

1343

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Главный метролог
ОАО «ММП им.В.В.Чернышева»

Начальник ГЦИ СИ «Воентест»
32 ГИИИ МО РФ

_____ В.Д. Денисов

_____ А.Ю. Кузин

« _____ » _____ 2007 г.

« 15 » 05 _____ 2007 г.



Инструкция

**СИСТЕМА ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ
СИ-3/ГТД**

**Методика поверки
550.80.849.00077 МП**

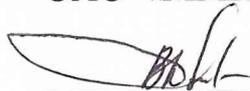
2007 г.

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Главный метролог
ОАО «ММП им.В.В.Чернышева»

Начальник ГЦИ СИ «Воентест»
32 ГНИИИ МО РФ

 В.Д. Денисов

_____ А.Ю. Кузин

« 10 » _____ мая 2007 г.

« _____ » _____ 2007 г.

Инструкция

СИСТЕМА ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИ-3/ГТД

Методика поверки
550.80.849.00077 МП

Москва

2007 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. Настройка компьютерной программы поверки	11
5.3. Опробование ИК	11
5.4. Порядок проведения поверки	12
5.4.1 Установление способов поверки	12
5.4.2 Установление параметров поверки	12
5.4.3 Поверка ИК подсистемы измерения давления	14
5.4.4 Поверка ИК подсистемы измерения температуры (с термопреобразователями сопротивления ТСП, ТСМ)	15
5.4.5 Поверка ИК подсистемы измерения температуры (с термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК) и напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температуры	16
5.4.6 Поверка ИК подсистемы измерения частоты вращения роторов	18
5.4.7 Поверка ИК подсистемы измерения расхода топлива	18
5.4.8 Поверка ИК подсистемы измерения силы от тяги	19
5.4.9 Поверка ИК подсистемы измерения расхода воздуха	21
5.4.10 Поверка ИК подсистемы измерения параметров вибрации	21
5.5. Определение характеристик чувствительности к влияющим величинам	22
6. Обработка результатов поверки	23
7. Оформление результатов поверки	32
Приложение А. Библиография	33
Приложение Б. Перечень параметров измерительной системы СИ-3/ГТД, подлежащих поверке, диапазоны измерений и пределы допускаемых погрешностей измерений	34
Приложение В. Значения коэффициента Стьюдента-Фишера в зависимости от числа степеней свободы при доверительной вероятности $P=0,95$	37
Приложение Г. Протокол № определения погрешностей и диапазонов измерений измерительной системы СИ-3/ГТД стенда № 5А для испытаний газотурбинных двигателей предприятия ОАО «ММП им. В.В.Чернышева» (Форма)	38

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая методика поверки (МП) устанавливает порядок, методы и средства проведения первичной и периодической поверок измерительной системы СИ-3/ГТД, принадлежащей предприятию ОАО «ММП им. В.В.Чернышева», предназначенной для испытаний газотурбинных двигателей на стенде № 5А. Перечень параметров измерительной системы СИ-3/ГТД (далее по тексту ИС), подлежащих поверке, диапазоны измерений и пределы допускаемых погрешностей измерений этих параметров приведены в приложении Б.

МП разработана в соответствии с требованиями ГОСТ 8.009-84 (1), ОСТ 1 01021-93 (9), ГОСТ 8.207-76(2), ПР 50.2.006-94 (12), МИ 2083-90 (6), РМГ 51-2002 (5), ОСТ 1 00487-83(10).

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

ИС включает в себя подсистемы для измерений следующих параметров ГТД:

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

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

- *комплектная поверка ИК - прямые измерения*, когда сквозной градуировке подвергается весь ИК и по результатам градуировки определяются МХ ИК как единого целого;

- *поэлементная поверка ИК - прямые измерения*, когда комплектной поверке (прямые измерения) подвергаются отдельные части ИК и по результатам определяются МХ ИК в целом. Для этого способа допускается использовать результаты автономной поверки отдельных частей ИК, стандартизованные МХ и (или) паспортные данные на средства измерений;

- *поэлементная поверка ИК - косвенные измерения*, когда отдельные части ИК подвергаются *комплектной* поверке - прямые измерения и (или) *поэлементной* поверке - прямые измерения и по результатам оцениваются МХ ИК в целом.

Периодичность поверки измерительной системы СИ-3/ГТД - 1 год, за исключением подсистемы измерения силы тяги, для которой межповерочный интервал между первичной и первой периодической поверкой - 1 год, и при положительных результатах поверки, периодичность последующих поверок подсистемы измерения силы тяги в соответствии с ОСТ 1 02517-84(12) - 1 раз в два года.

Принятые в документе сокращенные обозначения:

ГТД – газотурбинный двигатель;
МП - методика поверки;
ТД - техническая документация;
ИК - измерительный канал;
АЦП – аналого-цифровой преобразователь;
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
<p>1 Характеристики, предназначенные для определения результатов измерений:</p> <p>1.1 Индивидуальная функция преобразования</p> <p>1.2 Цена единицы наименьшего разряда кода АЦП</p>	<p>полином степени $n \leq 4$ $x=f(y)= a_0+a_1+\dots+a_n y^n$; кусочно-линейная функция $x=x_k+q_{sfk}(y-y_k)$</p> <p>q_{sf}</p>
<p>2. Характеристики погрешностей:</p> <p>2.1. Характеристики основной погрешности на каждой k-той контрольной точке:</p> <p>2.1.1. Неисключенная систематическая составляющая абсолютной погрешности</p> <p>2.1.2. Среднее квадратическое отклонение (СКО) случайной составляющей абсолютной погрешности.</p> <p>2.1.3. Абсолютное значение вариации</p> <p>2.1.4. Случайная составляющая абсолютной погрешности</p> <p>2.1.5. Абсолютная погрешность</p> <p>2.2. Характеристики основной погрешности:</p> <p>2.2.1. Абсолютная погрешность</p> <p>2.2.2. Относительная погрешность</p> <p>2.2.3 Приведенная к ВП погрешность</p> <p>2.2.4 Приведенная к 0,5ВП погрешность</p> <p>2.3. Характеристики суммарной погрешности в реальных условиях эксплуатации.</p> <p>2.3.1. Абсолютная погрешность.</p> <p>2.3.2. Относительная погрешность.</p> <p>2.3.3. Приведенная к ВП погрешность</p> <p>2.3.4. Приведенная к 0,5 ВП погрешность.</p>	<p>$\tilde{\Delta}_{окк}$</p> <p>$\tilde{\sigma} [\Delta_{ок}]$</p> <p>$\tilde{H}_{ок}$</p> <p>$\tilde{\Delta}_{ок}$</p> <p>$\tilde{\Delta}_{окабс}$</p> <p>$\tilde{\Delta}_o$</p> <p>$\tilde{\delta}_o$</p> <p>$\tilde{\gamma}_o$</p> <p>$\tilde{\gamma}_o^*$</p> <p>$\tilde{\Delta}$</p> <p>$\tilde{\delta}$</p> <p>$\tilde{\gamma}$</p> <p>$\tilde{\gamma}^*$</p>

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, 6.5	да	да
7 Определение суммарной погрешности ИК в реальных условиях эксплуатации	6.6	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
5.3, 5.4.3	Манометры избыточного давления грузопоршневые: МП-6: диапазон измерений от 0 до 0,6 МПа, класс точности 0,05; МП-60: диапазон воспроизведения от 0,1 до 6 МПа, класс точности 0,05; МП-600: диапазон воспроизведения от 1 до 60 МПа, класс точности 0,05.
5.3, 5.4.3, 5.4.9	Калибратор давления DPI-610: диапазон измерений от минус 0,35 до 0,35 кгс/см ² , класс точности 0,025.
5.3, 5.4.5, 5.4.7, 5.4.10	Прибор для поверки вольтметров программируемый В1-13: погрешность измерений напряжения постоянного тока $5 \cdot 10^{-5} U_k + 40$ мкВ в диапазоне от 10 мкВ до 10В, погрешность измерений постоянного тока $1 \cdot 10^{-4} I_k + 1$ мкА в диапазоне от 100 нА до 100 мА.
5.3, 5.4.4, 5.4.9	Магазин сопротивлений МСР-60М: диапазон измерений от 10^{-2} до 10^4 Ом, КТ $0,02/2 \cdot 10^{-5}$

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
5.3, 5.4.6	Генератор сигналов низкочастотный прецизионный ГЗ-110: диапазон генерирования сигналов от 0,01 Гц до 2 МГц, погрешность не более $3 \cdot 10^{-5} \%$.
5.4.8	Датчик весоизмерительный тензорезисторный серии «С»: диапазон измерений от 0 до 20 т, погрешность 0,04%.
5.3, 5.4.8	Стендовое контрольно-поверочное градуировочное тензогидравлического типа по ОСТ 1 02677-89: диапазон измерения от 0 до 100000 кгс, погрешность не более 0,2 %.
5.4.4, 5.4.5	Калибратор температуры Fluke серия 500, модель 518: диапазон измерений от минус 30 до 670 °С, погрешность не более 0,25 °С.
5.4.10	Вибропреобразователь ускорения 8305 фирмы «Брюль и Кьер»: частотный диапазон от 0,1 до 4500 Гц, чувствительность 0,125 пКл/м·с ² , погрешность не более 3%.
5.4.8	Набор гирь (1 мг - 1кг) E ₂ ГОСТ 7328-2001
<i>Вспомогательное оборудование</i>	
5.3	Преобразователь измерительный температуры и влажности ИПТВ-056/МЗ (диапазон измерения температуры от минус 40 до 110 °С, диапазон измерения влажности от 0 до 100%, погрешность измерения температуры не более 0,4 °С).
5.3, 5.4.3	Барометр цифровой БРС-1М-2: диапазон измерений от 600 до 1100 гПа (от 450 до 825 мм рт.ст.), погрешность не более 20 Па, (0,25 мм рт.ст).

1.3. При проведении поверки допускается применять другие средства измерений, удовлетворяющие по точности и диапазонам измерений 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 действующими: «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей»; «Межотраслевыми правилами по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. (ПОТ Р М-016-2001)»; ГОСТ 12.1.019-79 (17); ГОСТ 12.1.030-81 (18), ГОСТ 12.1.038-82 (19), ГОСТ 12.1.004-91 (20), а также указаниями по безопасности, изложенными в РЭ на СИ-3/ГТД (16).

Кроме этого, 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, имеющие группу электробезопасности по эксплуатации электроустановок до 1000 В не ниже третьей;
- 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, °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).

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 необходимо провести следующие работы:

- проверить комплектность проектно-технологической и эксплуатационной документации ИС;
- подготовить средства поверки в соответствии с их эксплуатационной документацией;
- проверить наличие поверочных клейм, а также свидетельств о поверке на эталонные и вспомогательные средства поверки;
- подготовить к работе измерительную систему СИ-3/ГТД в соответствии с разделом 2.2. руководства по эксплуатации (16);
- 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 ПК с оператором, задающим контрольные значения эталонных сигналов на входе ИК подсистем;
- включить вентиляцию и освещение в испытательных помещениях;
- создать, проконтролировать и зафиксировать в протоколе поверки условия проведения поверки;
- подать питание на измерительную систему СИ-3/ГТД от сети 220 В, 50 Гц;
- выдержать ИС после включения напряжения питания в течение 40 минут.

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. Настройка компьютерной программы поверки

Поверку СИ-З/ГТД проводить по программе управления комплексом МИС "Recorder" с применением функции «Поверка». Для этого необходимо:

5.2.1. Выбрать диапазон измерения поверяемого ИК (минимальное и максимальное значение измеряемой физической величины).

5.2.2. Установить требуемую частоту опроса в 10...100 Гц в зависимости от типа модуля УСО поверяемого ИК.

5.2.3. Выбрать канал модуля и при помощи контекстного меню "Свойства" в окне "Настройка канала МС-xxx" выбрать функцию "Калибровка модуля". В окне "Калибровка, поверка/опции" выбрать функцию "Поверка". В окне "Параметры поверки" устанавливаются следующие параметры поверки:

- "Свойства сигнала": "Минимум" – нижний предел диапазона измерения; "Максимум" – верхний предел диапазона измерения; "Ед. изм." – единица измерения эталонных уровней (контрольных точек);

- "Параметры испытания": "Кол-во контрольных точек" – количество эталонных уровней. "Длина порции" – определяет количество результатов измерения на каждой контрольной точке, длина порции $m \geq 2$. "Количество порций" – количество результатов измерения, по которым определяется максимальное значение погрешности (при частоте опроса 10 Гц установить не менее 10, при частоте опроса 100 Гц установить не менее 50). "Количество циклов" – при первичной поверке количество циклов ≥ 5 , при периодической поверке ≥ 3 (один цикл включает в себя прямой и обратный хода градуировки ИК); "Обратный ход" – да.

- "Эталон": "Задатчик сигнала" следует выбрать "Ручной"; "Измеритель сигнала" – следует выбрать "Ручной".

5.2.4. По окончании поверки в диалоговом окне "Обработка результатов поверки" следует указать параметры протокола отчета, установив соответствующие "флажки" (по выбору пользователя) и путь сохранения файла.

Примечание. Более подробно процедура проведения автоматизированной поверки с пошаговым выполнением операций описана в разделе "Поверка" Руководства пользователя (15) и в Приложениях Д методики поверки (14).

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 поверки

Установлены следующие способы поверки ИК ИС СИ-3/ГТД:

- ИК подсистемы измерения силы от тяги, подсистемы измерения напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температуры, измеряемой термопарами ХА, ХК - *комплектная поверка - прямые измерения;*

- ИК подсистемы измерения температуры (с термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК), подсистемы измерения температуры (с термопреобразователями сопротивления ТСП, ТСМ), подсистемы измерения давления - *комплектная поверка - прямые измерения и (или) поэлементная поверка - прямые измерения;*

- ИК подсистемы измерения частоты вращения роторов, подсистемы измерения расхода топлива, подсистемы измерения параметров вибрации - *поэлементная поверка - прямые измерения;*

- ИК подсистемы измерения расхода воздуха - *поэлементная поверка - косвенные измерения.*

5.4.2. Установление параметров поверки

5.4.2.1. *Комплектную поверку для прямых измерений* проводить в следующей последовательности

- Установить на входе ИК 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'_{ikp} при прямом ходе и y''_{ikp} 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 (7), МИ 188-86 (8).

С учетом рекомендаций этих документов, а также исходя из опыта применения средств и методов измерений близких к используемым в СИ-3/ГТД, могут быть приняты следующие значения параметров p , l , m :

- 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-3/ГТД.

- Определить результаты измерений и оценить погрешности по ГОСТ 8.207-76 (2).

5.4.2.2. Поэлементную поверку для прямых измерений проводить в следующей последовательности

- Провести поверку ПП (комплекте с ИРП при его наличии) в соответствии с методикой, установленной в эксплуатационной документации.
- Провести градуировку части ИК АИИС, включающей УСО и ПК по методике раздела 5.4.2.1.
- Определить результаты измерений и оценить погрешности по ГОСТ 8.207-76 (2), ОСТ 1 00487-83 (10).

Примечание. При поэлементной поверке для прямых измерений допускается определять результаты измерений и погрешность ИК с использованием стандартизованных МХ на ПП и УСО и (или) паспортных данных.

5.4.2.3. Поэлементную поверку для косвенных измерений проводить в следующей последовательности

- Провести поэлементную поверку ИК отдельных составляющих (аргументов) подсистемы измерения расхода воздуха по методике разделов 5.4.2.1 и (или) 5.4.2.2., а именно: ИК температуры воздуха на входе в двигатель; ИК атмосферного давления; ИК перепада между атмосферным давлением и полным давлением на входе в РМК; ИК перепада между полным давлением на входе РМК и статическим давлением в мерном сечении.
- Измерить геометрические параметры РМК.
- Определить результаты измерений и оценить погрешности в соответствии с разделом 3 МИ 2083-90 (6) для случая нелинейной зависимости измеряемого параметра от входящих аргументов и отсутствия корреляции между погрешностями измерений аргументов.

5.4.3. Поверка ИК подсистемы измерения давления

5.4.3.1. Комплектная поверка ИК подсистемы измерения давления

Комплектную поверку ИК подсистемы измерения давления проводить по методике раздела 5.4.2.1 в соответствии с блок-схемой, приведенной на рис.1.

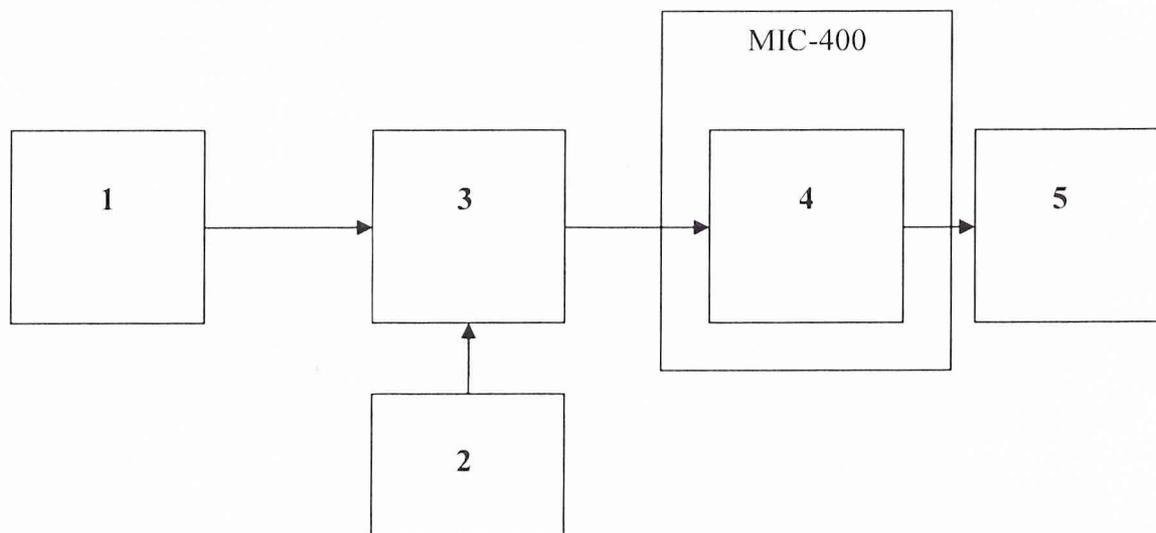


Рис. 1

- 1 – рабочий эталон (грузопоршневой манометр типа МП-6, МП-60, МП-600, калибратор давления DPI-610);
- 2 – источник питания;
- 3 – датчик давления ADZ-SML-10, Метран-100;
- 4 – модуль MC-114C1;
- 5 – ПК.

При проведении поверки необходимо отсоединить вход ПП от магистрали давления испытательного стенда и подсоединить его к РЭ давления. Установить частоту опроса ИК равной 100 Гц. Провести градуировку ИК давления в соответствии с методикой раздела 5.4.2.1.

5.4.3.2. Поэлементная поверка ИК подсистемы измерения давления

Поэлементную поверку ИК подсистемы измерения давления проводить по методике раздела 5.4.2.2 в следующей последовательности:

- провести автономную поверку ПП (датчики давления ADZ, Метран) в соответствии с эксплуатационной документацией;
- провести градуировку ИК, включающего модуль MC-114C1 и ПК, в соответствии с блок-схемой, приведенной на рис.2. Для этого необходимо установить частоту опроса ИК 100 Гц. Отсоединить электрический кабель ПП от ИК и с помощью переходного кабеля подать на вход ИК от РЭ эталонные значения постоянного тока в контрольных точках в диапазоне от 4 до 20мА с измерением выходной величины;

- определить функцию преобразования ИК подсистемы измерения давления и погрешность ИК в соответствии с разделом 6.

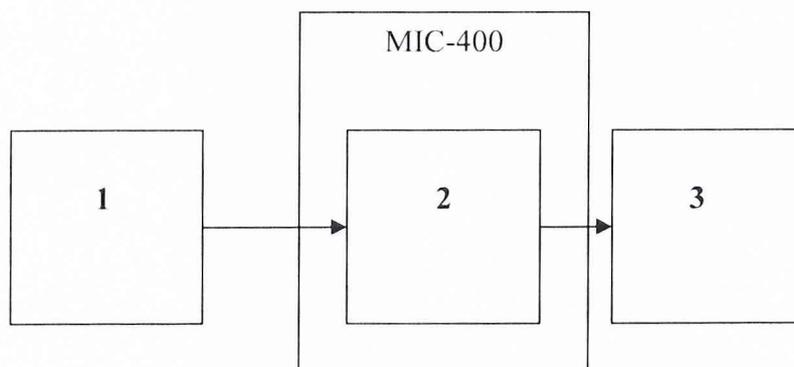


Рис. 2

- 1 – рабочий эталон (программируемый прибор для поверки вольтметров В1-13);
 2 – модуль МС-114С1;
 3 – ПК.

5.4.4. Поверка ИК подсистемы измерения температуры (с термопреобразователями сопротивления ТСП, ТСМ)

5.4.4.1. Комплектная поверка ИК подсистемы измерения температуры (с термопреобразователями сопротивления ТСМ, ТСП)

Комплектную поверку ИК подсистемы измерения температуры (с термопреобразователями сопротивления ТСМ, ТСП) проводить по методике раздела 5.4.2.1 в соответствии с блок-схемой, приведенной на рис.3. Для этого необходимо установить частоту опроса ИК 10 Гц. Задавать контрольные значения температуры с помощью РЭ Fluke в диапазоне измерений с определением выходной величины.

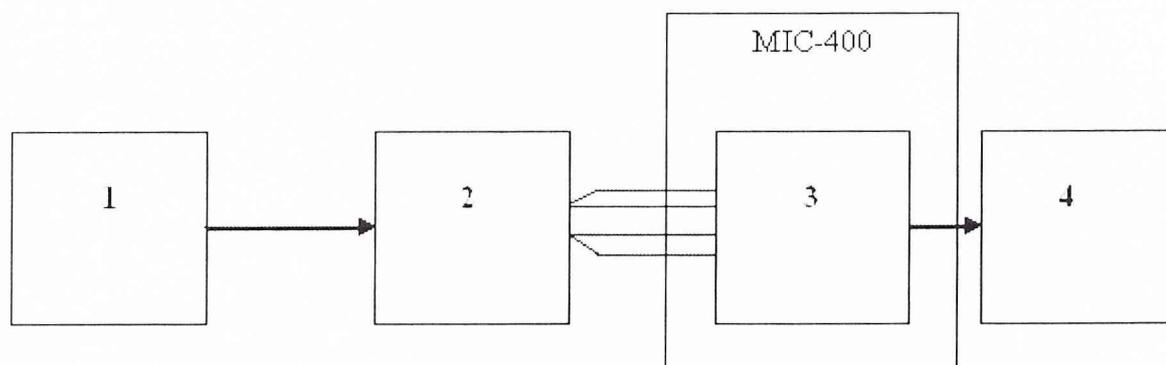


Рис. 3

- 1 – РЭ (калибратор температуры Fluke);
 2 – термопреобразователь сопротивления ТСП (ТСМ);
 3 - измерительный модуль МС-227R;
 4 - ПК.

5.4.4.2. Поэлементная поверка ИК подсистемы измерения температуры (с термопреобразователями сопротивления ТСМ, ТСП)

Поэлементную поверку ИК подсистемы измерения температуры (с термопреобразователями сопротивления ТСП) проводить по методике раздела 5.4.2.2 в следующей последовательности:

- провести автономную поверку термопреобразователей сопротивления ТСМ, ТСП по утвержденным методикам (допускается использование НСХП преобразователей ТСП, ТСМ по ГОСТ 6651-94);

- провести градуировку ИК сопротивления в соответствии с блок-схемой, приведенной на рис. 4. Для этого необходимо отсоединить электрический кабель от термопреобразователя сопротивления, входящего в состав поверяемого ИК, и вместо термопреобразователя сопротивления подключить с помощью жгута-переходника к этому кабелю магазин сопротивления МСР-60М. Установить частоту опроса ИК 10 Гц. Задавать значения эталонного сопротивления в контрольных точках в соответствии с НСХП термопреобразователя сопротивления по ГОСТ 6651-94 с измерением выходной величины;

- определить функцию преобразования ИК подсистемы измерения температуры (с термопреобразователями сопротивления ТСМ, ТСП) и погрешность ИК с учетом НСХП и НСП ПП по ГОСТ 6651-94.

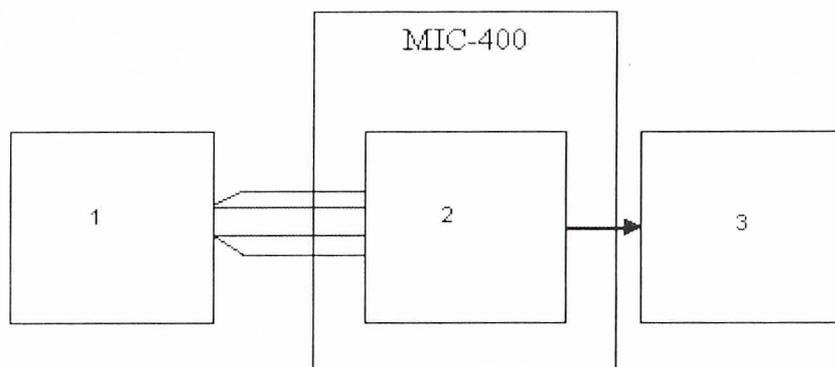


Рис.4

1 – РЭ (магазин сопротивлений МСР-60М);

2- измерительный модуль МС-227R;

3 - ПК.

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

5.4.5.1. Комплектная поверка ИК подсистемы измерения температуры (с термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК)

Комплектную поверку ИК подсистемы измерения температуры (с термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК) проводить по методике раздела 5.4.2.1 в соответствии с блок-схемой, приведенной на рис.5. Для этого необходимо установить частоту опроса ИК 100 Гц. Задавать контрольные значения температуры с помощью РЭ Fluke в диапазоне измерений с определением выходной величины.

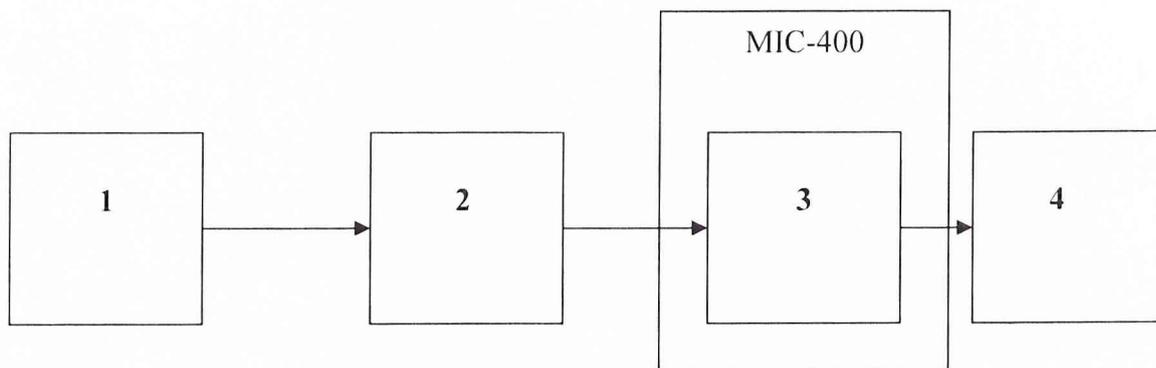


Рис. 5

- 1 – РЭ (калибратор температуры Fluke);
 2 – термоэлектрический преобразователь ХА, ХК;
 3 – модуль МС-114;
 4 - ПК.

5.4.5.2. Поэлементная поверка ИК подсистемы измерения температуры (с термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК) и комплектная поверка ИК напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температуры

Поэлементную поверку ИК подсистемы измерения температуры (с термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК) и комплектную поверку ИК напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температуры проводить по методике раздела 5.4.2.2 в следующей последовательности:

- провести автономную поверку термоэлектрических преобразователей ХА, ХК по утвержденным методикам (допускается использование НСХП преобразователей ХА, ХК по ГОСТ Р 8.585-2001) ;

- провести градуировку ИК напряжения в соответствии с блок схемой, приведенной на рис. 6 по методике раздела 5.4.2.1. Для этого необходимо отсоединить провода термопары, входящей в состав поверяемого ИК, от клеммного блока и подключить вместо нее к клеммному блоку РЭ В1-13. Установить частоту опроса ИК равной 100 Гц. Задавать значения эталонного напряжения в контрольных точках в соответствии с полиномом или по таблицам ГОСТ Р 8.585-2001 для соответствующего типа термопар;

- определить функцию преобразования ИК и погрешность ИК с учетом НСХП и НСП термопар по ГОСТ Р 8.585-2001.

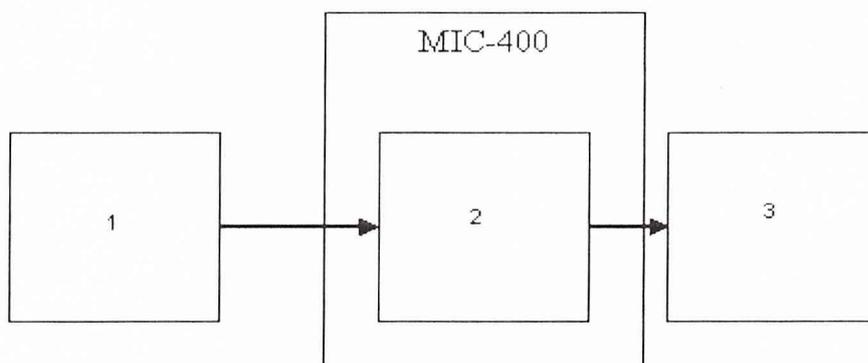


Рис. 6

- 1 – РЭ (Программируемый прибор для поверки вольтметров В1-13);
- 2 - модуль МС-114;
- 3 - ПК.

5.4.6. Поверка ИК подсистемы измерения частоты вращения роторов

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

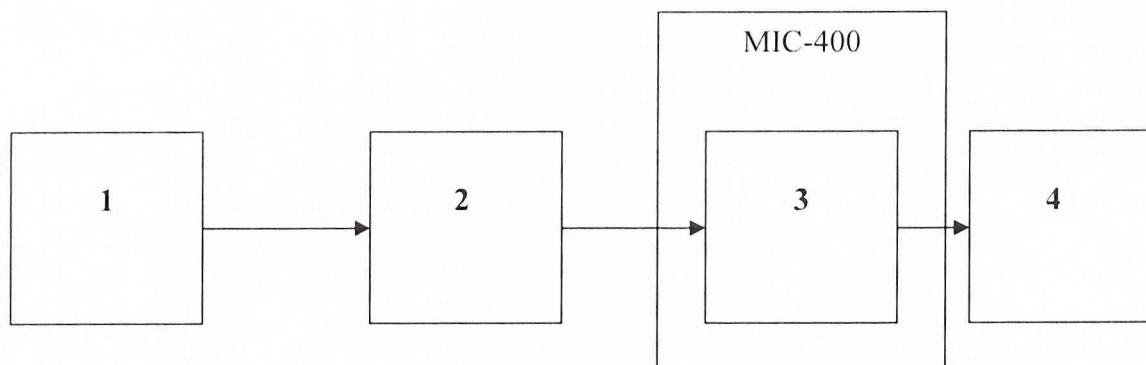


Рис. 7

- 1 – РЭ (генератор сигналов низкочастотный прецизионный ГЗ-110);
- 2 – нормализатор сигналов типа МЕ-402 (МЕ-401);
- 3 – модуль МС-451;
- 4 – ПК.

Поверку по схеме рис.7 проводить по методике раздела 5.4.2.1 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.

- установить частоту опроса ИК 10Гц.

- от генератора ГЗ-110 подать на вход ИК эталонные значения частоты синусоидального напряжения с амплитудой 20...50 мВ для нормализатора типа МЕ-402 и – с амплитудой 2 В для нормализатора типа МЕ-401 в диапазоне измеряемых частот. Измерять значения выходной величины.

5.4.7. Поверка ИК подсистемы измерения расхода топлива

Поэлементную поверку ИК подсистемы измерения расхода топлива проводить по методике раздела 5.4.2.2 в следующей последовательности:

- провести автономную поверку кориолисового расходомера Метран-360 в соответствии с его эксплуатационной документацией;

- провести градуировку ИК, включающего модуль МС-114С1 и ПК, в диапазоне значений постоянного тока от 4 до 20мА по методике раздела 5.4.3.2. в соответствии с блок-схемой, приведенной на рис.2;

- определить функцию преобразования ИК подсистемы измерения расхода топлива и погрешность ИК в соответствии с разделом 6.

5.4.8. Поверка ИК подсистемы измерения силы от тяги

Комплектную поверку ИК подсистемы измерения силы от тяги проводить в соответствии с блок-схемой, приведенной на рис.8, в следующей последовательности:

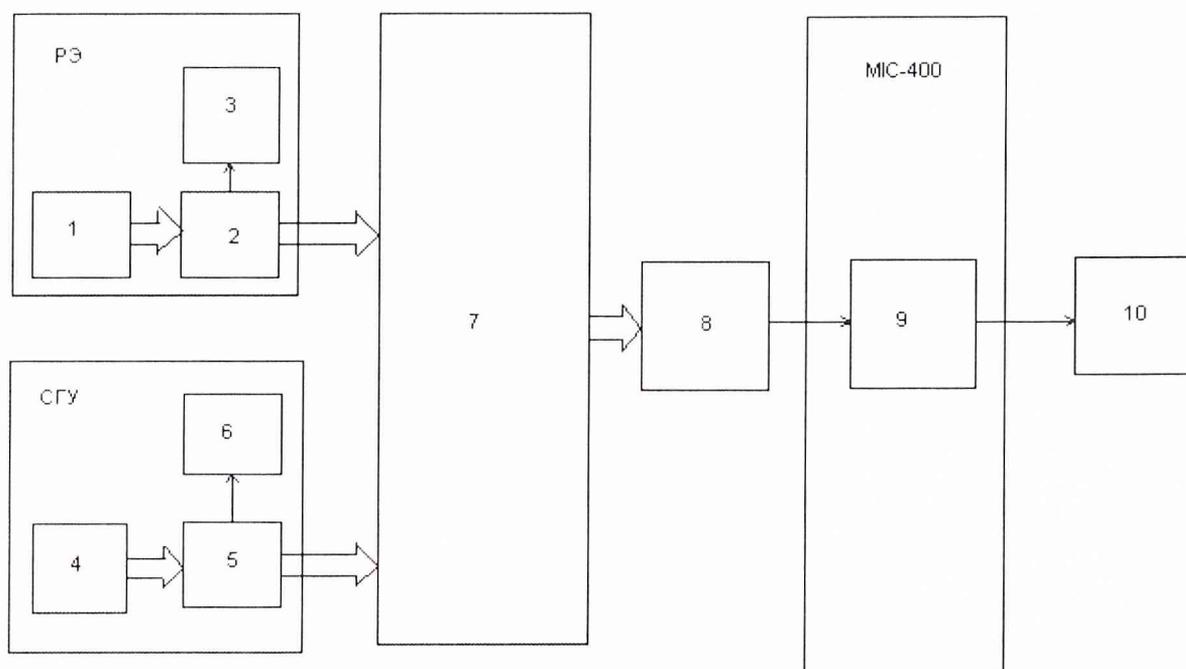


Рис. 8

- 1, 4 - гидравлический нагружатель силы;
- 2, 8 – датчик силоизмерительный тензорезисторный типа С2/20;
- 3, 6 - терминал весовой «ТВ-003/05Д»;
- 5 - датчик силоизмерительный тензорезисторный типа М70КН-С3;
- 7 - ДМП;
- 9 - модуль МС-212;
- 10 - ПК.

5.4.8.1. Определить порог реагирования СИС

1) Приложить к ДМП при помощи СГУ силу равную $0,1 R_{max}$. Положить на тарель подгружающего устройства ДМП 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;

2) Приложить к ДМП при помощи СГУ силу равную $1,0 R_{max}$. Повторить операции п.1) настоящего раздела.

3) Порог реагирования СИС не должен превышать $0,02\%$ от ВП.

5.4.8.2. Определить индивидуальную функцию преобразования (градуировочную характеристику) и случайную составляющую основной погрешности СИС

1) Разгрузить СИС до условного нуля.

2) Нагрузить СИС от СГУ до $R_{max} = 10000$ кгс и без выдержки разгрузить.

3) Повторить п.2) еще два раза, записав в протокол показания СИС после каждого разгружения.

4) 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.

5) Задавать гидравлическим нагрузителем СГУ последовательность контрольных значений силы с дискретностью 1000 кгс от условного нуля до R_{max} (прямой ход) и от R_{max} до условного нуля (обратный ход) и произвести регистрацию показаний СИС, останавливаясь на каждой контрольной точке не менее чем на 15 секунд. Результаты записать в протокол поверки.

6) Повторить работы по пункту 5.4.8.2.5) ещё четыре раза;

Примечание. При градуировке СИС необходимо соблюдать следующие правила:

1) Считывание и регистрацию показаний СИС производить после успокоения системы.

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, предшествующего 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.

5.4.8.3. Определить систематическую составляющую основной погрешности СИС

Систематическую составляющую основной погрешности СИС определить путем сличения показаний СИС с контрольными значениями силы, заданными с помощью РЭ силы.

Для этого необходимо:

1) Разомкнуть силовую цепь СГУ и 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. 5.4.8.3.2) 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) Задавать гидравлическим нагрузителем РЭ последовательность контрольных значений силы от условного нуля до R_{max} с дискретностью 1000 кгс произвести регистрацию показаний СИС, останавливаясь на каждой контрольной точке не менее чем на 15 секунд.
- 9) После достижения нагрузки на СИС значения R_{max} произвести плавную, со скоростью не более $3\% R_{max}$ за 1 с., разгрузку СИС до $(0,2 \dots 0,6)$ нагрузки, соответствующей первой контрольной точке.
- 10) Повторить работы по п.5.4.8.3.8) и п.5.4.8.3.9) 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 ± 2 °С.

5.4.9. Поверка ИК подсистемы измерения расхода воздуха

Поэлементную поверку подсистемы измерения расхода воздуха проводить косвенным способом с использованием результатов поверки ИК параметров температуры и давлений в соответствии с разделами 5.4.3. и 5.4.4. настоящей МП, а также - результатов обмена геометрических размеров РМК.

5.4.10. Поверка ИК подсистемы измерения параметров вибрации

Поэлементную поверку ИК подсистемы измерения параметров вибрации проводить по методике раздела 5.4.2.2 в следующей последовательности:

- провести автономную поверку аппаратуры измерения роторных вибраций ИВ-Д-СФ-3М в комплекте с датчиками вибрации МВ-43-1Г, МВ-38Б по методике ЖЯИУ. 421431.003 МП (13);
- провести градуировку ИК, включающего модуль МС-114С1 и ПК, в диапазоне значений постоянного тока от 4 до 20мА по методике раздела 5.4.3.2. в соответствии с блок-схемой, приведенной на рис.2;

- определить функцию преобразования ИК подсистемы измерения параметров вибрации и погрешность ИК в соответствии с разделом 6.

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

Обработка результатов измерений, полученных при проведении поверки ИК, проводится в следующей последовательности.

6.1. Исключение грубых промахов

При нормальном законе распределения результатов наблюдений грубые промахи исключаются по формулам ГОСТ 11.002 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 на стадии просмотра результатов наблюдений при градуировке ИК.

6.2. Определение индивидуальной функции преобразования ИК

Индивидуальная функция преобразования ИК определяется по результатам градуировки в виде обратной функции, т.е. как зависимость значений величины x на входе ИК от значений y на его выходе.

При *комплектной* поверке 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:

$$y_k = \sum_l \sum_n (y_{ikn}^l + y_{ikn}^{ll}) / 2 \cdot l \cdot m, \quad (3)$$

$$q_{sfk} = \frac{x_{k+1} - x_k}{y_{k+1} - y_k}.$$

При *поэлементной* поверке индивидуальная функция преобразования ИК определяется в виде

$$x = F[f(y)] \quad (4)$$

где: $f(y)$ – функция преобразования АЦП, характеризующая зависимость между результатами наблюдений на выходе АЦП (цифровой код) с электрической величиной на входе АЦП;

$F[f(y)]$ – функция преобразования, характеризующая зависимость между электрической величиной на выходе ПП с измеряемой физической величиной на входе ИК.

Функции преобразования $x = F[f(y)]$, $f(y)$ представляют в виде аналогичном (1), (2).

При *поэлементной* поверке допускается определять индивидуальную функцию преобразования ИК с использованием стандартизованных МХ и (или) паспортных данных на входящие в состав ИК средства измерений.

6.3. *Определение характеристик основной погрешности ИК при комплектной поверке для прямых измерений*

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

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

$$\Delta_{оск} = 1.1 \sqrt{\tilde{\Delta}_{оск}^2 + \Delta_{рз}^2}, \quad (5)$$

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

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

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

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

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

6.3.2. Абсолютное значение среднего квадратического отклонения (СКО) случайной составляющей абсолютной погрешности ИК на каждой k -той контрольной точке:

$$\tilde{\sigma}_{[\Delta_{ок}]} = \sqrt{\frac{\sum_n \sum_i (x'_{ikn} - x'_k)^2 + \sum_n \sum_i (x''_{ikn} - x''_k)^2}{2ml - 1}} \quad (8)$$

где: $x'_{икк}, x''_{икк}$ - 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 наблюдений на k -той ступени при прямом и обратном ходе градуировки соответственно.

$$x''_k = \frac{1}{ml} \sum_n \sum_i x''_{икн} \quad (9)$$

$$x'_k = \frac{1}{ml} \sum_n \sum_i x'_{икн} \quad (10)$$

6.3.3. Абсолютное значение случайной составляющей погрешности ИК на каждой k -той контрольной точке:

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

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 В;

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

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

6.3.4. Абсолютная основная погрешность ИК на каждой k-той контрольной точке

$$\begin{aligned} \tilde{\Delta}_{окабс} &= K \cdot (\tilde{\Delta}_{окл} + \tilde{\Delta}_{ок}) && \text{при } 8 > (\tilde{\Delta}_{окс} \cdot \tau / \tilde{\Delta}_{ок}) > 0.8, \\ \tilde{\Delta}_{окабс} &= \tilde{\Delta}_{окл} && \text{при } (\tilde{\Delta}_{окс} \cdot \tau / \tilde{\Delta}_{ок}) \geq 8, \\ \tilde{\Delta}_{окабс} &= \tilde{\Delta}_{ок} && \text{при } (\tilde{\Delta}_{окс} \cdot \tau / \tilde{\Delta}_{ок}) \leq 0.8, \end{aligned} \quad (13)$$

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

Таблица 4

$\tilde{\Delta}_{окс} \cdot \tau / \tilde{\Delta}_{ок}$	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

6.3.4. Характеристики основной погрешности ИК

Абсолютная основная погрешность ИК

$$\tilde{\Delta}_o = \max(\tilde{\Delta}_{окабс}) \quad (14)$$

Приведенная погрешность ИК:

- к верхнему пределу измерений (ВП) $\tilde{\gamma}_o = \frac{\tilde{\Delta}_o}{ВП} \cdot 100\%$; (15)

- к нормированному значению (НЗ) $\tilde{\gamma}_o = \frac{\tilde{\Delta}_o}{НЗ} \cdot 100\%$; (16)

- к 0,5ВП (в диапазоне от 0 до 0,5 ВП) $\tilde{\gamma}_o^* = \frac{\tilde{\Delta}_o}{0,5ВП} \cdot 100\%$ (17)

Относительная погрешность ИК

$$\tilde{\delta}_o = \max\left(\frac{\tilde{\Delta}_{окабс}}{x_k}\right) \cdot 100\% \quad (18)$$

6.4. *Определение характеристик основной погрешности при поэлементной поверке для прямых измерений*

6.4.1. Абсолютная основная погрешность ИК подсистем измерения давления воздуха (газа) и жидкостей

$$\tilde{\Delta}_o = 1.1\sqrt{\Delta_{\text{ПП}}^2 + \Delta_{\text{УСО}}^2} \quad (19)$$

где: $\Delta_{\text{ПП}}$ – погрешность первичного преобразователя давления, полученная при его автономной поверке или принятая согласно паспортным данным;

$\Delta_{\text{УСО}}$ – абсолютная основная погрешность ИК, включающего модуль МС-114С1 и ПК.

6.4.2. Абсолютная основная погрешность ИК подсистемы измерения температуры (с термопреобразователями сопротивления ТСП, ТСМ)

$$\tilde{\Delta}_o = 1.1\sqrt{\Delta_{\text{ТСП}}^2 + \Delta_{\text{УСО}}^2} \quad (20)$$

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

$\Delta_{\text{УСО}}$ – абсолютная основная погрешность ИК, включающего модуль УСО МС-227R и ПК.

6.4.3. Абсолютная основная погрешность ИК подсистемы измерения температуры (с термоэлектрическими преобразователями ХА, ХК)

$$\tilde{\Delta}_o = 1.1\sqrt{\Delta_{\text{ТП}}^2 + \Delta_{\text{ХС}}^2 + \Delta_{\text{УСО}}^2}, \quad (21)$$

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

$\Delta_{\text{ХС}}$ – абсолютная основная погрешность ИК температуры холодных спаев (определяется по формуле 17);

$\Delta_{\text{УСО}}$ – абсолютная основная погрешность ИК, включающего модуль УСО МС-114 и ПК.

6.4.4. Абсолютная основная погрешность ИК подсистемы измерения расхода топлива

$$\tilde{\Delta}_o = \sqrt{\Delta_{\text{ПП}}^2 + \Delta_{\text{УСО}}^2}, \quad (22)$$

где: $\Delta_{\text{ПП}}$ – абсолютная погрешность кориолисового расходомера Метран-360;

$\Delta_{\text{УСО}}$ – абсолютная основная погрешность ИК, включающего модуль МС-114С1 и ПК.

6.4.5. Абсолютная основная погрешность ИК подсистемы измерения параметров вибрации

$$\tilde{\Delta}_o = \sqrt{\Delta_{\text{ВП}}^2 + \Delta_{\text{УСО}}^2} \quad (23)$$

где: $\Delta_{\text{ВП}}$ – погрешность аппаратуры измерения роторных вибраций;

$\Delta_{УСО}$ – абсолютная основная погрешность ИК, включающего модуль УСО МС-114С1 и ПК.

6.4.6. Относительная и приведенные к ВП, 0,5ВП и НЗ погрешности ИК

Относительная и приведенные к ВП, 0,5ВП и НЗ погрешности ИК определяются по формулам (15)...(18).

6.5. Определение характеристик основной погрешности при комплектной (поэлементной) проверке для косвенных измерений параметра расхода воздуха

6.5.1 Абсолютное значение неисключенной систематической погрешности ИК на каждой k -той контрольной точке:

$$\tilde{\Delta}_{оск} = 1.1 \cdot G_v \cdot \left[W^2(\mu) \cdot (\Delta(\mu)/\mu)^2 + W^2(d_M) \cdot (\Delta(d_M)/d_M)^2 + W^2(T_o) \cdot (\Delta(T_o)/T_o)^2 + W^2(\Delta P) \cdot (\Delta(\Delta P)/\Delta P)^2 + W^2(P_K) \cdot (\Delta(P_K)/P_K)^2 + W^2(\Delta P_o) \cdot (\Delta(\Delta P_o)/\Delta P_o)^2 \right]^{0.5} \quad (24)$$

где: G_v – измеренное значение массового расхода воздуха;

$\Delta(\zeta_j)$, – абсолютное значение НСП 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 определения расхода воздуха;

Здесь обозначены аргументы ζ_j :

μ – коэффициент расхода РМК;

d_M – средний диаметр сечения мерного участка РМК;

P_K – атмосферное давление;

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 (24) 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 $W(\zeta_j)$ имеют следующие значения (с учетом поправки на влияние диаметров отверстий ~ 1 мм приемников статического давления):

$$W(T_o) = -\frac{1}{2},$$

$$W(P_K) = \frac{P_K}{\Delta P} (\pi - 1) (W(\Delta P) - 1),$$

(25)

$$W(\Delta P_o) = -\frac{\Delta P_o}{\Delta P} \cdot (\pi - 1) (W(\Delta P) - 1)$$

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

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

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

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

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

$$\pi = 1 - \frac{\Delta P}{P_k - \Delta P_o}, \quad D = \pi - 1 \quad (26)$$

6.5.2. Абсолютное значение случайной составляющей погрешности ИК расхода воздуха на каждой k -той контрольной точке:

$$\begin{aligned} \tilde{\Delta}_{ок} = G_a \cdot [& W^2(T_o) \cdot (\Delta_{ок}(T_o)/T_o)^2 + W^2(\Delta P) \cdot (\Delta_{ок}(\Delta P)/\Delta P)^2 \\ & + W^2(\Delta P_o) \cdot (\Delta_{ок}(\Delta P_o)/\Delta P_o)^2]^{0,5} \end{aligned} \quad (27)$$

где: $\Delta_{ок}(\zeta_j)$ - абсолютное значение случайной составляющей погрешности ИК параметров ζ_j (T_o , ΔP , ΔP_o). $\Delta_{ок}(\zeta_j)$ определяется по формуле (11).

6.5.3. Абсолютная основная погрешность ИК расхода воздуха на каждой k -той контрольной точке $\tilde{\Delta}_{окабс}$

$\tilde{\Delta}_{окабс}$ определяется согласно выражений (13).

6.5.4. Характеристики основной погрешности ИК расхода воздуха

Характеристики основной погрешности ИК расхода воздуха определяются по формулам (14)...(18).

Примечание. Допускается определять основную погрешность подсистемы измерения расхода воздуха по суммарным значениям погрешностей ИК температуры, давления и перепадов давления с использованием формулы (24), в которой в качестве погрешностей $\Delta(\zeta_j)_i$ принимаются абсолютные значения суммарных погрешностей измерения параметров ζ_j .

6.6. Определение характеристик суммарной погрешности ИК в реальных условиях эксплуатации

6.6.1 Абсолютная погрешность ИК

$$\tilde{\Delta} = \max(\tilde{\Delta}_k), \quad \tilde{\Delta}_k = \sqrt{\tilde{\Delta}_{ок}^2 + \tilde{\Delta}_{допк}^2} \quad (28)$$

$$\tilde{\Delta}_{допк} = 1,1 \sqrt{\sum_{j=1}^N \tilde{\Delta}_{j,допк}^2}, \quad (29)$$

где: $\tilde{\Delta}$ - абсолютная суммарная погрешность ИК;

$\tilde{\Delta}_k$ - суммарная погрешность ИК на каждой k -той контрольной точке;

$\tilde{\Delta}_{допк}$ - дополнительная погрешность ИК на каждой k -той контрольной точке;

$\tilde{\Delta}_{j,допк}$ - j -тая составляющая дополнительной погрешности ИК на каждой k -той контрольной точке;

N - количество составляющих дополнительной погрешности ИК.

6.6.2. Относительная погрешность ИК

$$\tilde{\delta} = \max\left(\frac{\tilde{\Delta}_k}{x_k}\right) \cdot 100\% \quad (30)$$

6.6.3. Приведенная погрешность ИК:

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

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

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

Значения погрешностей $\tilde{\Delta}_{j,допк}$, берутся из паспортов на средства измерений, входящие в ИК. При необходимости значения $\tilde{\Delta}_{j,допк}$ могут быть определены экспериментально проведением градуировок ИК по методике раздела 6 в реальных условиях эксплуатации.

При этом обработка результатов наблюдений проводится в следующей последовательности:

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

$$\Psi_{jks}(\xi_j) = A_{jks} \cdot \Delta \xi_j \quad (34)$$

$$A_{jks} = \frac{f[y_k(\xi_{jnp})] - f[y_k(\xi_{jref})]}{\xi_{jnp} - \xi_{jref}} \quad (35)$$

$$\Delta\xi_j = \xi_j - \xi_{jref}; \quad (36)$$

$f(y)$ – 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

$$\{\Psi_{jks}(\xi_j) + \tilde{\sigma}_{|\Delta_{ок}\xi_j|}\}^2 = |\tilde{\sigma}_{|\Delta_{ок}\xi_j|}|^2 \quad (37)$$

$$\tilde{\sigma}_{|\Delta_{ок}\xi_j|} = \sqrt{\frac{\sum_n \sum_i [f[y'_{ikn}(\xi_{jnp})] - f[y'_k(\xi_{jnp})]]^2 + \sum_n \sum_i [f[y''_{ikn}(\xi_{jnp})] - f[y''_k(\xi_{jnp})]]^2}{2ml - 1}} \quad (38)$$

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;

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

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

$$\Psi_{jke}(\xi_j) = \tau \cdot \Psi_{jks}(\xi_j) \quad (39)$$

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

$$\begin{aligned} \tilde{\Delta}_{jks} &= K \cdot (\Psi_{jks}(\xi_j) + \Psi_{jke}(\xi_j)) && \text{при } 8 > (\Psi_{jks}(\xi_j) \cdot \tau / \Psi_{jke}(\xi_j)) > 0,8, \\ \tilde{\Delta}_{jks} &= \Psi_{jks}(\xi_j) && \text{при } (\Psi_{jks}(\xi_j) \cdot \tau / \Psi_{jke}(\xi_j)) \geq 8,0 \\ \tilde{\Delta}_{jks} &= \Psi_{jke}(\xi_j) && \text{при } (\Psi_{jks}(\xi_j) \cdot \tau / \Psi_{jke}(\xi_j)) \leq 0,8. \end{aligned} \quad (40)$$

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

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

$$\tilde{\Delta}_{j\text{дон}} = \max(\tilde{\Delta}_{jk\text{дон}}) \quad (41)$$

7. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

7.1. Результаты поверки ИК измерительной системы СИ-3/ГТД оформляются протоколом по форме приложения

7.2. Результаты исследований по определению погрешностей и диапазонов измерений ИК системы СИ-3/ГТД заносятся в Протокол (приложение Г).

7.2. При положительных результатах исследований оформляется метрологической службой организации, аккредитованной на право проведения поверочных работ, свидетельство о поверке по форме, приведенной в приложении 1 ПР50.2.006-94.

7.3. Система измерительная СИ-3/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 550.80.849.00077 МП.

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

Библиография

1. ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений;
2. ГОСТ 8.207-76 ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.
3. ГОСТ 6651-94 Термопреобразователи сопротивления. Общие технические требования и методы испытаний;
4. ГОСТ Р 8.585-2001 ГСИ. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования;
5. РМГ 51-2002 ГСИ. Документы на методики поверки средств измерений;
6. МИ 2083-90 ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей;
7. МИ-187-86 ГСИ. Средства измерений. Критерии достоверности и параметры методик поверки;
8. МИ188-86 ГСИ. Средства измерений. Установление значений параметров методик поверки;
9. ОСТ 1 01021-93 Стенды для испытаний авиационных ТВД в наземных условиях. Общие технические требования;
10. ОСТ 1 00487-83. Метрологическое обеспечение испытаний газотурбинных двигателей. Метрологическая аттестация измерительных каналов информационно-измерительных систем.
11. ОСТ 1 02517-84. Силоизмерительные системы испытательных стендов. Методика поверки.
12. ПР 50.2.006-94 ГСИ. Порядок проведения поверки средств измерений;
13. ЖЯИУ. 421431.003 МП Аппаратура измерения роторных вибраций ИВ-Д-СФ-3М. Методика поверки;
14. БЛИЖ.4011250.001МП, 2004. Комплекс измерительно-вычислительный. Методика поверки.
15. БЛИЖ.409801.002.90. Комплекс измерительно-вычислительный. Программа управления «Recorder». Руководство пользователя. Редакция, 2005.
16. ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
17. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ Электробезопасность. Защитное заземление, зануление;
18. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов;
19. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность.

Приложение Б.

Перечень параметров измерительной системы СИ-3/ГТД, подлежащих поверке, диапазоны измерений и пределы допускаемых погрешностей измерений

Подсистема измерения силы тяги

<i>Наименование измеряемого параметра</i>	<i>Диапазон измерений, кгс</i>	<i>Пределы допускаемой погрешности, %</i>
Сила от тяги (количество каналов: - 1 рабочий; 1 – градуировочный)	от 0 до 10000	±0,5 от ИЗ в диапазоне от 0,5 до 1,0 ВП ±0,5 от ВП в диапазоне от 0 до 0,5 ВП (ВП= 10000 кгс - верхний предел измерений, ИЗ – измеренное значение)

Подсистема измерения частоты вращения роторов

<i>Наименование измеряемого параметра</i>		<i>Диапазон измерений, Гц</i>	<i>Пределы допускаемой погрешности, % от ВП</i>
Частота электрического сигнала, датчиков ДЧВ - 2500 частоты вращения роторов, Гц	Вентилятора (n_v)	от 300 до 3200	± 0,15 ВП = 3200 Гц
	Компрессора высокого давления (n_k)	от 300 до 3700	± 0,15 ВП = 3700 Гц

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

Подсистема измерения температуры (с термопреобразователями сопротивления ТСП, ТСМ)

<i>Наименование измеряемого параметра</i>	<i>Диапазон измерений</i>	<i>Пределы допускаемой погрешности</i>
Температура воздуха за вентилятором ($T^*_{в}$) (количество каналов -14)	от 273 до 473 К	±1 % от ВП
Температура воздуха за компрессором ($T^*_{к}$) (количество каналов - 8)	от 273 до 873 К	±1 % от ВП
Температура газа за турбиной по термопаре с открытым спаем ($t^*_{4 ос}$)	от 273 до 1273 К	±1 % от ВП
Температура газа за турбиной –измерение поля температур ($t^*_{4 п}$) (количество каналов – 14)	от 273 до 1173 К	±1 % от ВП
Температура масла на входе в двигатель ($t_{м вх}$)	от 0 до 150 °С	±1,5 % от НЗ (НЗ – нормированное значение, НЗ=150 °С)
Температура масла на выходе из двигателя ($t_{м вых}$)	от 0 до 200 °С	±1,5 % от НЗ (НЗ – нормированное значение, НЗ=200 °С)
Температура воздуха на входе в двигатель ($t^*_{вх}$) (количество каналов – 6)	от 223 до 323 К	±0,5 % от ИЗ
Температура воздуха на входе в двигатель на режимах с подогревом воздуха ($t^*_{вх г}$)	от 223 до 523 К	±0,5 % от ИЗ

<i>Наименование измеряемого параметра</i>	<i>Диапазон измерений</i>	<i>Пределы допускаемой погрешности</i>
(количество каналов – 8)		
Температура холодного спая	от 273 до 323 К	±0,5 % от ИЗ
Температура топлива на входе в насос ДЦН (t т вх)	от минус 30 до 65 °С	±1,5 % от НЗ НЗ=95 °С
Температура корпуса электродвигателя пускового маслососа (t к пн)	от 0 до 100 °С	±1,5 % от НЗ НЗ=100 °С
Температура масла на выходе из КСА (Тм вых кса)	от 0 до 200 °С	±1,5 % от НЗ НЗ=200 °С
Напряжение постоянного тока, соответствующее значениям температур, измеряемых с помощью преобразователей ХА (количество каналов-12)	от 0 до 50 мВ	±0,2 % от ВП

Подсистема измерения давления

<i>Наименование измеряемого параметра</i>	<i>Диапазон измерений</i>	<i>Пределы допускаемой погрешности</i>
Атмосферное давление	от 720 до 800 мм рт. ст.	± 0,5 мм рт.ст.
Избыточное давление масла на входе в двигатель (Рм вх)	от 0 до 6,5 кгс/см ²	± 1,0 % от НЗ НЗ=6,5 кгс/см ²
Избыточное давление топлива на входе в насос ДЦН (Рт вх)	от 0 до 3,0 кгс/см ²	± 1,0 % от НЗ НЗ=3,0 кгс/см ²
Избыточное давление топлива в основном контуре форсунок основной камеры сгорания (Рт 2)	от 0 до 60кгс/см ²	± 1,0 % от НЗ НЗ=60 кгс/см ²
Избыточное давление топлива в дополнительном контуре форсунок основной камеры сгорания (Рт 1)	от 0 до 35 кгс/см ²	± 1,0 % от НЗ НЗ=35 кгс/см ²
Избыточное полное давление воздуха за вентилятором (Рв*) (количество каналов-14)	от 0 до 3,5 кгс/см ²	± 0,5 % от ВП ВП=3,5 кгс/см ²
Избыточное статическое давление воздуха за компрессором (Рк) (количество каналов-2)	от 0 до 3,3 кгс/см ²	± 0,5 % от ВП ВП=3,3 кгс/см ²
Избыточное полное давление потока воздуха за компрессором (**Рк) (количество каналов-4)	от 0 до 3,3 кгс/см ²	± 0,5 % от ВП ВП=3,3 кгс/см ²
Избыточное полное давление потока газа за ГНД (Р4*)	от 0 до 3,5 кгс/см ²	± 0,5 % от ВП ВП=3,5 кгс/см ²
Избыточное давление потока воздуха за редукционно-отсечным клапаном противообледенительной системы (Рпос)	от 0 до 6,0 кгс/см ²	± 0,5 % от ВП ВП=6,0 кгс/см ²

Приложение В
(справочное)

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

Протокол №

(Форма)

определения погрешностей и диапазонов измерений ИК измерительной системы
СИ-3/ГТД стенда № 5А для испытаний газотурбинных двигателей
предприятия ОАО «ММП им. В.В.Чернышева»

1 Средства исследований

Рабочий эталон

.....

2 Условия испытаний:

Температура окружающего воздуха, °С

- в боксе

- в пультовой

Атмосферное давление, мм рт. ст.

Влажность, %

3 Документ, в соответствии с которым проводились исследования,

..... методика поверки 550.80.849.00077 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-2/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 измерений	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 ГНИИИ МО РФ

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

Поверитель

Главный метролог

Начальник цеха