdot \Psi_{jk\sigma}(\xi_j) \quad (45)$$

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

$$\tilde{\Delta}_{jk_{дон}} = K \cdot (\Psi_{jks}(\xi_j) + \Psi_{jk\epsilon}(\xi_j)) \quad \text{при } 8 > (\psi_{jks}(\xi_j) \cdot \tau / \psi_{jk\epsilon}(\xi_j)) > 0.8,$$

$$\tilde{\Delta}_{jk_{дон}} = \psi_{jks}(\xi_j) \quad \text{при } (\psi_{jks}(\xi_j) \cdot \tau / \psi_{jk\epsilon}(\xi_j)) \geq 8, \quad (46)$$

$$\tilde{\Delta}_{jk_{дон}} = \psi_{jk\epsilon}(\xi_j) \quad \text{при } (\psi_{jks}(\xi_j) \cdot \tau / \psi_{jk\epsilon}(\xi_j)) \leq 0.8.$$

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 СИ

$$\tilde{\Delta}_{j_{дон}} = \max(\tilde{\Delta}_{jk_{дон}}) \quad (47)$$

7 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

7.1 Результаты исследований по определению погрешностей и диапазонов измерений ИК системы СИ-1/ГТД заносятся в Протокол (приложение В).

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

7.3. Система измерительная СИ-1/ГТД 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 РЭ и другим нормативным документам;
- метрологические характеристики соответствуют требованиям ОСТ 1 01021-93 и методики поверки 032-040-05 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

Приложение А

Основные метрологические характеристики СИ-1/ГТД

Подсистема измерения силы тяги

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений, кгс	Пределы допускаемой погрешности, %
Сила от тяги двигателя	от 1000 до 10000	$\pm 0,5$ от ИЗ в диапазоне от 0,5 до 1,0 ВП $\pm 0,5$ 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 3200	$\pm 0,15$ ВП = 3200 Гц
	компрессора	от 300 до 3700	$\pm 0,15$ ВП = 3700 Гц

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

Подсистема измерения температуры (с термопреобразователями сопротивления ТСП) и сопротивления

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности
Температура газа за турбиной низкого давления (ТНД)	от 273 до 1273 К	± 1 % от ВП
Температура газа за ТНД (по термопаре открытого спая)	от 273 до 1273 К	± 1 % от ВП
Температура воздуха на входе в двигатель	от 223 до 323 К	$\pm 0,5$ % от ИЗ
Температура холодного спая	от 223 до 323 К	$\pm 0,5$ % от ИЗ
Температура масла на выходе из откачивающих насосов двигателя	от 0 до 250 °С	$\pm 1,5$ % от НЗ НЗ=250 °С
Температура топлива на входе в двигатель	от минус 50 до 50 °С	$\pm 1,5$ % от НЗ (НЗ – нормированное значение) НЗ=100 °С
Напряжение постоянного тока, соответствующее значениям температур, измеряемых с помощью преобразователей ХА, ХК	от 0 до 50 мВ	$\pm 0,3$ % от ВП
Сопротивление постоянному току, соответствующее значениям температур, измеряемых с помощью преобразователей ТСП, ТСМ	от 46 до 146 Ом	$\pm 0,2$ Ом

Подсистема измерения давления

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности
Атмосферное давление	от 720 до 800 мм рт. ст.	$\pm 0,5$ мм рт.ст.
Давление воздуха (газа) по тракту ГТД	от 0 до 20 кгс/см ²	$\pm 0,5$ % от ВП
Перепад между полным давлением на входе РМК и статическим давлением в мерном сечении	от 0 до 20 кПа (от 0 до 2000 мм вод. ст.)	$\pm 0,5$ % от ИЗ в диапазоне от 0,5 до 1,0 ВП $\pm 0,5$ % от 0,5 ВП в диапазоне от 0 до 0,5 ВП ВП= 20 кПа.
Перепад между полным давлением на входе РМК и контрольным статическим давлением в мерном сечении	от 0 до 20 кПа (от 0 до 2000 мм вод. ст.)	$\pm 0,5$ от ИЗ в диапазоне от 0,5 до 1,0 ВП
Перепад между атмосферным давлением и полным давлением на входе в РМК	от 0 до 1,6 кПа (от 0 до 160 мм вод. ст.)	5 мм вод.ст.
Давление рабочих жидкостей (топлива, масла)	от 0 до 60 кгс/см ²	± 1 % от ВП

Подсистема измерения расхода топлива

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

Подсистема измерения расхода воздуха

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений, кг/с	Пределы допускаемой погрешности, %
Массовый расход воздуха	от 58 до 83	$\pm 0,7$ от ИЗ

Подсистема измерения параметров вибрации

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений, мм/с	Пределы допускаемой погрешности, %
Виброскорость двигателя в контрольных точках	от 0 до 100	± 10 от ВП

Приложение Б

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

Число степеней свободы 2ml-1	Доверительная вероятность $P=0,95$	Число степеней свободы 2ml-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	-	1,960

Приложение В

Протокол №

(Форма)

определения погрешностей и диапазонов измерений ИК измерительной системы
СИ-1/ГТД стенда № 1, корп. 2 для испытаний газотурбинных двигателей
предприятия ОАО «ММП им. В.В.Чернышева»

1 Средства исследований

Рабочий эталон

.....

2 Условия испытаний:

Температура окружающего воздуха, °C

-в боксе.....

-в пультовой.....

Атмосферное давление, мм рт. ст.

Влажность, %.....

3 Документ, в соответствии с которым проводились исследования,

..... методика поверки 032-040-05 МП.....

4 Результаты экспериментальных исследований

4.1 Внешний осмотр

.....

.....

4.2 Результаты опробования

.....

.....

4.3 Результаты метрологических исследований

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

Результаты определения погрешностей и диапазонов измерений ИК измерительной системы СИ-1/ГТД представлены в Таблице.

Условия исследования:

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

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

5 Выводы.....

.....

6 Заключение.....

.....

Представитель 32 ГНИИ МО РФ

Представители ОАО «ММП им. В.В.Чернышева»

Поверитель

Главный метролог

Начальник цеха

(наименование органа Государственной метрологической службы, юридического лица)

СВИДЕТЕЛЬСТВО
о поверке №
(Форма)

Действительно до «___» _____ 200 г.

Средство измерений _____
Наименование, тип

Заводской номер _____

Изготовитель _____

Принадлежащее _____
наименование юридического (физического) лица

поверено и на основании результатов первичной поверки признано пригодным к применению в соответствии с требованиями ОСТ 101021-93

Поверка произведена по методике: 032-040-06 МП
номер или полное наименование нормативного документа

Протоколы поверки прилагаются. _____

Оттиск поверительного клейма
или печати (Штампа)

Главный метролог

подпись

инициалы, фамилия

Поверитель

подпись

инициалы, фамилия

«___» _____ 200 г.