

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора  
ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»



В.Г. Марков

«декабрь» 2016 г.

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор  
ЗАО «НПЦ «МЕРА»

И.А. Потапов

«  » \_\_\_\_\_ 2016 г.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по  
производственной метрологии  
ФГУП «ВНИИМС»



Н.В. Иванникова

«декабрь» 2016 г.

СИСТЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ИС-2-Ц4Н/Ц1А

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

МП ИС-2-Ц4Н/Ц1А

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<b>ОБОЗНАЧЕНИЯ</b> .....	4
<b>1 ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>2 ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ПОВЕРИТЕЛЕЙ</b> .....	8
<b>3 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ</b> .....	8
<b>4 ПОВЕРКА МОДУЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ СИЛЫ ОТ ТЯГИ ДВИГАТЕЛЯ</b> .....	9
4.1 Операции поверки МИС .....	9
4.2 Средства поверки.....	9
4.4 Проведение поверки.....	10
4.5 Обработка результатов измерений .....	12
<b>5 ПОВЕРКА МОДУЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ МАССОВОГО РАСХОДА ТОПЛИВА</b> .....	14
5.1 Операции поверки МИРТ .....	14
5.2 Средства поверки.....	15
5.3 Подготовка к поверке.....	16
5.4 Проведение поверки.....	16
5.5 Обработка результатов поверки.....	18
<b>6 ПОВЕРКА МОДУЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ДАВЛЕНИЯ</b> .....	21
6.1 Операции поверки .....	21
6.2 Средства поверки.....	22
6.3 Подготовка к поверке.....	22
6.4 Проведение поверки.....	22
6.4.1 Внешний осмотр .....	22
6.4.3 Определение (контроль) метрологических характеристик .....	23
6.5 Обработка результатов измерений .....	23
6.5.1 Определение погрешностей измерительных каналов полного и статического давлений на входе в двигатель.....	23
6.5.2 Определение погрешностей измерительного канала давлений газа и жидкостей по тракту двигателя.....	24
<b>7 ПОВЕРКА МОДУЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ</b> .....	26
7.1 Операции поверки .....	26
7.2 Средства поверки.....	26
7.3 Подготовка к поверке МИТ .....	27
7.4 Проведение поверки.....	27
7.4.1 Внешний осмотр .....	27
7.4.2 Опробование.....	27
7.4.3 Определение (контроль) метрологических характеристик .....	28
7.5 Обработка результатов измерений .....	28
7.5.1 Определение погрешностей ИК постоянного тока и ИК.....	28
электрического сопротивления .....	28
Относительная погрешность ИК постоянного тока и ИК электрического сопротивления ..	28
7.5.2 Определение погрешностей термометров сопротивления и термопар .....	28
7.5.3 Определение суммарных погрешностей ИК.....	29
<b>8 ПОВЕРКА МОДУЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РОТОРОВ</b> .....	29
8.1 Операции поверки (без датчика).....	30
8.2 Средства поверки.....	30
8.3 Подготовка к поверке.....	30
8.4 Проведение поверки.....	31
8.4.1 Внешний осмотр .....	31
8.4.2 Опробование.....	31
8.4.3 Определение (контроль) метрологических характеристик .....	31
8.5 Обработка результатов измерений .....	31

8.5.1	Определение погрешности измерительного канала частоты переменного тока, соответствующей частоте вращения ротора .....	31
8.5.2	Определение суммарной погрешности .....	32
<b>9</b>	<b>ПОВЕРКА МОДУЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ВЛАЖНОСТИ .....</b>	<b>33</b>
9.1	Операции поверки .....	33
9.2	Средства поверки .....	34
9.3	Подготовка к поверке .....	34
9.4	Проведение поверки .....	35
9.5	Обработка результатов измерений .....	36
<b>10</b>	<b>ПОВЕРКА МОДУЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ.....</b>	<b>37</b>
10.1	Операции поверки .....	37
10.2	Средства поверки .....	37
10.3	Подготовка к поверке .....	38
10.4	Проведение поверки .....	38
<b>11</b>	<b>ПОВЕРКА МОДУЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ РАЗМЕРОВ, СКОРОСТИ И УДЕЛЬНОГО ОБЪЕМА СФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ В ПОТОКЕ ВОЗДУХА.....</b>	<b>42</b>
11.1	Определение погрешности ИК размеров сферических частиц. ....	42
11.2	Определение погрешности ИК скорости сферических частиц. ....	43
11.3	Определение погрешности ИК удельного объемного расхода сферических частиц. ....	44
<b>12</b>	<b>ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ.....</b>	<b>45</b>
	Приложение А .....	46
	Приложение Б.....	47
	Приложение В.....	66
	Приложение Г .....	73
	Приложение Д.....	74

## **ОБОЗНАЧЕНИЯ**

- 1 МИС –модуль измерений силы от тяги двигателя;
- 2 МИРТ – модуль измерений массового расхода топлива;
- 3 МИД – модуль измерений давления и перепада давления газа и жидкости;
- 4 МИТ – модуль измерений температуры газа и жидкости;
- 5 МИЧВ – модуль измерений частоты вращения роторов;
- 6 МИВ – модуль измерений относительной влажности воздуха на входе в двигатель;
- 7 МИДП – модуль измерений динамических параметров элементов двигателя;
- 8 МИРЧ – модуль измерений сферических частиц в потоке воздуха
- 9 ИК – измерительный канал;
- 10 ИЗ – измеряемое значение;
- 11 ВП – верхний предел измерения;
- 12 ДМП – динамометрическая платформа;
- 13 ТПР – турбинный преобразователь расхода топлива;
- 14 ИУ – измерительный участок, включающий ТПР;
- 15 ТПУ – эталонная трубопоршневая установка для поверки ТПР;
- 16 СКО – среднеквадратическое отклонение случайной величины.

## 1 ВВЕДЕНИЕ

Настоящая Методика поверки распространяется на системы измерений ИС-2 Ц4Н/Ц1А стендов Ц-4Н/Ц1А ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова» и устанавливает методики ее первичной и периодических поверок. Методика выполнена в соответствии с Рекомендацией РМГ 51-2002 «ГСОЕИ. Документы на методики поверки средств измерений. Основные положения» и ГОСТ Р 8.596-2002 «ГСОЕИ. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения».

Системы измерений ИС-2-Ц4Н/Ц1А (далее системы ИС-2-Ц4Н/Ц1А) проектировалась из компонентов, изготавливаемых различными производителями и принимаемых как законченные изделия непосредственно на месте эксплуатации (тип измерительных систем ИС-2 по ГОСТ Р 8.596-2002).

Системы ИС-2 Ц4Н/Ц1А содержат следующие измерительные модули:

- модуль измерений силы от тяги двигателя – МИС;
- модуль измерений массового расхода топлива – МИРТ;
- модуль измерений давления – МИД;
- модуль измерений температуры – МИТ;
- модуль измерений частоты вращения роторов – МИЧВР;
- модуль измерений относительной влажности – МИВ;
- модуль измерений динамических параметров – МИДП;
- модуль измерений параметров сферических частиц в потоке воздуха – МИЧВ.

При разработке Методики поверки систем ИС-2 Ц4Н/Ц1А использовались следующие НТД:

- ГОСТ Р ИСО 5725 –2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений;
- ГОСТ 8.596-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения;
- ГОСТ 22520-85 Датчики давления, разрежения и разности давлений с электрическими аналоговыми выходными сигналами ГСП. Общие технические условия»;
- ГОСТ 8.009-84 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений;
- ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения;
- ГОСТ Р 8. 624 – 2006 Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Методика поверки;
- ГОСТ 6651-2009 ГСИ. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний;
- ГОСТ Р 8.585-2001 Государственная система обеспечения единства измерений. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования;
- ГОСТ 8.338-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Преобразователи термоэлектрические. Методика поверки;
- ГОСТ 8.129-99 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений времени и частоты;
- ГОСТ 8.25-77 ГСИ. Нормирование и определение динамических характеристик аналоговых средств измерений. Основные положения;
- ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
- ОТУ-2012 Общие технические условия на изготовление, ремонт, приёмку и поставку авиационных серийных двигателей для воздушных судов;

- ОСТ 1 010021-93 Стенды испытательные авиационных газотурбинных двигателей. Общие требования;
- ОСТ 1 02517-84 ОСОЕИ. Силоизмерительные Системы испытательных стендов. Методика поверки;
- ОСТ 1 02512-84 ОСОЕИ. Системы силоизмерительные испытательных стендов авиационных ГТД. Общие требования;
- ОСТ 1 02677-89 ОСОЕИ. Силоизмерительные Системы испытательных стендов газотурбинных двигателей. Общие требования к поверочным и стендовым градуировочным устройствам;
- ОСТ 1 02555–85 Система измерения расхода воздуха с коллектором на входе авиационных ГТД при стендовых испытаниях. Общие требования;
- ОСТ 1 00487-83 Отраслевая система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение испытаний газотурбинных двигателей. Аттестация измерительных каналов информационно-измерительных систем;
- МИ 2070-90 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств виброперемещения, виброускорения и виброускорения в диапазоне частот от  $3 \cdot 10^{-1}$  до  $2 \cdot 10^4$  Гц;
- МИ 3290-2010 ГСОЕИ. Рекомендации по подготовке, оформлению и рассмотрению материалов испытаний средств измерений в целях утверждения типа;
- МИ 677-84 Преобразователи давления измерительные электрические ИПД и комплексы для измерения давления цифровые ИПДЦ. Методы поверки.
- РМГ 51-2002 ГСОЕИ. Документы на методики поверки средств измерений. Основные положения;
- РМГ 29-99 ГСОЕИ. Метрология. Основные термины и определения;
- РТМ 1574-77 Метод определения расхода воздуха через авиационные ГТД на испытательных стендах;
- Методика 77-87 Система измерения расхода воздуха с коллектором на входе авиационных газотурбинных двигателей при стендовых испытаниях. Порядок выполнения измерений.

Допускается проведение поверки отдельных измерительных каналов и (или) отдельных автономных блоков из состава систем.

Интервал между поверками систем ИС-2 Ц4Н/Ц1А - 1 год.

## 1.1 Опробование и процедура подтверждения ПО

### 1.1.1 При опробовании системы необходимо:

- включить систему, подав напряжение питания на все ее компоненты;
- запустить ПО, которое хранится непосредственно на компьютерах измерительных систем ИС-2-Ц4Н/Ц1А имеющих свои пароли.

Процедура подтверждения ПО;

- проверить настройку режимов работы измерительных модулей;
- выбрать количество и тип измерительных каналов;
- просмотреть измеряемый сигнал в реальном масштабе времени в различном представлении (графики, пиктограммы или цифровые значения);
- записать в долговременную память измеренные значения.

1.1.1.1 Управление всеми режимами осуществляется через графический интерфейс в диалоговом режиме. Элементы управления интерфейсом имеют уникальные либо надпись, либо пиктограмму, позволяющие понять их назначение.

1.1.1.2 Используемое специализированное программное обеспечение не вносит дополнительных погрешностей к основным метрологическим и техническим характеристикам Системы, поскольку вычислительные операции в Системе используются только для алгебраических преобразований, а метрологические характеристики измерительных каналов нормированы в целом, с учетом работы программного обеспечения.

1.1.2 Выбрать один из ИК системы. Нажать кнопку «Градуировка» в строке, соответствующей выбранному ИК. Подать на вход выбранного ИК значение физической величины в пределах диапазона измерений ИК.

1.1.3 Изменять в сторону увеличения и/или уменьшения значение физической величины в пределах диапазона измерений ИК. Контролировать в окне «**текущее значение**» изменение значения физической величины.

1.1.4 Результаты опробования считать положительными, если при изменении значения физической величины происходит изменение показаний в окне «**текущее значение**» выбранного ИК системы.

## **2 ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ПОВЕРИТЕЛЕЙ**

Поверка систем ИС-2 Ц4Н/Ц1А должна проводиться поверителями метрологических служб юридических лиц, аккредитованных федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии РФ.

Право на проведение поверки общепромышленных средств измерения (датчиков, кондиционеров и др.) не является достаточным основанием для проведения поверки стендовых систем, предназначенных для испытаний авиационных ГТД.

К поверке измерительных систем допускаются лица, аттестованные на звание поверителя по соответствующим параметрам и имеющие опыт поверки указанных измерительных модулей МИС, МИРТ, МИД, МИТ, МИДП, МИЧВР, МИРЧ и МИВ.

## **3 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ**

При проведении поверки систем ИС-2 Ц4Н/Ц1А должны соблюдаться требования по технике безопасности, производственной санитарии и охране окружающей среды, изложенные в Руководстве по эксплуатации систем РЭ ИС-2-Ц4Н/Ц1А.

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

– параметры электрического питания:

- 1) напряжение, В.....от 187 до 242;
- 2) частота, Гц.....от 49 до 51;
- 3) потребляемая мощность, кВт.....10.

– рабочие условия эксплуатации систем:

- 1) температура воздуха, °С (К) .....от 10 до 30 (от 283 до 303);
- 2) относительная влажность воздуха при температуре 25 °С, %.....от 50 до 80;
- 3) атмосферное давление, мм рт. ст. (кПа).....от 93 до 108 (от 697 до 810).

– отсутствие ударных и вибрационных воздействий на измерительные модули в момент отсчета и регистрации их показаний.

При проведении поверочных работ условия окружающей среды рабочих эталонов должны соответствовать требованиям, указанным в их инструкциях по эксплуатации.



## 4 ПОВЕРКА МОДУЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ СИЛЫ ОТ ТЯГИ ДВИГАТЕЛЯ

### 4.1 Операции поверки МИС

Операции поверки МИС представлены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование операций поверки	Номер пункта МП	Проведение операций	
		первичная поверка	периодическая поверка
1 Подготовка к поверке	4.3	+	+
1.1 Внешний осмотр и опробование			
1.2 Монтаж ПГУ			
2 Проведение поверки	4.4		
2.1 Определение порога реагирования МИС	4.4.1, 4.5.1	+	+
2.2 Определение коэффициента устойчивости МИС	4.4.2, 4.5.2	+	-
2.3 Определение случайной составляющей основной погрешности ИК МИС	4.4.3, 4.5.3	+	+
2.4 Определение систематической составляющей основной погрешности ИК МИС	4.4.4, 4.5.4	+	+
2.5 Определение основной погрешности ИК МИС	4.4.5, 4.5.5	+	+

### 4.2 Средства поверки

Средства поверки МИС представлены в таблице 2.

Таблица 2

Номер пункта МП	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки, обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
4.4.1	Гири типа ГО – 4 – 1110, диапазон от 10 мг до 500 г, класс точности М1.
4.4.2	Динамометр типа ДОР-0,1. Индикатор часового типа ИЧ - 10, цена деления 0,01 мм
4.4.4	Стендовое градуировочное устройство с погрешностью $\pm 0,2\%$ по ОСТ 102677-89 (входит в состав МИС), переносной источник света

Продолжение таблицы 2

4.4.3; 4.4.4	Термометр жидкостной стеклянный технический по ГОСТ 28498-90, диапазон измерения от 0 до 100 °С, кл.т. 1; индикатор часового типа ИЧ-10 ГОСТ 577-68, цена деления 0,01мм
4.5	ОСТ 1 02517-84

Примечание - Допускается применение других средств измерения, технические и метрологические характеристики которых не уступают указанным в таблице 2.

#### 4.3 Подготовка к поверке

4.3.1 Проверить комплектность МИС и его соответствие требованиям конструкторской документации и Авиационных стандартов ОСТ 1 02512-84 и ОСТ 1 02677-89.

4.3.2 Провести следующие подготовительные операции;

– проверить правильность электрического и механического монтажа модуля;

– включить Систему согласно Руководству по ее эксплуатации;

– обеспечить на стенде и в пультовой указанные в разделе 4 условия для поверки модуля.

4.3.3 Привести МИС в рабочее состояние и измерить силу при контрольных нагрузках, равных 0; 0,5 от ВП; ВП.

4.3.4 Смонтировать поверочное градуировочное устройство в соответствии с требованиями проекта и Авиационного стандарта ОСТ 102677-89.

В силовую цепь поверочного градуировочного устройства вместо эталонного динамометра установить имитатор динамометра.

4.3.5 Обеспечить переговорную или световую (звуковую) связь между оператором поверочного градуировочного устройства и оператором МИС.

4.3.6 Обеспечить поверочное градуировочное устройство напряжением питания.

4.3.7 Проверить правильность функционирования и прочность всех элементов поверочного градуировочного устройства путём нагружения МИС последовательно нагрузками 0,3; 0,5; 0,8 и 1,1 ВП с остановкой на каждой нагрузке, выдержкой 2, 3 минуты и внешним осмотром элементов поверочного градуировочного устройства на отсутствие механических повреждений и ослабления элементов крепления. При обнаружении неисправностей провести работы по их устранению.

4.3.8 После снятия нагрузки с поверочного градуировочного устройства демонтировать имитатор динамометра и смонтировать вместо него эталонный динамометр.

4.3.9 Поместить в районе расположения эталонного динамометра термометр.

#### 4.4 Проведение поверки

##### 4.4.1 Определение порога реагирования МИС

Порог реагирования МИС определяется при нагрузке соответствующей условному нулю в следующей последовательности: положить на грузоприёмный узел, плавно (без толчков) такое количество дополнительных грузов, при котором появляется реагирование ВП силы (на 1, 2 единицы считывания). Снять дополнительные гири с грузоприёмного устройства и записать вес грузов в протокол (Приложение Б). Повторить эксперимент с наложением еще четыре раза.

##### 4.4.2 Определение коэффициента устойчивости ДМП МИС

ДМП освобождают от всех связей с термобарокамерой и статически уравнивают. Последовательно прикладывают к ДМП продольно действующие нагрузки от образцового динамометра типа «ДОР-0,1» и при перемещении ДМП до 3-х мм, через каждые 0,5 мм, считывают показания динамометра и записывают в протокол (Приложение Б). Перемещение

ДМП относительно ТБК измеряется индикатором часового типа, установленным в плоскости передних упругих лент подвески ДМП.

#### 4.4.3 Определение случайной составляющей основной погрешности

Случайная составляющая определяется по результатам 5-кратной градуировки системы с помощью стендового градуировочного устройства. Для этого необходимо выполнить следующие операции:

- подать напряжение питания на электрические устройства МИС и стендовое градуировочное устройство. После прогрева ВП силы в соответствии с требованиями инструкции по эксплуатации нагрузить МИС от стендового градуировочного устройства до максимального значения силы и выдержать при этой нагрузке не менее трёх минут;

- разгрузить МИС;

- нагрузить МИС до максимального значения и без выдержки разгрузить;

- записать в протокол (Приложение Б), время начала градуировки, температуру окружающего воздуха на стенде и нулевые показания МИС;

- задать от стендового градуировочного устройства последовательность из одиннадцати значений силы от нуля до максимального значения (прямой ход) и от максимального значения до нуля (обратный ход). На каждой ступени нагружения произвести регистрацию показаний МИС;

- повторить указанные операции ещё 4 раза, результаты занести в протокол (Приложение Б).

#### 4.4.4 Определение систематической погрешности МИС

Систематическая составляющая погрешности МИС определяется путём сличения функций преобразования силоизмерительной системы, полученной в нормальных условиях при пятикратной градуировке с помощью стендового градуировочного устройства, с функцией преобразования полученной при пятикратной градуировке с помощью поверочного градуировочного устройства. Для этого необходимо выполнить следующие операции;

- подать напряжение на электрические устройства МИС и поверочное градуировочное устройство для прогрева ВП силы в соответствии с инструкцией по эксплуатации;

- замкнуть силовую цепь эталонного динамометра в поверочное градуировочное устройство;

- нагрузить МИС с помощью поверочного градуировочного устройства до максимального значения силы и выдержать под нагрузкой не менее трёх минут;

- разгрузить МИС до нуля, разомкнуть силовую цепь эталонного динамометра в поверочном градуировочном устройстве и зарегистрировать нуль динамометра поверочного градуировочного устройства и ВП силы;

- замкнуть силовую цепь эталонного динамометра в поверочном градуировочном устройстве и повторить нагружение и разгружение динамометра поверочного градуировочного устройства;

- записать в протокол (Приложение Б), время начала градуировки, температуру окружающего воздуха в боксе и показания ВП силы при нулевой нагрузке (при разомкнутой цепи эталонного динамометра поверочного градуировочного устройства);

- замкнуть силовую цепь эталонного динамометра в поверочном градуировочном устройстве и нагрузить МИС с помощью поверочного градуировочного устройства до максимального значения силы;

- разгрузить МИС до нагрузки равной от 0,2 до 0,6 нагрузки, соответствующей первой контрольной точке;

- задавая нагружающим устройством поверочное градуировочное устройство, по показаниям эталонного динамометра те же значения, как и при градуировке поверочного градуировочного устройства, от нуля до максимального значения, останавливаясь на каждой контрольной точке не менее чем на 10 сек. произвести регистрацию показаний ВП силы с записью в протокол (Приложение Б);

– после достижения нагрузки на МИС, воспроизводимой поверочным градуировочным устройством максимального значения силы, регистрации и записи показаний ВП силы при этой нагрузке, произвести плавную разгрузку МИС до значений от 0,2 до 0,6 нагрузки, соответствующей первой контрольной точке;

– повторить нагружение еще четыре раза;

– после окончания пятой градуировки разомкнуть силовую цепь эталонного динамометра в поверочном градуировочном устройстве зарегистрировать и записать в протокол (Приложение Б) нулевые показания ВП силы, время окончания градуировки и температуру окружающего воздуха в боксе;

– после предварительного анализа полученных результатов градуировки МИС демонтировать поверочное градуировочное устройство.

#### 4.4.5 Определение основной погрешности

Основная погрешность МИС рассчитывается по данным, полученным в п. 4.4.3 и 4.4.4

### 4.5 Обработка результатов измерений

#### 4.5.1 Определение порога реагирования МИС.

Порог реагирования МИС стенов при действии на ДМП, кгс, определяется по формуле;

$$r = J \cdot q_{\text{cp}}, \quad (1)$$

где  $J$  – передаточное отношение ПУ;

$q_{\text{cp}}$  – среднее арифметическое значение веса дополнительных гирь, наложенных на грузоприемный узел ПУ,

$$q_{\text{cp}} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 q_i, \quad (2)$$

где  $q_i$  – вес дополнительных гирь, положенных на грузоприёмный узел ПУ при  $i$ -том эксперименте.

Порог реагирования модуля измерения силы не должен превышать 0,02 % ВП.

#### 4.5.2 Определение коэффициента устойчивости

Коэффициент устойчивости определяется следующим образом. На  $k$ -ой ( $k =$  от 1, 2 до 5) ступени нагружения рассчитывается среднее значение измеренных перемещений ПР  $\bar{X}_k$ ;

$$\bar{X} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 X_i, \quad (3)$$

По результатам измерений получается массив данных  $(\bar{X}_k, F_k)$ . Методом наименьших квадратов определяется коэффициент устойчивости  $k_{\text{уст}}$ , являющийся коэффициентом пропорциональности между силой, приложенной к ПР, и ее перемещением.

Значение коэффициента устойчивости  $k_{\text{уст}}$  нормируется АС «Системы силоизмерительных испытательных стенов авиационных ГТД. Общие требования. ОСТ 1 02512 – 84».

#### 4.5.3 Вычисление оценки случайной составляющей основной погрешности МИС.

Определяют и исключают аномальные результаты наблюдений, т.е. результаты, содержащие грубые погрешности. Проверку производят на каждой контрольной точке отдельно для прямых и обратных ходов градуировок.

Расчет случайной составляющей основной погрешности  $\tilde{\Delta}_{\text{ок}}$  выполняют по ОСТ 1 02517-84 (Приложение Б).

4.5.4 Вычисление оценки систематической составляющей основной погрешности МИС.

Расчет систематической составляющей основной погрешности  $\tilde{\Delta}_{оск}$  выполняют по ОСТ 1 02517-84 (Приложение Б).

4.5.5 Вычисление оценки основной погрешности МИС  $\tilde{\Delta}$

Оценка основной абсолютной погрешности МИС в k-ой контрольной точке  $\tilde{\Delta}_k$  определяется по формуле;

$$\tilde{\Delta}_k = |\tilde{\Delta}_{ок}| + |\tilde{\Delta}_{оск}| \quad (4)$$

Оценка основной относительной погрешности МИС в k-ой контрольной точке  $\tilde{\delta}_k$  определяется по формуле;

$$\tilde{\delta}_k = \frac{\tilde{\Delta}_k}{R_k} \cdot 100\% \quad (5)$$

Оценка основной приведенной к 0,5 Rmax погрешности МИС в k-ой контрольной точке  $\tilde{\gamma}_k$  определяется по формуле;

$$\tilde{\gamma}_k = \frac{\tilde{\Delta}_k}{0,5R_{max}} \cdot 100\% \quad (6)$$

Результаты определения основной погрешности МИС записать в протокол (Приложение Б).

4.6 Результаты поверки считать положительными, если значения суммарной погрешности измерения силы от тяги двигателя для каждой ступени нагружения находятся в пределах;

- в диапазоне от 0,5 до 1,0 Rmax..... ±0,3 % Rk
- в диапазоне от 0 до 0,5 Rmax..... ±0,3% от 0,5 Rmax

В противном случае проводится исследование системы с целью определения причин несоответствия.

Допускается проведение поверки отдельных измерительных каналов и (или) отдельных автономных блоков из состава МИС.

## 5 ПОВЕРКА МОДУЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ МАССОВОГО РАСХОДА ТОПЛИВА

### 5.1 Операции поверки МИРТ

#### 5.1.1 Операции поверки ИК МИРТ

Операции поверки ИК МИРТ представлены в таблице 3.

Таблица 3

Наименование операций поверки	Номер пункта МП	Проведение операций	
		первичная поверка	периодическая поверка
1 Подготовка к поверке	5.3.1	+	+
2 Проведение поверки	5.4	+	+
2.1 Внешний осмотр и опробование	5.4.1	+	+
2.2 Определение систематической и случайной погрешности электронной части ИК объемного расхода топлива	5.4.2; 5.5.1	+	+
2.3 Определение систематической и случайной погрешности ИК сопротивления электрическому току, соответствующего температуре топлива	7.4.4; 7.5.1	+	+
2.4 Определение систематической погрешности термометра сопротивления	7.5.2	+	+
2.5 Определение суммарной погрешности измерения температуры топлива	7.5.3	+	+
2.5 Определение систематической погрешности ИК плотности топлива	5.5.3	+	+
2.6 Определение суммарной погрешности измерения массового расхода топлива	5.5.5-5.5.7	+	+

#### 5.1.2 Операции поверки турбинных преобразователей расхода (ТПР)

Операции поверки ТПР представлены в таблице 4.

Таблица 4

Наименование операций поверки	Номер пункта МП	Проведение операций	
		первичная поверка	периодическая поверка
1. Подготовка к поверке	5.3.2	+	+
1.1. Внешний осмотр и опробование	5.4.3.1	+	+
2. Проведение поверки	5.4.3	+	+
2.1. Определение систематической и случайной погрешностей ТПР	5.4.3.2 5.4.3.5; 5.5.4	+	+
2.2	ОСТ 1 01021-93, ОТУ-2012		

## 5.2 Средства поверки

### 5.2.1 Средства поверки ИК МИРТ

Средства поверки ИК МИРТ без ТПР представлены в таблице 5.

Таблица 5

Номер пункта МП	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки, обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
5.4.2	<p>Генератор электрических сигналов ГЗ-110;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– диапазон частот от 0,00000001 до 2 МГц;</li><li>– погрешность установки частоты <math>3 \cdot 10^{-7}</math> Гц.</li></ul> <p>Многофункциональный калибратор модели TRX – IIR;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– диапазон воспроизведения напряжения постоянного тока от минус 10 до плюс 100 мВ,</li><li>– диапазон воспроизведения электрического сопротивления от 0 до 400 Ом,</li><li>– пределы допускаемой абсолютной погрешности воспроизведения напряжения постоянного тока <math>\pm 0,01</math> % ИЗ или <math>\pm 0,025</math> % ИЗ, где ИЗ – измеряемое значение.</li></ul>

Примечание - Допускается применение других средств измерения, технические и метрологические характеристики которых не уступают указанным в таблице 5.

### 5.2.2 Средства поверки ТПР

Средства поверки первичных преобразователей ТПР представлены в таблице 6.

Таблица 6

Номер пункта МП	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки, обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
5.4.3	<p>Трубопоршневые установки:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– ТПУ-3. Диапазон измерения от 10 до 2160 л/ч, предел допускаемой относительной погрешности измерения 0,12 % ИЗ;</li><li>– ТПУ-1. Диапазон измерения от 288 до 7200 л/ч, предел допускаемой относительной погрешности измерения 0,13 % ИЗ;</li><li>– ТПУ-4. Диапазон измерения от 5400 до 54000 л/ч, предел допускаемой относительной погрешности измерения 0,13 % ИЗ.</li></ul> <p>Система измерения температуры топлива, включающая термометр сопротивления ТСМ и мост КСМ-4П. Погрешность измерения <math>\pm 1</math> °С.</p> <p>Частотомер-хронометр Ф5041, абсолютная погрешность измерения времени <math>\Delta\tau = \pm 0,001</math> с.</p> <p>Манометры класса 0,6 со шкалой от 0 до 10 кгс/см<sup>2</sup> от 0 до <math>10 \cdot 10^5</math> Па.</p> <p>Барометр-анероид БАММ-1.</p> <p>Психрометр аспирационный.</p> <p>Вольтметр цифровой типа Ц300, погрешность <math>\pm 0,1</math> %.</p> <p>Магазин сопротивлений типа МСР-60М, кл. точности 0,02.</p>
5.5	ОСТ 1 01021-93, ОТУ-2012

Примечание - Допускается применение других средств измерения, технические и метрологические характеристики которых не уступают указанным в таблице 6.

5.2.3 Средства поверки термопреобразователей сопротивления ИК температуры топлива представлены в п.7.2.

5.2.4 Средства поверки плотности топлива

Средства поверки плотности топлива представлены в таблице 6а.

Таблица 6а

Номер пункта МП	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки, обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
5.5.3	Ареометр АНТ-1 ГОСТ 18481 – 81, диапазон измерения плотности от 0,78 до 0,82 кг/м <sup>3</sup> , предел основной составляющей погрешности измерения $\pm 0,06$ %.

По идеи ареометр не стоит включать в состав ИС-2, так как это лабораторное средство измерений и он должен поверяться отдельно по своей документации. Если его включать в состав системы, то только в качестве рабочего средства измерений, но не образцового.

### 5.3 Подготовка к поверке

#### 5.3.1 Подготовка к поверке электронной части ИК объёмного расхода МИРТ

При подготовке выполнить следующие операции:

- проверить комплектность электронной части ИК МИРТ на соответствие модуля и его элементов требованиям конструкторской документации на МИРТ.
- убедиться в правильности электрического и механического монтажа модуля.
- отключить электрические линии от разъёмов ТПР и подключить к последним генератор ГЗ-110 (рисунок 1 Приложение В).
- обеспечить в испытательном боксе и пультовой условия для поверки, указанные в разделе 3.
- включить систему ИС-2 Ц4Н/Ц1А согласно Руководству по ее эксплуатации.

5.3.2 Подготовка к поверке ИК сопротивления электрическому току, соответствующего температуре топлива, производится по п.7.3.1.

#### 5.3.3 Подготовка к поверке ТПР

При подготовке к поверке ТПР выполнить следующие операции:

- обеспечить в испытательном помещении требуемые условия для поверки;
- проверить комплектность измерительного участка (ИУ) с ТПР;
- провести внешний осмотр ИУ с ТПР на отсутствие повреждений;
- установить ИУ на ТПУ;
- проверить герметичность смонтированного ИУ и ТПУ;
- удалить воздух из трубопроводов;
- включить электрическое питание вторичной аппаратуры для прогрева и проверки её работоспособности;
- подготовить частотомеры-хронометры Ф5041.

5.3.4 Подготовка к поверке термопреобразователей сопротивления ИК температуры топлива производится по п.7.3.2.

### 5.4 Проведение поверки

5.4.1 Внешний осмотр и опробование электронной части ИК объёмного расхода топлива.



Проверить комплектность ИК и соответствие его элементов требованиям конструкторской документации на МИРТ, проверить надежность электрических соединений МИРТ.

Работоспособность электронной части ИК МИРТ проверяют путем изменения эталонного сигнала от минимального до максимального значений и регистрации соответствующих измеренных значений электрических сигналов.

5.4.2 Определение систематической и случайной погрешности электронной части ИК объемного расхода топлива

Установить при помощи генератора электрических сигналов типа ГЗ-110 ряд значений частоты, соответствующих по градуировочной характеристики ТПР ряду значений расхода;

$$Q_k = Q_{\text{MIN}} + \frac{Q_{\text{MAX}} - Q_{\text{MIN}}}{5} \times k, \quad (7)$$

где  $k = 0, 1, \dots, 5$  – номер ступени нагружения;

$Q_{\text{MAX}}$  – максимальный имитируемый объемный расход топлива через двигатель;

$Q_{\text{min}}$  – минимальный имитируемый объемный расход топлива через двигатель.

Зарегистрировать при помощи МИРТ измеренные значения расхода топлива  $Q_{k,i}$ , где  $i = 1, 2, \dots, n$  – номер измерения на  $k$ -й ступени нагружения. Результаты занести в протокол, форма которого приведена в Приложении 8.Б

5.4.3 Проведение поверки ТПР

5.4.3.1 Опробование

Проверить работоспособность всех элементов системы. Провести несколько пробных измерений.

5.4.3.2 Перед началом поверки записать в протокол поверки (Приложение Б);

– температуру окружающего воздуха;

– давление рабочей жидкости на входе и выходе из ТПУ;

– атмосферное давление;

– относительную влажность воздуха.

5.4.3.3 Настроить ТПУ на требуемый объемный расход с помощью дроссельного крана, установленного в выходном трубопроводе ТПУ, по частоте сигнала с ТПР, регистрируемого частотомером Ф5041.

Установить последовательно ряд значений расхода через ТПУ

$$\bar{Q}_k = Q_{\text{MIN}} + \frac{Q_{\text{MAX}} - Q_{\text{MIN}}}{5} \times k, \quad (8)$$

где  $Q_{\text{MIN}}, Q_{\text{MAX}}$  – минимальный и максимальный объемный расход поверяемого ТПР;

$k = 0, 1, 2, \dots, 5$  – номер ступени расхода.

5.4.3.4 Произвести измерения на заданном расходе.

Измерить значения  $N$  и  $\tau$  и занести их в протоколы поверки в Приложении Б где  $N$  – число импульсов выходной частоты ТПР, подсчитанное частотомером-хронометром за интервал времени  $\tau$ , равный рабочему ходу поршня ТПУ.

Измерить и записать в протокол поверки значение температуры топлива  $t$ .

5.4.3.5 Повторить измерения по пунктам 5.4.3.3, 5.4.4 ещё 4 раза, результаты записать в протокол поверки (Приложение Б.)

Протокол поверки каждого расходомера должен содержать также следующие данные:

– дата и шифр стенда;

– сорт топлива;

– номер ТПР;

– калиброванный объем ТПУ.

5.4.4 Проведение поверки первичных преобразователей ИК температуры топлива, термопреобразователей сопротивления, производится по пункту 7.4.5.2.

## 5.5 Обработка результатов поверки

5.5.1 Обработка результатов исследований электронной части ИК объёмного расхода топлива МИРТ.

5.5.1.1 Среднее значение измеренного имитируемого расхода на k-й ступени нагружения;

$$Q_k = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{k,i}}{n} \quad (9)$$

5.5.1.2 Абсолютная систематическая составляющая погрешности электронной части ИК на k-й ступени нагружения;

$$\Delta Q_k = Q_k - Q_{0k}, \quad (10)$$

где  $Q_{0k}$  – эталонное значение имитируемого расхода на k-й ступени нагружения.

5.5.1.3 Относительная систематическая составляющая погрешности измерения имитируемого расхода на k-й ступени нагружения;

$$\theta_k(Q) = \frac{\Delta Q_k}{Q_{0k}} \quad (11)$$

5.5.1.4 Максимальная относительная систематическая составляющая погрешности измерения имитируемого расхода во всём диапазоне;

$$\theta(Q) = \max(\theta_k(Q)) \quad (12)$$

5.5.1.5 Абсолютное значение СКО случайной составляющей погрешности измеренного имитируемого и СИТ-ируемого расхода на k-й ступени нагружения;

$$\sigma_k = \left( \sum_i \frac{(Q_{k,i} - Q_k)^2}{n-1} \right)^{0,5} \quad (13)$$

5.5.1.6 Оценка относительного значения СКО случайной составляющей погрешности измеренного имитируемого и СИТ-ируемого расхода на k-й ступени нагружения;

$$s_k = \frac{\sigma_k}{Q_{0k}} \quad (14)$$

5.5.1.7 Максимальная относительное СКО случайной составляющей погрешности измеренного имитируемого расхода во всём диапазоне;

$$s(Q) = \max(s_k) \quad (15)$$

Результаты расчётов погрешности электронной части ИК объёмного расхода топлива МИРТ занести в протокол, (Приложение Б.)

5.5.2 Определение суммарной абсолютной погрешности ИК температуры топлива МИРТ

Суммарная погрешность ИК температуры топлива МИРТ рассчитывается по п.7.5.3 на основании ранее найденных систематических погрешностей ИК и первичных преобразователей, определенных по п.7.5.1, 7.5.2.

Суммарная абсолютная погрешность ИК температуры топлива во всем диапазоне равна максимальному значению;

$$\Delta T = \max(\Delta T_k) \quad (16)$$

5.5.3 Определение относительной систематической погрешности измерения плотности топлива

$$\theta(\rho) = ((\theta_{\rho_t})^2 + (\theta_{\rho_{20}})^2)^{0,5}, \quad (17)$$

где  $\theta_{\rho_t}$  – относительная систематическая погрешность плотности топлива, вызываемая погрешностью измерения температуры;

$$\theta_{\rho_t} = \frac{\gamma \cdot \Delta T}{\rho_{20}}, \quad (18)$$

где  $\gamma$  – температурная поправка плотности, кг/м<sup>3</sup> град;

$$\gamma = -(820,5 - 0,13 \cdot \rho_{20}) \cdot 10^{-3} \quad (19)$$

$\Delta T$  – суммарная абсолютная погрешность ИК температуры топлива МИРТ;

$\rho_{20}$  – плотность топлива при  $t = 20^\circ\text{C}$ ;

$\theta_{\rho_{20}}$  – систематическая погрешность измерения плотности топлива при  $t = 20^\circ\text{C}$ , равная погрешности ареометра.

5.5.4 Обработка результатов поверки ТПР.

Результаты поверки ТПР занести в протокол (Приложение Б).

5.5.4.1 Объёмный расход топлива, воспроизводимый ТПУ;

$$\bar{Q}_{k,i} = \frac{V}{\tau_{k,i}}, \quad (20)$$

где  $\tau_{k,i}$  – время измерительного цикла при  $i$ -ом измерении ( $i = 1, 2, \dots, n$  – номер единичного отсчета,  $n = 5$ ) на  $k$ -й ступени расхода ( $k = 1, 2, \dots, m$ ,  $m = 5$ );

$V$  – калиброванный объём ТПУ.

5.5.4.2 Средний измеренный объёмный расход топлива;

$$\bar{Q}_k = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{k,i}}{n} \quad (21)$$

5.5.4.3 Частота выходного сигнала ТПР при  $i$ -ом измерении на  $k$ -й ступени расхода;

$$F_{k,i} = \frac{N_{k,i}}{\tau_{k,i}}, \quad (22)$$

где  $N_{k,i}$  – число импульсов выходной частоты ТПР при  $i$ -ом измерении на  $k$ -й ступени расхода,  $\tau_{k,i}$  – соответствующее время измерения.

5.5.4.4 Объёмный расход, измеренный ТПР

При аппроксимации градуировочной зависимости ТПР полиномом 3-й степени объёмный расход, измеренный ТПР

$$Q_{(mnp)k,i} = \sum_{r=0}^3 A_r \cdot F_{k,i}^r, \quad (23)$$

где  $A_r$  – коэффициенты полинома степени  $r$  ( $r=0\dots3$ ).

При аппроксимации градуировочной зависимости ТПР линейным уравнением с графиком поправок объёмный расход вычисляется по формуле

$$Q_{(\text{тпр})k,i} = B \cdot F_{k,i} + \Delta Q_{k,i}, \quad (24)$$

где  $B$  – градуировочный коэффициент ТПР;

$\Delta Q_{k,i}$  – поправка, которая берётся из графика  $\Delta Q_{k,i} = f(B \cdot F_{k,i})$ .

5.5.4.5 Средний объёмный расход, измеренный ТПР на  $k$ -й ступени

$$Q_{(\text{тпр})k} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{k,i}}{n} \quad (25)$$

5.5.4.6 Относительная систематическая погрешность измерения объёмного расхода ТПР на  $k$ -й ступени расхода

$$\delta Q_{(\text{тпр})k} = \frac{Q_{(\text{тпр})k} - \bar{Q}_k}{\bar{Q}_k} \quad (26)$$

5.5.4.7 Относительная систематическая погрешность измерения объёмного расхода ТПР во всём диапазоне

$$\theta(Q)_{\text{тпр}} = \max(\delta Q_{(\text{тпр})k}) \quad (27)$$

5.5.4.8 Определение случайной погрешности измерения объёмного расхода ТПР  
СКО случайной составляющей погрешности измерения объёмного расхода ТПР на  $k$ -й ступени расхода

$$\sigma_{(\text{тпр})k} = \left( \frac{\sum (Q_{(\text{тпр})k,i} - Q_{(\text{тпр})k})^2}{n-1} \right)^{0.5} \quad (28)$$

Относительное СКО случайной составляющей погрешности измерения объёмного расхода ТПР на  $k$ -й ступени расхода;

$$s_{(\text{тпр})k} = \frac{\sigma_{(\text{тпр})k}}{Q_k} \quad (29)$$

Относительное СКО случайной составляющей погрешности измерения объёмного расхода ТПР во всём диапазоне;

$$s_{(\text{тпр})} = \max(s_{(\text{тпр})k}) \quad (30)$$

5.5.5 Определение относительной систематической погрешности измерения массового расхода топлива

$$\theta(G) = 1,1 \cdot (\theta(Q)^2 + \theta(\rho)^2 + \theta(Q)_{\text{тпр}}^2)^{0.5} \quad (31)$$

5.5.6 Относительное СКО случайной составляющей погрешности измерения массового расхода топлива

$$s(G) = (s(Q)^2 + s(Q)_{\text{тпр}}^2)^{0,5} \quad (32)$$

### 5.5.7 Суммарная относительная погрешность измерения массового расхода топлива

$$\delta G = K(\theta(G) + \varepsilon(G)), \quad (33)$$

где  $K$  - коэффициент, зависящий от доверительной вероятности и отношения  $\theta(G)/S(G)$ .  
Значения  $K$  для  $P=0,95$  представлены в таблице 7

Таблица 7

$\frac{Q(G)}{S(Q)}$	0,5	0,75	1	2	3	4	5	6	7	8
$K$	0,81	0,77	0,74	0,71	0,73	0,76	0,78	0,79	0,8	0,81

$\varepsilon(G)$  – относительная случайная составляющая погрешности измерения массового расхода топлива;

$$\varepsilon(G) = t \times s(G), \quad (34)$$

$t = 2,776$  - коэффициент Стьюдента.

Результаты определения погрешностей массового расхода топлива занести в протокол (Приложение Б.)

6.6 Результаты поверки считать положительными, если значения относительной погрешности измерений объемного расхода газообразного, жидкого топлива находятся в пределах  $\pm 0,28$  % ИЗ в диапазоне от 72 до 54000 л/ч; значения относительной погрешности измерений плотности топлива находятся в пределах  $\pm 0,1$  % ИЗ в диапазоне от 700 до 850 кг/м<sup>3</sup>.

В противном случае проводится исследование системы с целью определения причин несоответствия.

Допускается проведение поверки отдельных измерительных каналов и (или) отдельных автономных блоков из состава МИРТ.

## 6 ПОВЕРКА МОДУЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ДАВЛЕНИЯ

### 6.1 Операции поверки

Операции поверки модуля МИД представлены в таблице 8.

Таблица 8

Наименование операции	Номер пункта МП	Проведение операций	
		первичная поверка	периодическая поверка
Внешний осмотр	6.4.1	+	+
Опробование	6.4.2	+	+

Продолжение таблицы 8

Определение метрологических характеристик	6.4.3	+	+
Определение суммарной погрешности	6.5	+	+

## 6.2 Средства поверки

Средства поверки МИД представлены в таблице 9.

Таблица 9

Номер пункта МП	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки, обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
6.4, 7.3	Измерительный преобразователь давления цифровой типа ИПДЦ, основная погрешность $\pm 0,06$ % от ВП. Манометр цифровой прецизионный типа МЦП-2М, основная погрешность $\pm 0,025$ % от ВП. Манометр поршневой типа МП-60, второго разряда погрешность $\pm 0,05$ % от ВП. Манометр поршневой типа МПА-15 для поверки ИК с ДВБЧ-У-1, в диапазоне от 0 до 150 мм рт. ст. погрешность $\pm 0,05$ мм рт. ст., в диапазоне от 150 до 1000 мм рт. ст. погрешность $\pm 0,1$ мм рт. ст., в диапазоне от 1000 до 3000 мм рт. ст. погрешность $\pm 0,1$ % ВП.
6.5	ОСТ 1 01021-93, ОТУ-2012

Примечание - При проведении поверочных работ условия окружающей среды рабочих эталонов должны соответствовать требованиям, указанным в их инструкциях по эксплуатации.

## 6.3 Подготовка к поверке

6.3.1 Включить систему согласно Руководству по эксплуатации.

6.3.2 Проверить соответствие условий поверки требованиям п. 6.2.

6.3.3 Подготовить необходимое для поверки эталонное и вспомогательное оборудование.

6.3.4 Проверить наличие непросроченных свидетельств на поверку эталонного оборудования.

## 6.4 Проведение поверки

### 6.4.1 Внешний осмотр

При проведении внешнего осмотра системы измерения давления проверить:

- комплектность эксплуатационной документации
- правильность электрического и механического монтажа;

- герметичность пневматической и гидравлической частей
- наличие действующих поверочных клейм или Свидетельств о поверке эталонов.

#### 6.4.2 Опробование

При опробовании ИК давления выполнить следующие операции:

- собрать функциональные схемы модуля измерений давления (избыточного, абсолютного и разностного давлений) (приложение В рисунок 3,4,5);
- соединить первичные преобразователи (датчики) с магистралью эталонного давления;
- подать на магистраль эталонные давления, равные нижнему, а затем верхнему пределу измерения данной группы датчиков;
- проверить соответствие значения давления, индицируемого на экране дисплея ЭВМ, и заданного давления. Отличие указанных давлений не должно превышать предела допускаемой погрешности для данного канала.

#### 6.4.3 Определение (контроль) метрологических характеристик

##### 6.4.3.1 ИК полного и статического давлений на входе в двигатель

Минусовые порты соответствующих датчиков дифференциального давления соединить с атмосферой. На плюсовые порты подать ряд значений эталонного избыточного давления

$$P_k = \frac{P_{\max}}{N-1}(k-1), \quad (35)$$

где  $k=1,2,\dots,N$  - номер ступени нагружения;  $N \geq 5$  - число ступеней нагружения (в соответствии с рекомендациями по метрологии МИ 677-84  $P_{\max}$  =ВП измерения данного ИК).

Выполнить три цикла нагружения. При этом в каждом цикле давление необходимо повысить от нуля до верхнего предела измерений (прямой ход) и понизить от верхнего предела до нуля (обратный ход) с выдержкой по времени на верхнем пределе нагружения в течение 1 минуты. На каждой ступени нагружения зарегистрировать и занести в протокол (Приложение А) измеренные значения давления  $p_k$ .

##### 6.4.3.2 ИК давления газа и жидкостей по тракту двигателя

На входы датчиков избыточных давлений подать ряд значений эталонного избыточного давления

$$P_k = \frac{P_{\max}}{N-1}(k-1), \quad (36)$$

где  $k=1,2,\dots,N$  - номер ступени нагружения;  $N \geq 5$  - число ступеней нагружения (в соответствии с рекомендациями по метрологии МИ 677-84;  $P_{\max}$  =ВП измерения данного ИК).

Выполнить три цикла нагружения. При этом в каждом цикле давление необходимо повысить от нуля до верхнего предела измерений (прямой ход) и понизить от верхнего предела до нуля (обратный ход) с выдержкой по времени на верхнем пределе нагружения в течение 1 минуты. На каждой ступени нагружения зарегистрировать и занести в протокол (Приложение Б) измеренные значения давления  $p_k$ .

#### 6.5 Обработка результатов измерений

6.5.1 Определение погрешностей измерительных каналов полного и статического давлений на входе в двигатель

### 6.5.1.1 Определение систематических погрешностей ИК полного и статического давлений на входе в двигатель

Абсолютная систематическая погрешность ИК;

$$\Delta P_{\text{сист}} = \pm(\max(|\frac{P_{k(\text{прям})} + P_{k(\text{обр})}}{2} - P_k|)), \quad (37)$$

где  $P_{k(\text{прям})}$  - среднее давление по трём циклам на k-ой ступени нагружения прямого хода;  
 $P_{k(\text{обр})}$  - то же самое для обратного хода нагружения.

### 6.5.1.2 Определение вариации измерительного канала

Абсолютная погрешности ИК от вариации

$$\Delta P_{\text{вар}} = \pm(\max(|P_{k(\text{прям})} - P_{k(\text{обр})}|)) \quad (38)$$

### 6.5.1.3 Определение суммарной погрешности измерительного канала

Случайные погрешности ИК не учитываются ввиду их малости. При этом в соответствии с ГОСТ Р 8.736-2011 погрешность ИК

$$\Delta P_{\text{сум}} = \pm(\Delta P_{\text{сист}} + \frac{\Delta P_{\text{вар}}}{2}) \quad (39)$$

В соответствии с ОСТ 1 01021-93 и ОСТ 1 02555-85 предел допускаемой погрешности для ИК разности атмосферного и полного давления на входе в двигатель составляет  $\pm 50$  Па.

Предел допускаемой погрешности измерения разности статического и атмосферного давлений напрямую в ОСТ 1 01021-93 не нормируется, однако нормируется допускаемый предел погрешности разности полного и статического давлений ( $P_1$ ), который составляет  $\delta P_1 = \pm 0,3\%$  ИЗ.

Также нормируется предел допускаемой абсолютной погрешности разности атмосферного и полного давлений ( $P_2$ ), который составляет  $\Delta P_2 = \pm 50$  Па.

Из этих данных необходимо определить допускаемую погрешность измерения разности атмосферного и статического давлений ( $P_3$ )

$$\Delta P_{3(\text{дон})} = \pm(|\delta P_1 * P_{1\text{min}}| + |\Delta P_2|), \quad (40)$$

где  $P_{1\text{min}}$  - разность между полным и статическим давлениями при минимальном расходе воздуха через двигатель ( $0,7 \cdot G_{\text{max}}$ ).

Сравнить найденные пределы суммарных погрешностей с допустимыми значениями указанных погрешностей.

6.5.1.4 Результаты поверки считать положительными, если значения суммарной погрешности измерений давления на входе в двигатель находятся в пределах  $\pm 0,3\%$  от ИЗ. В противном случае система бракуется и направляется в ремонт.

### 6.5.2 Определение погрешностей измерительного канала давлений газа и жидкостей по тракту двигателя

#### 6.5.2.1 Определение систематических погрешностей измерительного канала давлений газа и жидкостей по тракту двигателя

Абсолютная систематическая погрешность измерения избыточного давления



$$\Delta P_{\text{сист}} = \pm(\max(|\frac{P_{k(\text{прям})} + P_{k(\text{обр})}}{2} - P_k|)), \quad (41)$$

где  $P_{k(\text{прям})}$  - среднее избыточное давление по 3-м циклам на k-ой ступени нагружения прямого хода;

$P_{k(\text{обр})}$  - то же самое для обратного хода нагружения.

#### 6.5.2.2 Определение вариации измерительного канала

Абсолютная погрешности ИК от вариации

$$\Delta P_{\text{вар}} = \pm(\max(|P_{k(\text{прям})} - P_{k(\text{обр})}|)) \quad (42)$$

#### 6.5.2.3 Определение суммарной погрешности измерения избыточного давления

Случайные погрешности ИК не учитываются ввиду их малости. При этом в соответствии с ГОСТ Р 8.736-2011 абсолютная погрешность ИК избыточного давления

$$\Delta P_{\text{изб}} = \pm(\Delta P_{\text{сист}} + \frac{\Delta P_{\text{вар}}}{2}) \quad (43)$$

#### 6.5.2.4 Определение суммарной относительной погрешности измерения давления по тракту двигателя

Суммарная относительная погрешность измерения давления по тракту двигателя

$$\delta P_{\text{сум}} = \pm \frac{\Delta P_{\text{изб}} + |\Delta P_{\text{бар}}|}{P_{\text{изб max}} + P_{\text{атм}}} \cdot 100\%, \quad (45)$$

где  $P_{\text{изб max}}$  - верхний предел измерения избыточного давления для данного ИК;

$P_{\text{атм}}$  - атмосферное давление;  $\Delta P_{\text{бар}}$  - предел погрешности измерения атмосферного давления.

6.5.2.5 Результаты поверки считать положительными, если значения суммарной погрешности измерений:

- абсолютного (базовое) давления находятся в пределах  $\pm 0,02$  % от ВП в диапазоне от 0,6 до 4000 кПа, где ВП = 4000 кПа;

- избыточного давления- разрежения газа, находятся в пределах  $\pm 0,3$  % от ВП, где ВП=41370 кПа;

- разности (перепада) давлений воздуха (газа) по тракту ГТД относительно атмосферного давления находятся в пределах  $\pm 0,3$  % от ВП, где ВП= 5000 кПа;

- разности (перепада) давлений воздуха на входе в ГТД относительно базового давления находятся в пределах  $\pm 0,28$  % от ВП, где ВП = 600 кПа;

- атмосферного давления находятся в пределах  $\pm 67$  Па;

- разности (перепада) давлений газа находятся в пределах  $\pm 0,3$  % от ВП, где ВП=103,4 кПа;

- разности (перепада) между базовым давлением и полным и статическим давлениями в мерном сечении РМК находятся в пределах  $\pm 0,15$  % от ВП, где ВП = 103,4 кПа;

- давления жидкостей (масла, топлива, гидросмесей) находятся в пределах  $\pm 1,0$  % от ВП, где ВП =45000кПа;

- абсолютного давления находятся в пределах  $\pm 0,2$  % от ВП, где ВП = 13,3 кПа, в пределах  $\pm 0,2$  % от ИЗ в диапазоне от 13,3 до 80, в пределах  $\pm 0,02$  % от ИЗ в диапазоне от 80 до 280.

В противном случае проводится исследование системы с целью определения причин несоответствия.

Допускается проведение поверки отдельных измерительных каналов и (или) отдельных автономных блоков из состава МИД.

## 7 ПОВЕРКА МОДУЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

### 7.1 Операции поверки

Операции поверки модуля МИТ представлены в таблице 10.

Таблица 10

Наименование операции	Номер пункта МП	Проведение операций	
		первичная поверка	периодическая поверка
Подготовка к поверке	7.3	+	+
Внешний осмотр	7.4.1	+	+
Опробование	7.4.2	+	+
Определение метрологических характеристик ИК напряжения и сопротивления электрическому току, соответствующих температурам	7.4.3, 7.4.4, 7.5.1	+	+
Определение систематических погрешностей первичных преобразователей температур	7.4.5, 7.5.2	+	+
Определение суммарной погрешности ИК модуля СИТ	7.5.3, 7.5.4	+	+

### 7.2 Средства поверки

Средства поверки МИТ представлены в таблице 11.

Таблица 11

Номер пункта МП	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки, обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
7.4.3, 7.4.4	Многофункциональный калибратор модели TRX - IIR фирмы «Druck»/ «Unomat Instruments» (Голландия) Диапазоны воспроизведения: – напряжения, мВ от минус 10 до плюс 100; – сопротивления, Ом от 0 до 400; – погрешность $\pm 0,01$ % ИВ или $\pm 0,025$ % ИВ.
7.4.5	Установка УПСТ-2М, включающая следующие блоки: – блоки измерительные БИ-1, БИ-2; – термостат нулевой ТН-1 М; – термостат паровой ТП-2 4; – печь МТМ-2 МР-50-500 от 100 до 1200 °С; – термостат регулируемый ТР-1 М-300 от 40 до 200 °С; – вольтметр В2-29.
7.5	ОСТ 1 01021-93, ОТУ-2012

Примечание - Допускается применение других средств измерения, технические и метрологические характеристики которых не уступают указанным в таблице 11.

### 7.3 Подготовка к поверке МИТ

7.3.1 При подготовке к поверке ИК напряжения постоянного тока и ИК сопротивления постоянному току МИТ выполнить следующие операции:

- проверить комплектность ИК МИТ и соответствие его элементов требованиям конструкторской документации на МИТ, убедиться в правильности электрического и механического монтажа системы;
- обеспечить в испытательном боксе и пультовой условия для поверки, указанные в разделе 3;
- отключить электрические линии, идущие от термодар, от входов в систему ИС-2-Ц4Н;
- отключить электрические линии, идущие от термопреобразователей сопротивления, установленных на стенде, от входов системы ИС-2-Ц4Н;
- подключить на электрические входы ИК напряжения постоянного тока МИТ систем ИС-2 Ц4Н/Ц1А источник эталонного напряжения от калибратора модели TRX - IIR;
- подключить на электрические входы ИК сопротивления постоянному току МИТ систем ИС-2 Ц4Н/Ц1А источник эталонного сопротивления от калибратора модели TRX - IIR;
- включить систему ИС-2 Ц4Н/Ц1А согласно Руководству по ее эксплуатации.

#### 7.3.2 Подготовка к поверке первичных преобразователей модуля МИТ

- проверить комплектность первичных преобразователей;
- установить первичные преобразователи на установку, воспроизводящую эталонные значения температур;
- проверить правильность электрического соединения первичных преобразователей с эталонной установкой;
- включить электрическое питание аппаратуры для прогрева и проверки её работоспособности;
- обеспечить в испытательном помещении требуемые условия для поверки;
- проверить наличие непросроченных свидетельств о поверке на эталонную установку.

### 7.4 Проведение поверки

#### 7.4.1 Внешний осмотр

7.4.1.1 Проверить комплектность модуля и его соответствие требованиям конструкторской документации;

7.4.1.2 Проверить правильность электрического и механического монтажа модуля.

7.4.1.3 Проверить отсутствие механических повреждений элементов модуля.

#### 7.4.2 Опробование

##### 7.4.2.1 Опробование ИК с термометрами сопротивления

- собрать функциональную схему модуля измерений температуры ( приложение В рисунок 7);
- измерить температуры воздуха на входе в двигатель и рабочих жидкостей двигателя, сравнить полученные данные с ожидаемыми значениями указанных параметров;
- отключить электрические линии, идущие от термометров сопротивлений, от входов в Систему;
- подключить на входы в Систему источник эталонного сопротивления от калибратора модели TRX-IIR;
- с помощью эталонного устройства подать на вход ИК минимальную и максимальную нагрузки. По изменению значений параметра поверяемого ИК в процессе нагрузки и по значениям его в крайних точках убедиться в работоспособности канала.

#### 7.4.2.2 Опробование ИК, работающих с блоком термопар

– собрать функциональную схему модуля измерения температуры ( Приложение В рисунок 6);

– измерить температуру воздуха за турбиной двигателя, сравнить полученные данные с ожидаемым значением указанного параметра;

– отключить термопарные линии от входа в ИК;

– подключить на входы Системы источник эталонного напряжения от калибратора модели TRX-IIR;

– с помощью эталонного устройства подать на вход ИК минимальную и максимальную нагрузки. По изменению значений параметра поверяемого ИК в процессе нагрузки и по значениям его в крайних точках убедиться в работоспособности канала.

#### 7.4.3 Определение (контроль) метрологических характеристик

##### 7.4.3.1 Определение погрешности ИК постоянного тока (работающего с блоком термопар)

Установить калибратором ряд равноотстоящих значений эталонного напряжения, соответствующих имитируемым значениям эталонных температур. Число ступеней нагружения  $N \geq 5$ , число циклов нагружения  $n = 1$ .

На каждой ступени нагружения зарегистрировать измеренные значения температуры  $T_k$ .

##### 7.4.3.2 Определение погрешностей измерительного канала электрических сопротивлений (работающих с термометрами сопротивлений)

Подать на вход ИК ряд равноотстоящих значений эталонных сопротивлений, соответствующих имитируемой эталонной температуре. Число ступеней нагружения  $N \geq 5$ , число циклов нагружения  $n = 1$ .

На каждой ступени нагружения зарегистрировать измеренные значения температуры  $T_k$ .

##### 7.4.3.3 Определение погрешностей первичных преобразователей (термометров сопротивления и блока термопар Т)

Значения пределов погрешностей для термометров сопротивления и термопар взять из данных их очередной поверки.

##### 7.4.3.4 Определение суммарных погрешностей

Суммарные погрешности МИТ определить путем суммирования всех найденных составляющих.

### 7.5 Обработка результатов измерений

#### 7.5.1 Определение погрешностей ИК постоянного тока и ИК электрического сопротивления

Относительная погрешность ИК постоянного тока и ИК электрического сопротивления

$$\delta T_{ик} = \begin{cases} \pm \left( \max \left( \frac{|T_k - \bar{T}_k|}{\bar{T}_k} \right) \right) \text{ (для ИК } T_{возд} \text{)} \\ \pm \left( \max \left( \frac{|T_k - \bar{T}_k|}{\bar{T}_{\max}} \right) \right) \text{ (для ИК } T_{турб,рж} \text{)} \end{cases}, \quad (46)$$

где  $T_k, \bar{T}_k$  – измеренная и эталонная температуры на k-й ступени нагружения;

$\bar{T}_{\max}$  – максимальная эталонная температура, соответствующая ВП измерения (в градусах Кельвина при поверке ИК температуры воздуха  $T_{возд}$  и газа за турбиной, в градусах Цельсия при поверке ИК температуры рабочих жидкостей  $T_{рж}$ ).

#### 7.5.2 Определение погрешностей термометров сопротивления и термопар

Погрешность термометров сопротивления взять как максимальное значение погрешности, полученное при их последней периодической поверке согласно ГОСТ Р 8.624-2006;

$$\Delta T_{TC} = \pm(\max|\Delta T_{TC(k)}|), \quad (47)$$

где  $\Delta T_{TC(k)}$  - погрешность ТС на k-й ступени нагружения при его последней поверке.

Измерение температуры газа за турбиной осуществляется термопарами  
Погрешность термопар взять из данных их очередной поверки.

### 7.5.3 Определение суммарных погрешностей ИК

#### 7.5.3.1 Определение суммарной погрешности ИК температуры корпусов и деталей ГТД

$$\delta T_{\text{сум}} = \pm(\delta T_{TC} + \delta T_{ИК}) \quad (48)$$

где  $\delta T_{TC}$  – максимальная относительная погрешность термометра сопротивления в диапазоне измерения;

Погрешность ИК температуры на входе не должна превышать  $\pm 0,3$  % ИЗ в соответствии с ОСТ 1 01021-93.

7.5.3.2 Определение суммарной погрешности ИК температуры топлива, масла, гидросмесей

$$\delta T_{\text{сум}} = \pm(\delta T_{TC} + \delta T_{ИК}) \quad (49)$$

Погрешность ИК температуры топлива, масла, гидросмесей, не должна превышать  $\pm 1,0$  % ВП НЗ

#### 7.5.3.3 Определение суммарной погрешности ИК с термопарами

$$\delta T_{\text{сум}} = \pm(|\delta T_{ТП}| + \delta T_{ИК}), \quad (50)$$

где  $\delta T_{ТП}$  – максимальная относительная погрешность термоэлектрического термометра (термопары) в диапазоне измерений.

Погрешность измерения ИК температуры с термопарами не должно превышать ( $\pm 0,3$  % от ИЗ по температуре с учетом погрешности ПП )

Результаты поверки считать положительными, если, значения суммарной относительной погрешности измерений температуры корпусов и деталей ГТД находятся в пределах  $\pm 1$  % от ВП НЗ где ВП - 1300 °С; по температуре с учетом погрешности ПП); значения суммарной приведенной (к ВП НЗ) погрешности измерений температуры воздуха по тракту двигателя находятся в пределах  $\pm 0,3$  % от ИЗ по температуре с учетом погрешности ПП; значения суммарной приведенной (к ВП НЗ) погрешности измерений температуры рабочих жидкостей (топлива, масла, гидросмесей) находятся в пределах  $\pm 1,0$  % ВП, где ВП = 200 °С.

В противном случае проводится исследование системы с целью определения причин несоответствия.

Допускается проведение поверки отдельных измерительных каналов и (или) отдельных автономных блоков из состава МИТ.

## 8 ПОВЕРКА МОДУЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РОТОРОВ

### 8.1 Операции поверки (без датчика)

Операции поверки модуля МИЧВР представлены в таблице 12.

Таблица 12

Наименование операции	Номер пункта МП	Проведение операций	
		первичная поверка	периодическая поверка
Внешний осмотр	8.4.1	+	+
Опробование	8.4.2	+	+
Определение метрологических характеристик	8.4.3	+	+
Определение основной погрешности	8.5	+	+

### 8.2 Средства поверки

Средства поверки МИЧВР представлены в таблице 13.

Таблица 13

Номер пункта МП	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки, обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
8.4.2, 8.4.3	Генератор ГЗ-110 Диапазон частот от 0,001 до 2000000 Гц Погрешность установки частоты $\pm 3 \cdot 10^{-7}$ Гц
8.5	ОСТ 1 01021-93, ОТУ-2012

Примечание - Допускается применение других средств измерения, технические и метрологические характеристики которых не уступают указанным в таблице 13.

### 8.3 Подготовка к поверке

8.3.1 Включить систему согласно Руководству по эксплуатации.

8.3.2 Проверить соответствие условий поверки требованиям п.6.2

8.3.3 Подготовить необходимое для поверки эталонное и вспомогательное оборудование.

8.3.4 Средства измерений должны быть утверждённого типа и поверены;

– обеспечить в испытательном боксе и пультовой условия для поверки, указанные в разделе 3;

– отключить электрические линии, идущие от датчиков частоты вращения, установленных на двигателе, от входов в систему ИС-2-Ц4Н;

– подключить на электрические входы системы ИС-2 Ц4Н/Ц1А источник эталонного напряжения и частоты от генератора ГЗ – 110;

– включить систему ИС-2 Ц4Н/Ц1А согласно Руководству по ее эксплуатации.

## 8.4 Проведение поверки

### 8.4.1 Внешний осмотр

8.4.1.1 Проверить комплектность модуля и его соответствие требованиям конструкторской документации;

8.4.1.2 Проверить правильность электрического и механического монтажа модуля.

8.4.1.3 Проверить отсутствие механических повреждений элементов модуля.

### 8.4.2 Опробование

Собрать функциональную схему модуля измерения частоты вращения ротора (Приложение В рисунок 8).

8.4.2.1 Измерить частоту вращения ротора, сравнить полученные данные с ожидаемыми значениями указанного параметра (должны быть в среднем нулевые показания);

8.4.2.2 Отключить электрические линии, идущие от датчиков частоты вращения роторов, от входов в Систему;

8.4.2.3 Подключить на входы в Систему источник эталонной частоты от генератора ГЗ-110;

8.4.2.4 С помощью эталонного устройства подать на вход ИК минимальную и максимальную нагрузки. По изменению значений параметра поверяемого ИК в процессе нагрузки и по значениям его в крайних точках убедиться в работоспособности канала.

### 8.4.3 Определение (контроль) метрологических характеристик

8.4.3.1 Определение погрешности ИК частоты переменного тока, соответствующей частоте вращения ротора

При определении погрешности ИК на вход модуля от генератора ГЗ-110 задают ряд значений эталонной частоты, соответствующих имитируемым значениям частоты вращения роторов

$$\bar{F}_k = F_{\min} + \frac{F_{\max} - F_{\min}}{N-1} (k-1), \quad (51)$$

где  $F_{\min}$ ,  $F_{\max}$  – минимальная и максимальная эталонные частоты вращения;  $k=1\dots N$  – номер ступени нагружения. Число ступеней нагружения  $N \geq 5$ .

На каждой ступени нагружения регистрируют измеренные значения частоты вращения  $F_{k,j}$ , где  $j = 1\dots n$  – номер цикла нагружения. Число циклов нагружения  $n = 3$ .

Случайные погрешности ИК не учитываются ввиду их малости.

### 8.4.3.2 Определение суммарной погрешности

Суммарные погрешности ИК МИЧВР принимаются равными погрешности ИК напряжения переменного тока, соответствующих частотам вращений роторов.

## 8.5 Обработка результатов измерений

8.5.1 Определение погрешности измерительного канала частоты переменного тока, соответствующей частоте вращения ротора

На каждой ступени нагружения определяется среднее арифметическое значение измеренной частоты вращения;

$$F_k = \sum_{j=1}^n F_{k,j} / n, \quad (52)$$

где  $F_{k,j}$  – измеренные значения частоты в  $j$ -м цикле на  $k$ -й ступени нагружения;  
Систематическая погрешность ИК

$$\delta F = \max\left(\frac{|F_k - \bar{F}_k|}{\bar{F}_{\max}}\right), \quad (53)$$

где  $\bar{F}_k$  – эталонная частота на k-й ступени нагружения;  $\bar{F}_{\max}$  – максимальная эталонная частота, равная ВП измерения.

Форма протокола поверки ИК МИЧВР представлена в Приложении Б

### 8.5.2 Определение суммарной погрешности

8.5.2.1 Суммарная погрешность МИЧВР принимается равной систематической погрешности ИК частоты переменного тока, соответствующей частоте вращения ротора. Случайной погрешностью ИК пренебрегается вследствие ее малости по сравнению с систематической погрешностью.

8.5.2.2 Пределы допускаемой погрешности измерений частоты вращения роторов составляет  $\pm 0,1$  % от ВП.

8.5.3 Результаты поверки считать положительными, если значения относительной погрешности измерений частоты переменного тока, соответствующей значениям частоты вращения роторов находятся в пределах  $\pm 0,1$  % от ВП, где ВП= 333,3 Гц.

В противном случае проводится исследование системы с целью определения причин несоответствия.

Допускается проведение поверки отдельных измерительных каналов и (или) отдельных автономных блоков из состава МИЧВР.



## 9 ПОВЕРКА МОДУЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ВЛАЖНОСТИ

### 9.1 Операции поверки

#### 9.1.1 Операции поверки электронной части ИК МИВ

Операции поверки электронной части ИК МИВ представлены в таблице 14

Таблица 14

Наименование операций поверки	Номер пункта МП	Проведение операций	
		первичная поверка	периодическая поверка
1. Подготовка к поверке	9.3.1		
1.1 Внешний осмотр и опробование	9.4.1.1, 9.4.1.2	+	+
2 Проведение поверки			
2.1 Определение систематической и случайной погрешности электронной части ИК влажности (без датчиков)	9.4.1.3, 9.5.1	+	+
2.2 Определение суммарной погрешности ИК влажности	9.5.3	+	+

#### 9.1.2 Операции поверки первичных преобразователей МИВ

Операции поверки первичных преобразователей МИВ представлены в таблице 15

Таблица 15

Наименование операций поверки	Номер пункта МП	Проведение операций	
		первичная поверка	периодическая поверка
1 Подготовка к поверке	9.3.2		
Внешний осмотр и опробование	9.4.2.1, 9.4.2.2	+	+
2 Проведение поверки			
Определение систематической погрешности датчика влажности	9.4.2.3, 9.5.2	+	+
9.5	ОСТ 1 01021-93, ОТУ-2012		

## 9.2 Средства поверки

### 9.2.1 Средства поверки электронной части МИВ

Средства поверки электронной части МИВ представлены в таблице 16.

Таблица 16

Номер пункта МП	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки, обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
9.4.1, 9.5.1	Многофункциональный калибратор TRX - IIR фирмы «Druck»/ «Unomat Instruments» (Голландия) Диапазоны воспроизведения: – напряжения, мВ от минус 10 до плюс 100; – сопротивления, Ом от 0 до 400; – погрешность $\pm 0,01$ % ИВ или $\pm 0,025$ % ИВ

Примечание - Допускается применение других средств измерения, технические и метрологические характеристики которых не уступают указанным в таблице 16.

### 9.2.2 Средства поверки первичных преобразователей МИВ

Средства поверки первичных преобразователей МИВ представлены в таблице 17

Таблица 17

Номер пункта МП	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки, обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
9.4.2, 9.5.2	Генератор влажного газа образцовый динамический Родник 2М Р52.844.015, диапазон воспроизведения относительной влажности от 10 до 99 % при температуре от 0 до 60 °С, абсолютная погрешность измерения относительной влажности $\pm 0,5$ %, относительная погрешность измерения объемной доли влаги $\pm 1$ %, погрешность измерения точки росы воспроизводимой парогазовой смеси $\pm 0,1$ °С. Вольтметр цифровой типа Ц300, погрешность $\pm 0,1$ %, Магазин сопротивлений типа МСР-60М Кл. точности 0,02 Вспомогательное оборудование: – ротаметр В –125 –30 фирмы Porter Instrument Co.

Примечание- Допускается применение других средств измерения, технические и метрологические характеристики которых не уступают указанным в таблице 17.

## 9.3 Подготовка к поверке

### 9.3.1 Подготовка к поверке электронной части МИВ

При подготовке к поверке электронной части МИВ выполнить следующие операции:

- проверить комплектность МИВ и соответствие модуля и его элементов требованиям конструкторской документации на МИВ, убедиться в правильности электрического и механического монтажа системы;

- обеспечить в испытательном боксе и пультовой условия для поверки, указанные в разделе 3;
- отключить электрический выход датчика влажности от платы УСО системы ИС-2-Ц4Н;

- подключить на вход платы УСО калибратор TRX-IIR, воспроизводящий электрический ток, пропорциональный влажности воздуха;
- проверить наличие непросроченных свидетельств на поверку калибратора;
- включить систему ИС-2 Ц4Н/Ц1А согласно Руководству по ее эксплуатации.

### 9.3.2 Подготовка к поверке первичных преобразователей МИВ

При подготовке к поверке первичных преобразователей МИВ выполнить следующие операции;

- проверить комплектность первичного преобразователя (датчик) влажности.
- убедиться в правильности электрического и механического монтажа генератора влажного газа Родник 2М Р52.844.015 для поверки первичного преобразователя влажности.
- смонтировать первичный преобразователь влажности на установке Родник-2М.
- подключить к датчику влажности электрическое питание;
- подключить на выход датчика магазин сопротивлений (нагрузка в токовой выходной цепи) и цифровой вольтметр для измерения падения напряжения на магазине сопротивлений;
- проверить наличие непросроченных свидетельств на поверку генератора влажного газа Родник 2М Р52.844.015.
- включить установку для поверки датчиков влажности согласно Инструкции по её эксплуатации;
- обеспечить в лаборатории условия для поверки, указанные в разделе 3.

## 9.4 Проведение поверки

### 9.4.1 Проведение поверки электронной части МИВ

#### 9.4.1.1 Внешний осмотр

Проверить комплектность электронной части МИВ и соответствие модуля и его элементов требованиям конструкторской документации, проверить надежность электрических соединений элементов МИВ.

#### 9.4.1.2 Опробование

Собрать функциональную схему модуля измерения влажности (Приложение В рисунок 9).

Работоспособность электронной части МИВ проверяют, изменяя эталонный сигнал от нижнего до верхнего пределов значений. При этом должно наблюдаться соответствующее изменение измеренной влажности.

#### 9.4.1.3 Определение систематической погрешности электронной части ИК влажности воздуха

Задать на входе электронной части канала МИВ при помощи прибора типа TRX-IIR ряд значений эталонного напряжения, соответствующих по градуировочной характеристики датчика влажности значениям относительной влажности

$$\varphi_k = \varphi_{\min} + \frac{\varphi_{\max} - \varphi_{\min}}{N - 1} (k - 1), \quad (54)$$

где  $\varphi_{\min}$ ,  $\varphi_{\max}$  – минимальная и максимальная влажность при поверке;

Число циклов ступеней нагружения  $N = 5$ , циклов нагружения  $n = 3$ .

Зарегистрировать при помощи МИВ измеренные значения влажности  $\varphi_{k,i}$ .

### 9.4.2 Проведение поверки первичных преобразователей МИВ

#### 9.4.2.1 Внешний осмотр

Проверить комплектность первичного преобразователя МИВ и соответствие его требованиям конструкторской документации, проверить надежность электрических и пневматических соединений поверочной системы.

#### 9.4.2.2 Опробование

Работоспособность первичного преобразователя МИВ проверяют, изменяя эталонный сигнал от нижнего до верхнего пределов значений. При этом должно наблюдаться соответствующее изменение измеренной влажности.

#### 9.4.2.3 Определение погрешности первичного преобразователя влажности

Установить при помощи генератора влажного газа Родник 2М Р52.844.015 при расходе смеси от 0,5 до 1,5 л/мин ряд значений относительной влажности паровоздушной смеси

$$\bar{\varphi}_k = \varphi_{\text{MIN}} + \frac{\varphi_{\text{MAX}} - \varphi_{\text{MIN}}}{5} \cdot (k-1) (\%), \quad (55)$$

где  $k=0,1,\dots, 6$  - номер ступени нагружения;

$\varphi_{\text{MAX}} = 95 \%$  - максимальная влажность;

$\varphi_{\text{MIN}} = 10 \%$  - минимальная влажность.

Зарегистрировать при помощи цифрового вольтметра измеренные значения напряжения  $U_{k,i}$  на  $k$ -й ступени нагружения при  $i$ -м единичном измерении ( $i=1,2,\dots,n$ ),  $n=3$ .

#### 9.5 Обработка результатов измерений

##### 9.5.1 Определение систематической погрешности электронной части канала МИВ

Систематическая погрешность электронной части измерительного канала МИВ на  $k$ -й ступени нагружения

$$\Delta\varphi_k = \varphi_k - \bar{\varphi}_k, \quad (56)$$

где  $\varphi_k, \bar{\varphi}_k$  - средние значения измеренной эталонной влажности.

Систематическая погрешность электронной части ИК МИВ;

$$\Delta\varphi = \max |\varphi_k - \bar{\varphi}_k| \quad (57)$$

Случайная погрешность электронного канала влажности не учитывается ввиду ее малости по сравнению с систематической погрешностью электронного канала.

##### 9.5.2 Определение систематической погрешности первичного преобразователя МИВ

Систематическая погрешность датчика влажности

$$\Delta\phi = \max |\varphi_k - \bar{\varphi}_k|, \quad (58)$$

где  $\varphi_k, \bar{\varphi}_k$  - средние значения измеренной эталонной влажности.

Случайная погрешность первичного преобразователя не учитывается ввиду ее малости по сравнению с систематической погрешностью.

##### 9.5.3 Определение суммарной погрешности МИВ

Суммарная погрешность модуля МИВ рассчитывается на основании ранее найденных составляющих погрешности

$$\Delta\varphi_{\text{сум}} = (\Delta\varphi^2 + \Delta\phi^2)^{0,5} \quad (59)$$

Формы протоколов для оформления результатов поверки МИВ представлены в Приложении Б.

9.6 Результаты поверки считать положительными, если значения относительной погрешности измерений относительной влажности воздуха на входе в РМК, находятся в пределах  $\pm 2 \%$ .

В противном случае проводится исследование системы с целью определения причин несоответствия.

Допускается проведение поверки отдельных измерительных каналов и (или) отдельных автономных блоков из состава МИВ.

## 10 ПОВЕРКА МОДУЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

### 10.1 Операции поверки

Операции поверки модуля представлены в таблице 18.

Таблица 18

Наименование операций поверки	Номер пункта МП	Проведение операций	
		первичная поверка	периодическая поверка
1. Подготовка к поверке			
1.1 Внешний осмотр и опробование	10.3	+	+
2. Проведение поверки			
2.1 Определение погрешности от неравномерности амплитудно-частотной характеристики.	10.4.3.1, 10.4.3.3	+	+
2.2 Определение погрешности от нелинейности амплитудной характеристики.	10.4.3.2, 10.4.3.4	+	+
2.2 Определение суммарной погрешности модуля	10.5.1, 10.5.2	+	+

### 10.2 Средства поверки

Средства поверки МИДП представлены в таблице 19.

Таблица 19

Номер пункта МП	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки, обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
10.4.3	<p>Генератор сигналов прецизионный 1510А МТИ Instruments, США:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– пределы допускаемой абсолютной погрешности воспроизведения, синусоидального напряжения переменного тока в диапазоне 0,1 до 9,9999 В и диапазоне частот от 10 Гц до 100 кГц, В: от <math>\pm (0,0015 U_{изм} + 0,0001)</math> до <math>\pm (0,001 U_{изм} + 0,0001)</math>;</li> <li>– предел допускаемой абсолютной погрешности воспроизведения заряда (симметричный и дифференциальный режим) в диапазоне: от 10 пКл до 10000 пКл, в частотном диапазоне от 10 Гц до 30 кГц, пКл <math>\pm (0,002 Q_{изм} + 0,1)</math>;</li> <li>– пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведения частоты в диапазоне от 3 до 99999,9 Гц, <math>\pm 0,005 \%</math>;</li> <li>– диапазон выходного напряжения от 2 мВ до 200 В.</li> </ul> <p>Мультиметр Agilent 34401А, кл.т. (0,01...1,0), диапазон частот от 3 до 300000 Гц.</p> <p>Имитатор сигналов (ИС) – вспомогательное средство. Мультиметр Agilent</p>
10.5	ОСТ 1 01021-93, ОТУ-2012

Примечание - Допускается применение других средств измерения, технические и метрологические характеристики которых не уступают указанным в Таблице 19.

Первичные преобразователи в рамках данной МП не поверяются (поступают на испытания вместе с двигателем), их погрешности принимаются по паспортным данным.

### 10.3 Подготовка к поверке

При подготовке к поверке МИДП выполнить следующие операции:

- проверить комплектность модуля и его соответствие требованиям конструкторской документации;
- проверить правильность электрического и механического монтажа модуля;
- отключить электрические линии (кабели), идущие от датчиков динамических параметров, установленных на двигателе от модуля;
- подключить электрические кабели к источнику образцового сигнала (генератору напряжения или к генератору заряда)
- включить Систему согласно Руководству по ее эксплуатации;
- обеспечить в пультовой указанные в разделе 3 условия для поверки модуля.

### 10.4 Проведение поверки

#### 10.4.1 Внешний осмотр

Проверить комплектность МИДП и соответствие модуля и его элементов требованиям конструкторской документации, проверить надежность электрических соединений элементов МИДП.

#### 10.4.2 Опробование

Работоспособность МИДП проверяют, изменяя эталонный сигнал от нижнего до верхнего пределов значений. При этом должно наблюдаться соответствующее изменение измеряемого параметра.

10.4.3 Определение погрешности ИК напряжения переменного тока, соответствующего динамической деформации, содержащие мостовые, полумостовые или  $\frac{1}{4}$  моста схемы, пульсации давления газа, вибрационному ускорению МИДП.

10.4.3.1 Определение погрешности ИК напряжения переменного тока, соответствующего динамической деформации и пульсации давления.

Для определения погрешности ИК напряжения переменного тока, соответствующего динамической деформации и пульсации давления, собрать схему в соответствии с рисунком 10. (Приложение В)

Имитатор сигналов (ИС) представляет собой вспомогательное средство для поверки ИК напряжения переменного тока, соответствующего динамической деформации и пульсации давления, измеряемых первичными преобразователями тензометрического типа (одиночный тензорезистор, полумост, мост). В качестве эталонов при определении метрологических характеристик ИК, работающих с тензометрическими датчиками используются генератор сигналов и мультиметр, работающий в режиме измерения напряжения переменного тока. Принципиальная схема ИС приведена на рисунке 11. (Приложение В)

Сигнал с ИС подается со стороны датчика на вход штатного кабеля, соединяющего датчик и комплекс МС-553 РХІ.

При имитации полного моста соединение ИС с измерительным модулем МХ-340 осуществляется через клеммы a, b, c, d. В случае имитации половинного моста соединение ИС с модулем МХ-340 осуществляется через клеммы a, b, d (перемычки 4,5 разомкнуты). При имитации одиночного тензорезистора соединение ИС с модулем МХ-340 осуществляется через клеммы a, b (перемычки 4, 5 разомкнуты).

Трансформатор выполнен на ферритовом тороидальном сердечнике и имеет следующие параметры: приведенное к первичной обмотке активное сопротивление каждой из вторичных обмоток 4,8 Ом, приведенная индуктивность 8,26 мкГн. Трансформатор обеспечивает гальваническую развязку входов модуля МХ-340 от генератора электрических

сигналов и требуемую схему включения ЭДС в мостовую схему ИС. ЭДС во вторичных обмотках трансформатора (до 50 мВ) поддерживается постоянным при помощи аттенюатора генератора.

Источником эталонного сигнала напряжения переменного тока служит генератор сигналов прецизионный МТИ Instruments 1510А.

10.4.3.2 Определение нелинейности амплитудной характеристики (АХ) ИК напряжения переменного тока, соответствующего динамической деформации и пульсации давления.

Собрать схему согласно рисунку 12 (Приложение В) для случая включения ИС по четвертьмостовой схеме (ИК напряжения переменного тока, соответствующего динамической деформации);

Собрать схему согласно рисунку 13 (Приложение В) в случае включения ИС по мостовой схеме (ИК напряжения переменного тока, соответствующего пульсации давления):

Произвести настройку модуля МХ-340, установив значение тока питания 10 мА, коэффициент усиления тензоусилителя – 1000 (диапазон входного сигнала  $\pm 10$  мВ).

На вход модуля МХ-340 (рисунок 1) МИДП с генератора подать ряд значений синусоидального напряжения: 1,4; 2,8; 4,2; 5,6; 7,0 мВ, частота которого 1000 Гц. На каждой ступени АХ измеряется действующее значение гармоники спектра FFT на частоте 1000 Гц. Мультиметром измеряется точное значение подаваемого напряжения от генератора. Число ступеней нагружений – 5. Число циклов – 1.

Действующие значения напряжений сигналов записать в Протокол. (Приложение Б)  
Формулы для определения погрешности амплитудной характеристики ИК приведены в разделе 10.4.5.

10.4.3.3 Определение погрешности измерения от неравномерности АЧХ ИК напряжения переменного тока, соответствующего динамической деформации и пульсации давления

Произвести настройку модуля МХ-340, установив значение тока питания 10 мА, коэффициент усиления тензоусилителя – 1000 (диапазон входного сигнала  $\pm 10$  мВ).

Определение погрешности АЧХ ИК проводить последовательно для следующих вариантов конфигурации ИС: моста (сопротивление плеч моста ИС 350 Ом, 120 Ом), четверть моста (сопротивление плеча моста ИС 350 Ом, 120 Ом).

При помощи ИС на вход модуля МХ-340 подать напряжение ( $10 \pm 1$ ) мВ (действующее значение), контролируемое по мультиметру с частотами 10, 100, 1000, 5000, 10000, 20000, 30000, устанавливаемыми на генераторе. Модуль МХ-340 при этом конфигурируется на работу с диапазоном измерения, обеспечивающим работу без перегрузки.

На каждой ступени нагружения модулем МХ-340 измерить действующее значение гармоники спектра FFT, соответствующее заданной частоте сигнала с генератора. Точное значение заданного напряжения измеряется мультиметром. Число циклов нагружения 1.

Значения напряжений и частот сигналов записать в Протокол. (Приложение Б)  
Формулы для определения погрешности частотной характеристики ИК приведены в разделе 10.4.5.

10.4.3.4 Определение суммарной погрешности ИК

Суммарную погрешность ИК определить расчетным путем на основании данных испытаний по п.п. 10.4.3.2, 10.4.3.3 и с учетом погрешности датчиков, используемых при испытании двигателя.

Формулы для определения суммарной погрешности ИК приведены в разделе 10.4.5

10.4.3.5 Определение погрешности ИК напряжения переменного тока, соответствующего вибрационному ускорению

Для определения погрешности ИК напряжения переменного тока, соответствующего вибрационному ускорению собрать схему в соответствии с рисунком 14. (Приложение В)

С генератора сигналов МТИ Instruments 1510А на вход модуля МХ-224 подать напряжение переменного тока (действующее значение) 1,4; 2,8; 4,2; 5,6; 7,0 В на базовой частоте 159 Гц. Модуль МХ-224 комплекса МИС-553 РХИ соответственно конфигурируется на

работу с первичным преобразователем (ПП) виброускорения в диапазоне измерения, обеспечивающем работу без перегрузки.

На каждой ступени нагружения модулем МХ-224 измерить действующее значение гармоник спектра FFT, соответствующее заданной частоте сигнала. Число ступеней нагружений – 5. Число циклов – 1.

Значения выходного сигнала записать в Протокол. (Приложение Б)

Формулы для определения погрешности амплитудной характеристики ИК приведены в разделе 10.4.5.

10.4.3.6 Определение неравномерности АЧХ ИК напряжения переменного тока, соответствующего вибрационному ускорению, МИДП проводить в соответствии со схемой рисунка 4.

С генератора сигналов МТИ Instrumets 1510А на вход модуля УЗ МЕ-230 подать напряжение переменного тока 7,0 В (действующее значение) с частотами 10, 100, 250, 500, 1000, 2500, 5000, 7500, 10000 Гц.

На каждой ступени нагружения модулем МХ-224 измерить действующее значение гармоник спектра FFT, соответствующее заданной частоте сигнала. Число циклов нагружения 1.

Значения сигналов записать в Протокол. (Приложение Б)

Формулы для определения погрешности частотной характеристики ИК приведены в разделе 10.4.5.

10.4.3.7 Определение суммарной погрешности ИК

Суммарную погрешность ИК определить расчетным путем на основании данных испытаний по п.п. 10.4.3.5, 10.4.3.6 и с учетом погрешности датчиков, используемых при испытании двигателя

Формулы для определения суммарной погрешности ИК приведены в разделе 10.4.5.

10.4.4 Определение погрешности измерения ИК заряда, соответствующего пульсации давления газа и вибрационному ускорению МИДП.

10.4.4.1 Для определения погрешности ИК заряда, соответствующего пульсации давления и вибрационному ускорению собрать схему в соответствии с рисунком 15 (Приложение В)

10.4.4.2 Определение погрешности амплитудной характеристики (АХ) ИК заряда, соответствующего пульсации давления и вибрационному ускорению.

С генератора сигналов МТИ Instrumets 1510А на вход модуля УЗ МЕ-230 подать заряд 1400, 2800, 5600, 7000 пКл на базовой частоте 159 Гц. Модуль МХ-224 комплекса МПС-553 РХI соответственно конфигурируется на работу с УЗ МЕ-230 в диапазоне измерения, обеспечивающем работу без перегрузки.

На каждой ступени нагружения модулем МХ-224 измерить действующее значение гармоник спектра FFT, соответствующее заданной частоте сигнала. Число ступеней нагружений – 5. Число циклов – 1.

Значения выходного сигнала записать в Протокол (Приложение Б).

Формулы для определения погрешности амплитудной характеристики ИК приведены в разделе 10.4.5.

10.4.4.3 Определение неравномерности АЧХ ИК заряда, соответствующего вибрационному ускорению, МИДП с усилителями МЕ-230 проводить в соответствии со схемой рисунка 4.

С генератора сигналов МТИ Instrumets 1510А на вход модуля УЗ МЕ-230 подать заряд 7000 пКл с частотами 10, 100, 250, 500, 1000, 2500, 5000, 7500, 10000 Гц. Модуль МХ-224 комплекса МПС-553 РХI соответственно конфигурируется на работу с УЗ в диапазоне измерения, обеспечивающим работу УЗ без перегрузки

На каждой ступени нагружения модулем МХ-224 измерить действующее значение гармоник спектра FFT, соответствующее заданной частоте сигнала. Число циклов нагружения 1.

Значения сигналов записать в Протокол (Приложение Б).



Формулы для определения погрешности частотной характеристики ИК приведены в разделе 10.4.5.

#### 10.4.4.4 Определение суммарной погрешности ИК

Суммарную погрешность ИК определить расчетным путем на основании данных испытаний по п.п. 10.4.4.2. 10.4.4.3 и с учетом погрешности датчиков, используемых при испытании двигателя

Формулы для определения суммарной погрешности ИК приведены в разделе 10.4.5.

#### 10.4.5 Обработка результатов измерений при определении погрешностей измерения МИДП.

Погрешность от нелинейности АХ определить по формуле

$$\delta A = \frac{U_e - U_э}{U_e} \cdot 100 (\%), \quad (60)$$

где  $U_e$  – измеренное значение напряжения (действующее значение) В;

$U_э$  – значение напряжения, выдаваемого эталонным прибором (действующее значение), В;

Погрешность от неравномерности АЧХ определить по формуле

$$\delta a = \max\left(\left|\frac{U_e}{U_b} - 1\right| \cdot 100\right) \%, \quad (61)$$

где  $U_b$  – измеренное значение напряжения на базовой частоте 159 Гц для ИК виброускорения и на частоте 1000 Гц для остальных ИК.

Суммарная погрешность ИК МИДП с учетом погрешности датчиков, установленных на двигателе определить по формуле

$$\delta_{ИК} = \sqrt{\delta_A^2 + \delta_a^2 + \delta_{дат}^2} \%, \quad (62)$$

где  $\delta_A, \delta_a, \delta_{дат}$  – максимальные (по ступеням нагружения) значения погрешностей нелинейности АХ, от неравномерности АЧХ, погрешность датчика (определяется по паспорту, предоставляется Заказчиком).

#### 10.5 Результаты поверки считать положительными

– если значения допускаемой погрешности измерений напряжения переменного тока, соответствующее динамической деформации от 0 до 3500 мкм/м, мВ, находятся в пределах  $\pm 0,5$  % ВП – по амплитуде электрического напряжения и  $\pm 10$  % ВП по амплитуде деформации, с учетом погрешности датчика;

– если значения допускаемой погрешности измерений напряжения переменного тока, соответствующее пульсации давления газа от 0 до 30 кПа, мВ, находятся в пределах  $\pm 0,5$  % ВП – по амплитуде электрического напряжения и  $\pm 10$  % ВП - по амплитуде пульсации, с учетом погрешности датчика;

– если значения допускаемой погрешности измерений напряжения переменного тока, соответствующее вибрационному ускорению от 0,6 м/с<sup>2</sup> (0,061 g) до 6000 м/с<sup>2</sup> (612 g), мВ, находятся в пределах  $\pm 0,5$  % ВП – по амплитуде электрического напряжения и  $\pm 12$  % от ВП по амплитуде вибрационного ускорения, с учетом погрешности датчика;

– если значения допускаемой погрешности измерений электрического заряда, соответствующему вибрационному ускорению в диапазоне от 0,6 м/с<sup>2</sup> (0,061 g) до 6000 м/с<sup>2</sup> (612 g) и пульсации давления в диапазоне от 0 до 30 кПа, пКл находятся в пределах  $\pm 0,5$  % ВП – по амплитуде электрического напряжения и  $\pm 12$  % от ВП по амплитуде вибрационного ускорения с учетом погрешности датчика и  $\pm 10$  % от ВП по амплитуде пульсации с учетом погрешности датчика.

В противном случае проводится исследование системы с целью определения причин несоответствия.

Допускается проведение поверки отдельных измерительных каналов и (или) отдельных автономных блоков из состава МИДП.

## 11 ПОВЕРКА МОДУЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ РАЗМЕРОВ, СКОРОСТИ И УДЕЛЬНОГО ОБЪЕМА СФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ В ПОТОКЕ ВОЗДУХА

### 11.1 Определение погрешности ИК размеров сферических частиц.

При испытании МИЧВ используются сферические стеклянные, прозрачные шарики трех номинальных размеров 67, 91 и 129 мкм. Перед испытанием измеряются фактические значения диаметров шариков при помощи микроскопа с погрешностью  $\pm 1$  мкм. Шарики поочередно помещаются в установку PDPA.

При помощи электромотора 5 последовательно задаются частоты вращения зеркала PDPA со значениями 11,32; 21,35; 31,82, 23,87 и 26,9 Гц. Расстояния от оси вращения зеркала до измерительного объема (радиусы вращения R) для каждой из частот вращения устанавливаются равными 372 или 600 мм.

Для каждой комбинаций заданных размеров шариков, частот вращения зеркала и радиусов R проводится при помощи установки PDPA 10 серий измерений диаметров шариков по 100 измерений в каждой серии.

Используя полученные результаты, для каждого размера шарика рассчитывается абсолютная погрешность измерений

$$\Delta_k = \left| d_{e_k} - \frac{\sum_{j=1}^n d_{kj} N_{kj}}{N} \right|, \quad (63)$$

где  $d_{e_k}$  – размер k-го шарика, измеренный с помощью микроскопа (эталонный размер);  $k = 1, 2, 3$ ;

$d_{kj}$  – измеренный PDPA диаметр k-го шарика в j размерной группе (j изменяется от 1 до  $n=814$ , значения диаметров соседних размерных групп отличаются на 0,3 мкм);

$N_{kj}$  – количество измеренных значений, попавших в j размерную группу;  $N = 10000$  – общее число измерений.

Абсолютная систематическая погрешность измерений диаметров шариков

$$\Delta_c = \max(\Delta_k) \quad (64)$$

Приведенная систематическая погрешность

$$\Delta_s = \Delta_c / d_{\max}, \quad (65)$$

где  $d_{\max}$  – максимальный эталонный диаметр шарика.

Определение случайной погрешности

Среднее квадратическое отклонение результатов измерений диаметров

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (d_{kj} - \bar{d}_k)^2 N_{kj}}{N-1}}, \quad (66)$$

где  $\bar{d}_k$  – среднее значение k-го диаметра, вычисленное по результатам измерениям фазодоплеровской системой.

Абсолютная случайная погрешность измерения диаметров сферических частиц:

$$\Delta_r = t \cdot \sigma, \quad (67)$$

где  $t=1,96$  – коэффициент Стьюдента-Фишера для доверительной вероятности 0,95,  
 $\sigma = \max(\sigma_k)$ ,

Определение суммарной погрешности

Суммарная погрешность измерения диаметров сферических частиц определяется в соответствии с рекомендациями ГОСТ Р 8.736-2011

$$\Delta_{\Sigma} = K \cdot S_{\Sigma}, \quad (68)$$

где 
$$S_{\Sigma} = \sqrt{\frac{\Delta_c^2}{3} + \sigma^2}, \quad (69)$$

$$K = \frac{t \cdot \sigma + \Delta_c}{\sigma + \sqrt{\frac{\Delta_c^2}{3}}} \quad (70)$$

### 11.2 Определение погрешности ИК скорости сферических частиц.

Установить на установку PDPA шарик диаметром 90 мкм и задать частоту вращения электродвигателя, реализующую первое эталонное значение скорости движения измерительного объема относительно шарика 52 м/с

$$V_{\Sigma 1} = \frac{S}{\tau}, \quad (71)$$

где  $S$  - расстояние между фотодиодами равное 50 мм;

$\tau$  - интервал времени между сигналами фотодиодов.

Измерить при помощи установки PDPA значение первой скорости.

Повторить вышеуказанные операции при значениях эталонной скорости 100, 148, 180 и 202 м/с.

Проводится по 10 серий измерений на каждой скорости. Каждая серия состоит из 200 единичных измерений. Таким образом, для каждого значения скорости выполняется 2000 измерений.

Определить абсолютную систематическую погрешность измерения скорости шарика

$$\Delta_{sk} = |V_k - V_{ek}|, \quad (72)$$

где  $V_k = \frac{\sum_{i=1}^N V_{ki}}{N}$  – среднее значение  $k$ -й скорости, измеренной PDPA;

$V_{ek} = \frac{\sum_{i=1}^N V_{eki}}{N}$  – среднее значение  $k$ -й эталонной скорости;

$i$  – номер единичного замера;

$N$  – суммарное число единичных замеров;

$k=1, 2, \dots, 5$  – номер задаваемой эталонной скорости;

$V_{ki}$  – значение  $k$ -ой скорости в  $i$ -ом единичном измерении PDPA;

$V_{eki}$  – значение  $k$ -ой эталонной скорости в  $i$ -ом единичном измерении PDPA.

Приведенная систематическая погрешность

$$\delta_{sk} = \Delta_k / V_{\max}, \quad (73)$$

где  $V_{\max}$  – максимальное значение эталонной скорости.

Определение случайной погрешности

Определить значение случайной погрешности измерения  $k$ -й скорости шариков:

$$\delta_{r_k} = t \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (V_{ki} - V_k)^2}{N-1}} \quad (74)$$

Случайная погрешность измерений скорости шариков

$$\delta_r = \max(\delta_{r_k}) \quad (75)$$

Определение суммарной погрешности

Суммарная погрешность измерения скорости шариков определяется в соответствие с рекомендациями ГОСТ Р 8.736-2011.

11.3 Определение погрешности ИК удельного объемного расхода сферических частиц.

Определение систематической погрешности

Определение удельного объемного расхода частиц VF проводится для двух размеров стеклянных шариков. Диаметры шариков определяются в зависимости от предполагаемого диапазона измерений.

$$d_1=121 \text{ мкм и } d_2=98 \text{ мкм}$$

Фактические эталонные диаметры шариков  $d$  измеряются с помощью микроскопа с погрешностью не более  $\pm 1$  мкм.

Поместить в установку шарик первого диаметра и установить эталонную частоту вращения зеркала (измеряется с помощью частотомера (12)), соответствующую диапазону задаваемых эталонных значений удельного расхода  $VF_3 = (2 \cdot 10^{-6} \dots 4 \cdot 10^{-6}) \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$

$$f_3 = \frac{6(VF)_3 S_3}{\pi D_3^3} \quad (76)$$

где  $S_3$  – эффективная площадь сечения измерительного объема плоскостью, измеренная по п. 5.6.3;

$D_3$  – эталонное значение диаметра шарика, измеренное с погрешностью  $\pm 1$  мкм.

Измерить при помощи PDPA диаметр и относительную скорость шарика.

Повторить вышеупомянутые операции для второго диаметра шарика и той же частоты вращения зеркала. Для каждого значения размера шарика должны быть проведены по 10 серий независимых измерений. В каждой серии измерение VF проводится по 1000 пролетевшим через измерительный объем стеклянным шарикам.

По результатам испытаний, для двух диаметров сферических частиц  $D=121$  мкм и  $D=98$  мкм проводится расчет значений удельного объемного расхода частиц VF (эталонного и измеренного системой PDPA) и определяется относительная погрешность измерения.

Систематическая погрешность измерения удельного объемного расхода частиц VF, рассчитывается по формуле

$$\delta_{VF_S} = \max \frac{|VF_{\text{изм.}} - VF_{\text{эт.}}|}{VF_{\text{эт.}}} \cdot 100, \quad (77)$$

где  $VF_{\text{изм.}} = \frac{\pi D_{\text{изм.}}^3}{6S} \times \frac{V_{\text{изм.}}}{2\pi R}$  – измеренное значение удельного расхода;

$$VF_{\text{эт}} = \frac{\pi D_{\text{эт}}^3}{6S} \times f_{\text{эт}} - \text{эталонное значение удельного расхода};$$

$D_{\text{изм}}$  – измеренный PDPA диаметр шарика;

$D_{\text{эт}}$  – эталонный диаметр шарика (измеренный микроскопом);

$f_{\text{эт}}$  – заданная (эталонная) частота вращения зеркала (измеренная частотомером);

$V_{\text{изм}}$  – измеренный PDPA относительная скорость шарика;

$R$  – радиус вращения измерительного объема;

$S$  – эффективная площадь сечения измерительного объема (измеряется координатным устройством).

Определение случайной погрешности измерения удельного объемного расхода частиц  $VF$

Случайная погрешность измерения удельного объемного расхода сферических частиц в потоке  $VF$

$$\delta_{VF_r} = t \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (VF_{\text{изм}i} - VF_{\text{изм}})^2}{N-1}}, \quad (78)$$

где  $VF_{\text{изм}}$  – среднее значение измеренного удельного объемного расхода.

Определение суммарной погрешности измерения удельного объемного расхода сферических частиц

Суммарная погрешность измерения удельного объемного расхода сферических частиц определяется в соответствии с рекомендациями ГОСТ Р 8.736-2011.

11.5 Результаты поверки считать положительными:

– если значения допускаемой погрешности измерений размера сферических частиц в потоке воздуха, мкм находятся в пределах  $\pm 2,0\%$  ВП где ВП=250 мкм;

– если значения допускаемой погрешности измерений скорости сферических частиц в потоке воздуха, м/с находятся в пределах  $\pm 1,0\%$  ВП где ВП=200 м/с;

– если значения допускаемой погрешности измерений удельного объемного расхода сферических частиц, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с) находятся в пределах  $\pm 30,0\%$  ВП где ВП=  $4 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с).

В противном случае проводится исследование системы с целью определения причин несоответствия.

Допускается проведение поверки отдельных измерительных каналов и (или) отдельных автономных блоков из состава МИЧВ.

## 12 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

12.1 При положительных результатах поверки системы измерений «ИС-2-Ц4Н/Ц1А» оформляются свидетельство о поверке в соответствии с Приложением Г.

12.2 При отрицательных результатах поверки систем измерений «ИС-2-Ц4Н/Ц1А» не допускается к проведению испытаний, о чем делается запись в паспорте стенда и оформляется извещение о непригодности систем «ИС-2-Ц4Н/Ц1А» к применению в соответствии с Приложением Д.

12.3 После устранения причин повышенной погрешности систем «ИС-2-Ц4Н/Ц1А» проводится повторная поверка в соответствии с требованиями настоящей методики.

12.4 Формы протоколов, представленные в приложениях, имеют рекомендательный характер.

Главный метролог  
ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»

Б.И. Минеев

Начальник лаборатории  
ФГУП «ВНИИМС»

В.Н. Назаров

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

Число степеней свободы	Коэффициент Стьюдента-Фишера $\tau$	Число степеней свободы	Коэффициент Стьюдента-Фишера $\tau$
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

### Протоколы испытаний модулей измерения

ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_  
 испытаний модуля измерений силы от тяги двигателя  
 определение порога реагирования МИС  
 системы ИС-1-Ц4Н стенда Ц-4Н

Дата \_\_\_\_\_

Сила, действующая на ПР, R (кгс)	Вес дополнительных гирь, положенных на грузоприемное устройство ПУ g <sub>i</sub> (кгс)					Среднее арифметическое значение веса гирь g (кгс)	Порог реагирования r		Допускаемое значение порога реагирования  % R <sub>max</sub>
	1	2	3	4	5		(кгс)	%R <sub>max</sub>	
R <sub>0</sub> (условный 0)									0,02

$$g = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 g_i; \quad r = J \cdot g \text{ (кгс)}$$

где  $g_i$  - вес дополнительных гирь, положенных на грузоприемное устройство подгружающего устройства (ПУ) при  $i$ -том эксперименте;  
 $\bar{g}$  - среднее арифметическое значение дополнительных гирь, положенных на грузоприемное устройство ПУ;  
 $J$  - передаточное отношение ПУ;  
 $R_{max}$  - максимальная сила, измеряемая МИС.

Поверитель \_\_\_\_\_  
 Подпись \_\_\_\_\_ фамилия, инициалы \_\_\_\_\_ дата \_\_\_\_\_

ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_  
**испытаний модуля измерений силы от тяги двигателя**  
**определение коэффициента устойчивости ДМП**  
**МИС системы ИС-2 Ц4Н/Ц1 Астенда Ц-4Н**

Дата \_\_\_\_\_

N п/п	Перемещение ДМП (мм)	Показания индикатора динамометра (мм)						Привед. к перв. т	Ку абсол. (кгс)	Ку прив. (кгс)
		X <sub>1к</sub>	X <sub>2к</sub>	X <sub>3к</sub>	X <sub>4к</sub>	X <sub>5к</sub>	$\bar{X}_k$			
1	0									
2	0,5									
3	1,0									
4	1,5									
5	2,0									
6	2,5									
7	3,0									

Поверитель \_\_\_\_\_

Подпись

фамилия, инициалы

дата





К	Среднее арифметическое значение [ед. счит. (дел.)]		Цена наименьшего разряда кода ИПС $C_k$ , [кгс/ед.счит]	$H_k$ [кгс]	$\tilde{\sigma}[\dot{\Delta}_H]_k$ [кгс]	$\tilde{\sigma}[\dot{\Delta}_o]_k$ [кгс]	Случайная составляющая погрешности МИС				
	Сила, воспроизв. СГУ $R_k$ , кгс	$\bar{X}_k$					$\bar{X}_k''$	$\bar{X}_k$	Абсолютн.   Относит.   Приведен.к		
									$\tilde{\Delta}_{ок}$ [кгс]	$\tilde{\delta}_{ок}$ [% $R_{изм}$ ]	$0,5R_{max}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2											
3											
...											
10											
11											

$$\bar{X}'_k = \frac{1}{n'} \cdot \sum_{i=1}^{n'} X'_{ik}; \quad \bar{X}''_k = \frac{1}{n''} \cdot \sum_{i=1}^{n''} X''_{ik}; \quad \bar{X}_k = \frac{\bar{X}'_k + \bar{X}''_k}{2}; \quad C_k = \frac{R_{k+1} - R_k}{\bar{X}_{k+1} - \bar{X}_k}; \quad H_k = (\bar{X}'_k - \bar{X}_k) \cdot C_k; \quad \tilde{\sigma}[\dot{\Delta}_H]_k = \frac{H_k}{2\sqrt{3}};$$

$$\tilde{\sigma}[\dot{\Delta}_o]_k = \left[ \frac{\sum_{i=1}^{n'} (X'_{ik} - \bar{X}'_k)^2 + \sum_{i=1}^{n''} (X''_{ik} - \bar{X}''_k)^2}{n-1} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot C_k; \quad n = n' + n''; \quad \tilde{\Delta}_{ок} = \tau_\alpha \cdot [(\tilde{\sigma}[\dot{\Delta}_o]_k)^2 + (\tilde{\sigma}[\dot{\Delta}_H]_k)^2]^{\frac{1}{2}}; \quad \tilde{\delta}_{ок} = \frac{\tilde{\Delta}_{ок}}{R_k} \cdot 100\%$$

$$\tilde{\gamma}_{ок} = \frac{\tilde{\Delta}_{ок}}{0,5R_{max}} \cdot 100\%$$

Поверитель \_\_\_\_\_ Подпись \_\_\_\_\_ фамилия, инициалы \_\_\_\_\_ дата \_\_\_\_\_

ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_  
 ИСПЫТАНИЙ МОДУЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ СИЛЫ ОТ ТЯГИ ДВИГАТЕЛЯ

результаты градуировки МИС системы ИС-2 Ц4Н/Ц1 Астенда Ц-4Н поверочным градуировочным устройством  
 с использованием эталонного динамометра типа \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

Дата градуировки _____ Время начала градуировки _____ Температура окруж. воздуха $t_n$ _____ Время окончания градуировки _____ Температура окруж. воздуха $t_n$ _____	Результат единичного отсчета измерительно-регистрающего прибора СИС $X_{ik}$ [ед.счит.(дел.)]					Среднее арифметическое значение $\bar{X}_k$		
	Сила воспр. ПГУ без поправки $R_{дин к}$ [кгс]	Температ. поправка $\Delta R_{дин тк}$ [кгс]	Сила воспр. ПГУ с температурной поправкой $R_{дин тк}$ [кгс]	$X_{1k}$	$X_{2k}$		$X_{3k}$	$X_{4k}$
1								
2								
3								
.....								
10								
11								

$$\Delta R_{дин тк} = (t'_{дин} - t''_{дин}) \cdot m \cdot R_{дин к}; \quad R_{дин тк} = R_{дин к} + \Delta R_{дин тк}; \quad \bar{X}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ik}$$

$t'_{дин}$  - температура окружающего воздуха, при которой производилась поверка эталонного динамометра;  
 $t''_{дин}$  - температура окружающего воздуха, при которой производилась поверка МИС;  
 $m$  - коэффициент температурной поправки эталонного динамометра

Поверитель \_\_\_\_\_ Подпись \_\_\_\_\_ фамилия, инициалы \_\_\_\_\_ дата \_\_\_\_\_

ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_  
 ИСПЫТАНИЙ МОДУЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ ОТ ТЯГИ ДВИГАТЕЛЯ

определения систематической составляющей основной погрешности МИС  
 системы ИС-2 Ц4Н/Ц1Астенда Ц-4Н

№ контрольной точки	Результаты градуировки МИС		Результаты градуировки МИС СГУ			Сила, измеренная МИС при поверке		Систематическая составляющая погрешности МИС			
	Сила, воспр. динамометром с учетом поправок и $R_{дин.тк}$ [кгс]	Сила, воспр. динамометром, приведен. к 1-й контр. точке $R_{дин.тк}^{прив.}$ [кгс]	Среднее арифмет. значение един. отсчетов $\bar{X}_k^{пу}$ [ед.счит. (дел)]	Сила, воспроизводимая СГУ $R_k$ [кгс]	Среднее арифм. значение отсчета при нагр $\bar{X}'_k$ [ед.счит. (дел.)]	$\Delta \bar{X}'_k = \bar{X}'_{k+1} - \bar{X}'_k$	Цена наимен. разряда кода при нагр.	без приведения к 1-й контр. точке $R_{изм.к}$ [кгс]	приведенная к 1-й контр. точке $R_{прив.изм.к}$ [кгс]	Абсолютная $\tilde{\Delta}_{оск}$ [кгс]	Относительная $\tilde{\delta}_{оск}$ [%]
1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13
2											
3											
4											
...											
10											
11											

$$R_{прив.тк} = R_{дин.тк} - R_{дин.т1}; \quad C'_k = \frac{R_{k+1} - R_k}{\bar{X}'_{k+1} - \bar{X}'_k}; \quad R_{изм.к} = R_k + (\bar{X}'_{пу} - \bar{X}'_k) \cdot C'_k; \quad R_{прив.изм.к} = R_{изм.к} - R_{изм.1};$$

$$\tilde{\Delta}_{оск} = R_{прив.изм.к} - R_{прив.дин.тк}; \quad \tilde{\delta}_{оск} = \frac{\tilde{\Delta}_{оск}}{R_{дин.т.к}} \cdot 100\%; \quad \tilde{\gamma}_{оск} = \frac{\tilde{\Delta}_{оск}}{0,5R_{дин.т max}} \cdot 100\%$$

Поверитель \_\_\_\_\_  
 Подпись \_\_\_\_\_ фамилия, инициалы \_\_\_\_\_ дата \_\_\_\_\_



ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_  
**испытаний модуля измерений**  
 электронной части ИК объёмного расхода топлива (без датчиков)  
 МИРТ системы ИС-2 Ц4Н/Ц1 Астенда Ц-4Н

№№ стуге ни	Заданное значение объёмного расхода $\bar{Q}_j$ , л/ч	Измеренное значение объёмного расхода $Q_j$ , л/ч,				
1						
2						
3						
4						
5						

Поверитель \_\_\_\_\_  
 Подпись                      фамилия, инициалы                      дата

ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_  
**испытаний модуля измерений объёмного расхода топлива**  
 определения погрешности электронной части ИК  
 объёмного расхода топлива (без датчиков)  
 МИРТ системы ИС-2 Ц4Н/Ц1 Астенда Ц-4Н

№№ стуге ни	Заданное значение объёмного расхода $\bar{Q}_j$ , л/ч	Погрешность измерения объёмного расхода, $\Delta Q_{j,i}$ Гц				
1						
2						
3						
4						
5						

Поверитель \_\_\_\_\_  
 Подпись                      фамилия, инициалы                      дата

**ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_**  
**испытаний модуля измерений объёмного расхода топлива**

исследований первичных преобразователей объемного расхода ТПР  
 МИРТ системы ИС-2 Ц4Н/Ц1 Астенда Ц-4Н

j	i	$N_{j,i}$ имп	$\tau_{j,i}$ с	$\bar{Q}_{j,i}$ л/с	$F_{j,i}$ Гц	$Q_{j,i}$ л/с	$Q_{j,i} - \bar{Q}_{j,i}$ л/с
1	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
.	.						
.	.						
5	1						
	2						
	3						
	4						
	5						

Поверитель \_\_\_\_\_  
 Подпись                      фамилия, инициалы                      дата

**ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_**  
**испытаний модуля измерений массового расхода топлива**

определения суммарной погрешности измерения массового расхода топлива ИК  
 МИРТ системы ИС-2 Ц4Н/Ц1 Астенда Ц-4Н

Максимальные составляющие погрешности ИК, %				Суммарная погрешность ИК %
$\theta(G)$	$S(G)$	$\varepsilon(G)$	$\bar{K}$	$\delta G$

Поверитель \_\_\_\_\_  
 Подпись                      фамилия, инициалы                      дата

**ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_**  
**испытаний модуля измерений давления**

определения погрешностей ИК МИД  
системы ИС-2 Ц4Н/Ц1 Астенда Ц-4Н

№№ Ступени нагрузки k	Эталонное давление, $\bar{P}_k$ , кПа	Измеренное давление, $P_k$ кПа		Погрешности ИК СИД		
		$P_k$ (при повышении давления)	$P_k$ (при понижении давления)	Приведенная систематическая погрешность $\delta P$	Приведенное значение вариации $\delta H$	Суммарная погрешность $\delta P_{\Sigma}$
1						
2						
3						
4						
5						
6						

**ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_**  
**испытаний модуля измерений температуры**

определения систематической погрешности ИК напряжения постоянного тока  
(сопротивления постоянному току), соответствующего температуре, МИТ системы ИС-2  
Ц4Н/Ц1 Астенда Ц-4Н

П  
Р  
О  
Т  
О  
К  
О  
Л

№№ ступени k	ИСИТируемая температура, $\bar{T}_k$ , °С	Измеренная температура, $T_k$ , °С	
		При повышении температуры	При понижении температуры
1			
2			
3			
4			
5			

№ \_\_\_\_\_  
исследования термопары L(XK)

№№ ступени k	Эталонное значение температуры, $\bar{T}_k$ , °С	Измеренное значение ТЭДС, мВ	Измеренное значение температуры, $T_k$ , °С	Абсолютная погрешность, °С
1				
.				
.				
N				

**ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_**  
**испытаний модуля измерений температуры**



определения суммарной погрешности МИТ  
системы ИС-2 Ц4Н/Ц1Астенда Ц-4Н

Максимальные составляющие погрешности		Суммарная погрешность %
$\delta\tilde{T}$	$\delta\tilde{f}$	$\delta T$

ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_  
испытаний модуля измерений частоты вращения ротора  
определения систематической погрешности канала МИЧВ  
системы ИС-2 Ц4Н/Ц1Астенда Ц-4Н

№№ ступени k	Заданная частота, $\bar{F}_k$ Гц	Измеренная частота $F_{kj}$ , Гц		
		Цикл нагрузки 1	Цикл нагрузки 2	Цикл нагрузки 3
1				
2				
3				
4				
5				

ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_  
испытаний модуля измерений влажности  
исследования электронной части ИК МИВ  
системы ИС-2 Ц4Н/Ц1Астенда Ц-4Н

№№ ступе ни	Заданная влажность $\varphi_k$ , %	Измеренная влажность, $\varphi_{k,j}$ , %		
1				
2				
3				
4				
5				

Поверитель \_\_\_\_\_  
подпись                      фамилия, инициалы                      дата

**ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_**  
**испытаний модуля измерений влажности**

определения суммарной погрешности электронной части ИК МИВ  
системы ИС-2 Ц4Н/Ц1 Астенда Ц-4Н

№№ ступени	Заданная влажность, %	Погрешность измерения влажности, $\Delta\varphi_{к,j}$		
1				
2				
3				
4				
5				

Поверитель \_\_\_\_\_  
подпись                      фамилия, инициалы                      дата

**ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_**  
**испытаний модуля измерений влажности**

исследования датчика влажности МИВ  
системы ИС-2 Ц4Н/Ц1 Астенда Ц-4Н

№№ ступени	Заданная влажность $\bar{\varphi}_к$ %	Измеренная влажность, $\varphi_{кj}$ %		
1				
2				
3				
4				
5				

Поверитель \_\_\_\_\_  
подпись                      фамилия, инициалы                      дата

**ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_**  
**испытаний модуля измерений влажности**

определения погрешности датчика влажности  
 МИВ системы ИС-2 Ц4Н/Ц1 Астенда Ц-4Н

№№ ступени	Заданная влажность $\bar{\varphi}_k$ %	Погрешность измерения влажности, $\Delta\varphi_{kj} = \varphi_{kj} - \bar{\varphi}_k$		
1				
2				
3				
4				
5				
Среднее значение		$\Delta\varphi_k =$		

Поверитель \_\_\_\_\_  
 подпись                      фамилия, инициалы                      дата

**ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_**  
**испытаний модуля измерений влажности**

определения суммарной погрешности измерения влажности  
 МИВ системы ИС-2 Ц4Н/Ц1 Астенда Ц-4Н

№№ ступени	Заданная влажность %	Погрешность измерения влажности, $\Delta\varphi_\Sigma$		

Поверитель \_\_\_\_\_  
 подпись                      фамилия, инициалы                      дата

**ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_**  
**испытаний модуля измерений динамических параметров**

определение погрешности от неравномерности АЧХ,  
 электронной части ИК напряжения переменного тока, соответствующих  
 динамической деформации и пульсации давления (без датчиков)  
 МИДП системы ИС-2 Ц4Н/Ц1А стенда Ц-4Н

№ п/п	Частота сигнала, Гц	Напряжение переменного тока, мВ		Погрешность от неравномерности АЧХ, $\delta a$ (%)
		Входное 10 мВ	Выходное, мВ	
1	20			
2	100			
3	1000			
4	5000			
5	10000			
6	20000			
7	30000			

Поверитель \_\_\_\_\_  
 подпись                      фамилия, инициалы                      дата

ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_  
испытаний модуля измерений динамических параметров

определение погрешности от нелинейности АХ  
электронной части ИК напряжения переменного тока, соответствующих  
динамической деформации и пульсации давления (без датчиков)  
МИДП системы ИС-2 Ц4Н/Ц1А стенда Ц-4Н

№ п/п	Напряжение переменного тока, мВ (на частоте F=1000 Гц)		Погрешность нелинейности АХ, $\delta A$ (%)
	Входное, мВ	Выходное, мВ	
1	1,4		
2	2,8		
3	4,2		
4	5,6		
5	7		

Поверитель \_\_\_\_\_

подпись

фамилия, инициалы

дата

**ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_**  
**испытаний модуля измерений динамических параметров**

определение погрешности от неравномерности АЧХ,  
 электронной части ИК заряда, соответствующих  
 вибрационному ускорению и пульсации давления, (без датчиков)  
 МИДП системы ИС-2 Ц4Н/Ц1А стенда Ц-4Н

№ п/п	Частота сигнала, Гц	Заряд $Q_{вх.}=7000$ пКл	Погрешность от неравномерности АЧХ, $\delta a$ (%)
		Заряд $Q_{вых.}$ , пКл	
1	10		
2	100		
3	250		
4	500		
5	1000		
6	2500		
7	5000		
8	7500		
9	10000		

Поверитель \_\_\_\_\_  
 подпись                      фамилия, инициалы                      дата

ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_  
испытаний модуля измерений динамических параметров

определения погрешности нелинейности АХ  
электронной части ИК заряда, соответствующих  
вибрационному ускорению и пульсации давления, (без датчиков)  
МИДП системы ИС-2 Ц4Н/Ц1А стенда Ц-4Н

№ п/п	Заряд Q, пКл (на частоте F=159,2 Гц)		Погрешность нелинейности АХ, $\delta A$ (%)
	Qвх, пКл	Qвых, пКл	
1	1400		
2	2800		
3	4200		
4	5600		
5	7000		

Поверитель \_\_\_\_\_  
подпись                      фамилия, инициалы                      дата

ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_  
испытаний модуля измерений динамических параметров

определения погрешности неравномерности АЧХ  
электронной части ИК напряжения переменного тока,  
соответствующих вибрационному ускорению (без датчиков),  
МИДП системы ИС-2 Ц4Н/Ц1А стенда Ц-4Н

№ п/п	Частота сигнала, Гц	Напряжение переменного тока, В		Погрешность от неравномерности АЧХ, $\delta a$ (%)
		Входное 7 В	Выходное, В	
1	10			
2	100			
3	250			
4	500			
5	1000			
6	2500			
7	5000			
8	7500			
9	10000			

Поверитель \_\_\_\_\_

подпись

фамилия, инициалы

дата



ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_  
**испытаний модуля измерений динамических параметров**

определения погрешности нелинейности АХ  
 электронной части ИК напряжения переменного тока,  
 соответствующих вибрационному ускорению (без датчиков),  
 МИДП системы ИС-2 Ц4Н/Ц1А стенда Ц-4Н

№ п/п	Напряжение переменного тока, мВ (при 159 Гц)		Погрешность нелинейности АХ, $\delta A$ (%)
	Входное, мВ	Выходное, мВ	
1	1,4		
2	2,8		
3	4,2		
4	5,6		
5	7		

Поверитель \_\_\_\_\_  
 подпись                      фамилия, инициалы                      дата

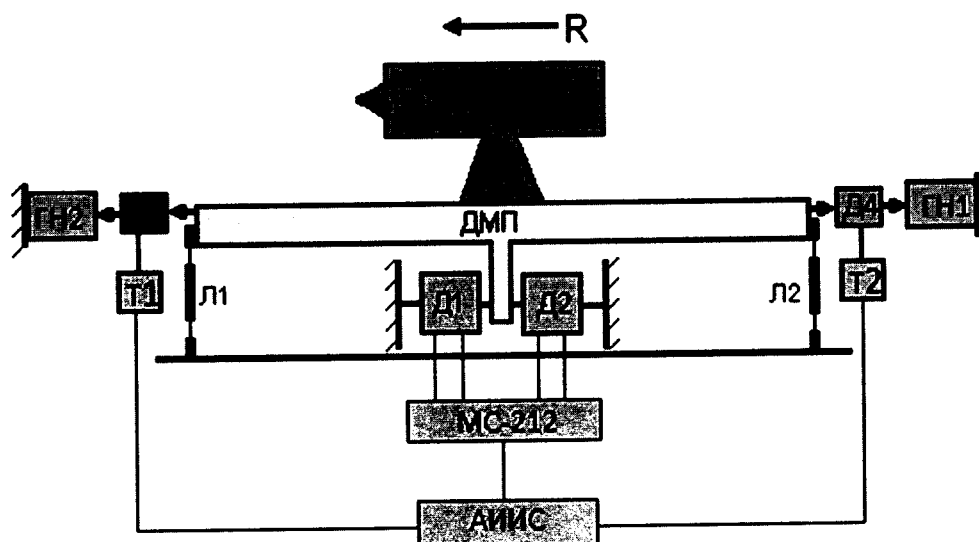


Рисунок 1. Функциональная схема модуля измерений силы от тяги двигателя

ГН1,ГН2 – гидронагружатели подгружающего устройства;

Д1,Д2 – рабочие датчики силы;

Т1,Т2 –весовой терминал;

ДЗ,Д4 – датчики подгружающего устройства;

МС-212–плата УСО;

Л1-Л2 – узлы подвески ДМП;

ПР – подmotorная рама;

ГТД – двигатель;

АИИС – компьютер;

R – измеренная сила от тяги двигателя.

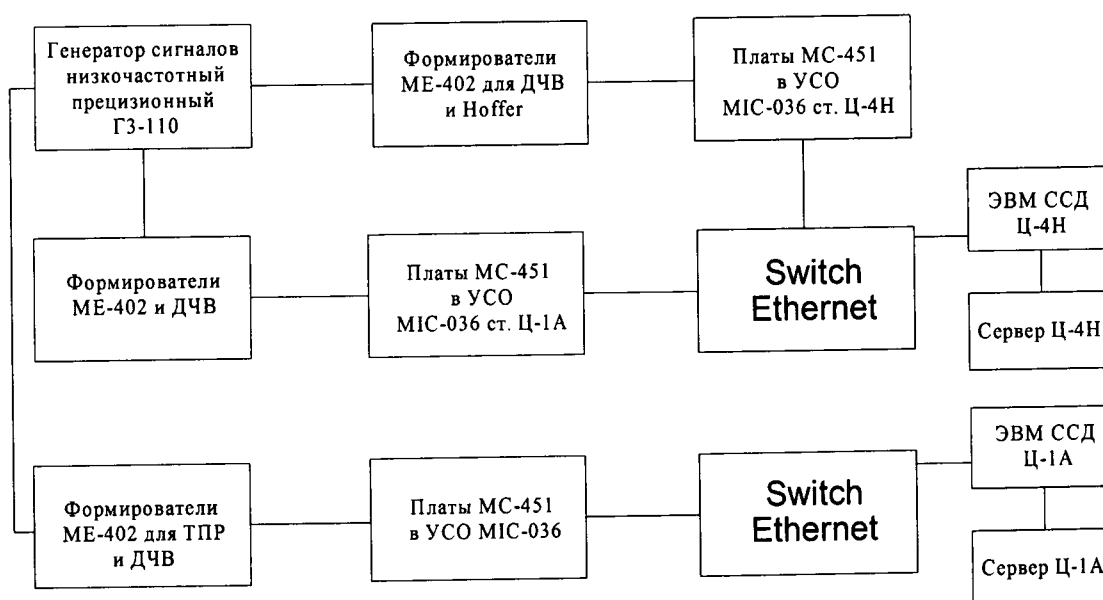


Рисунок 2 – Функциональная схема каналов измерения объёмного расхода топлива МИРТ и частоты вращения МИЧВ.

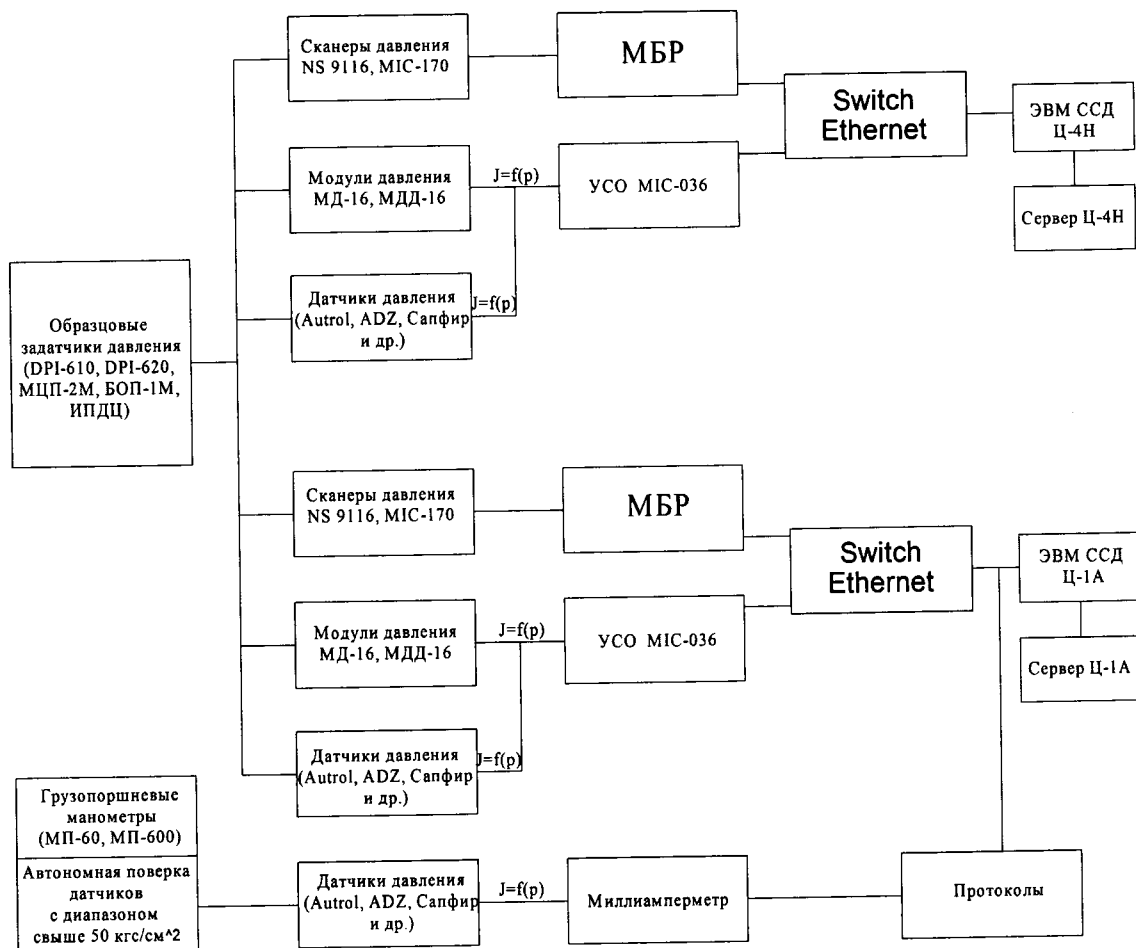


Рисунок 3. Функциональная схема канала измерений давления (МИД).

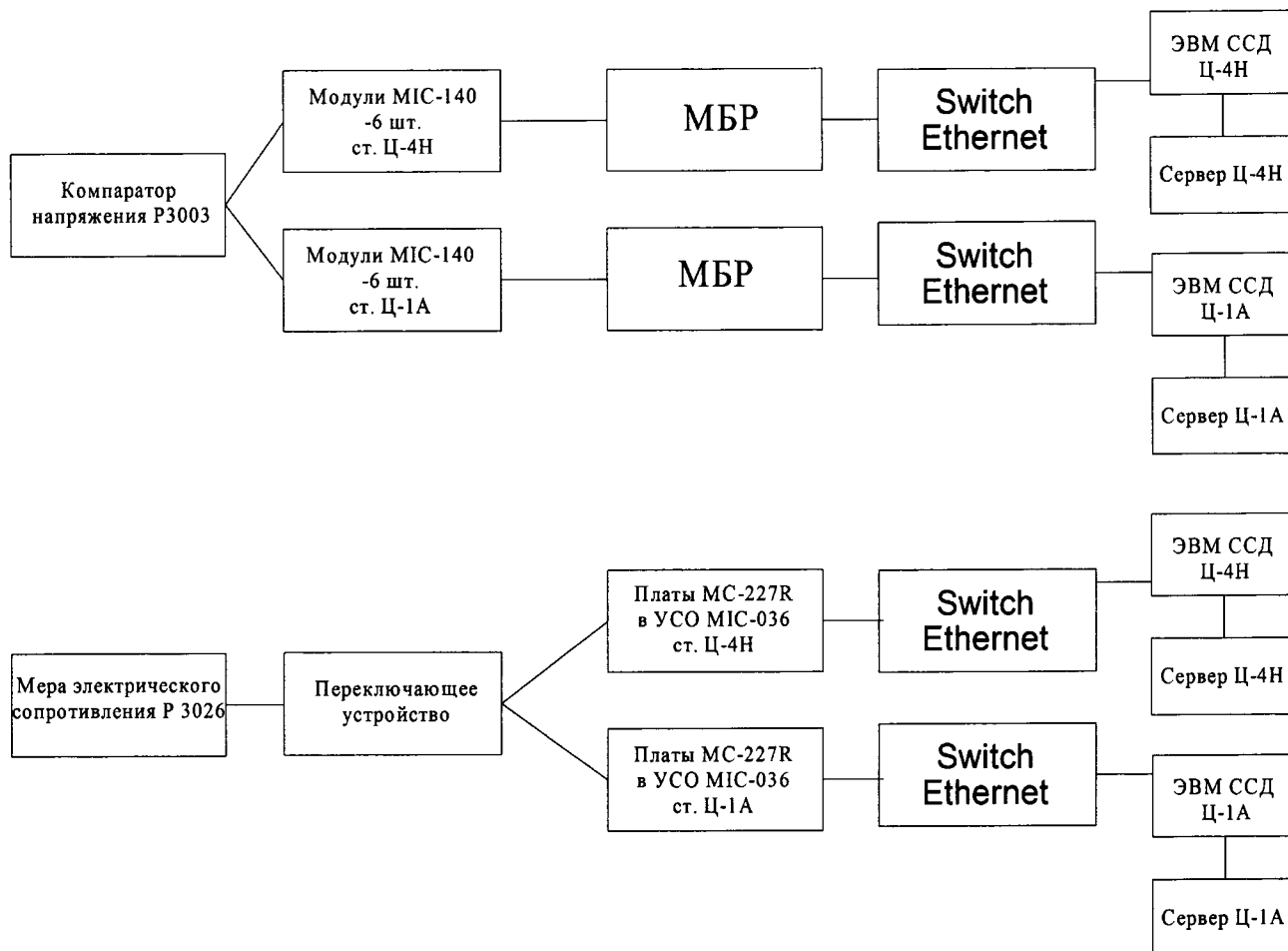


Рисунок 4. Функциональная схема канала измерений температуры (МИТ).

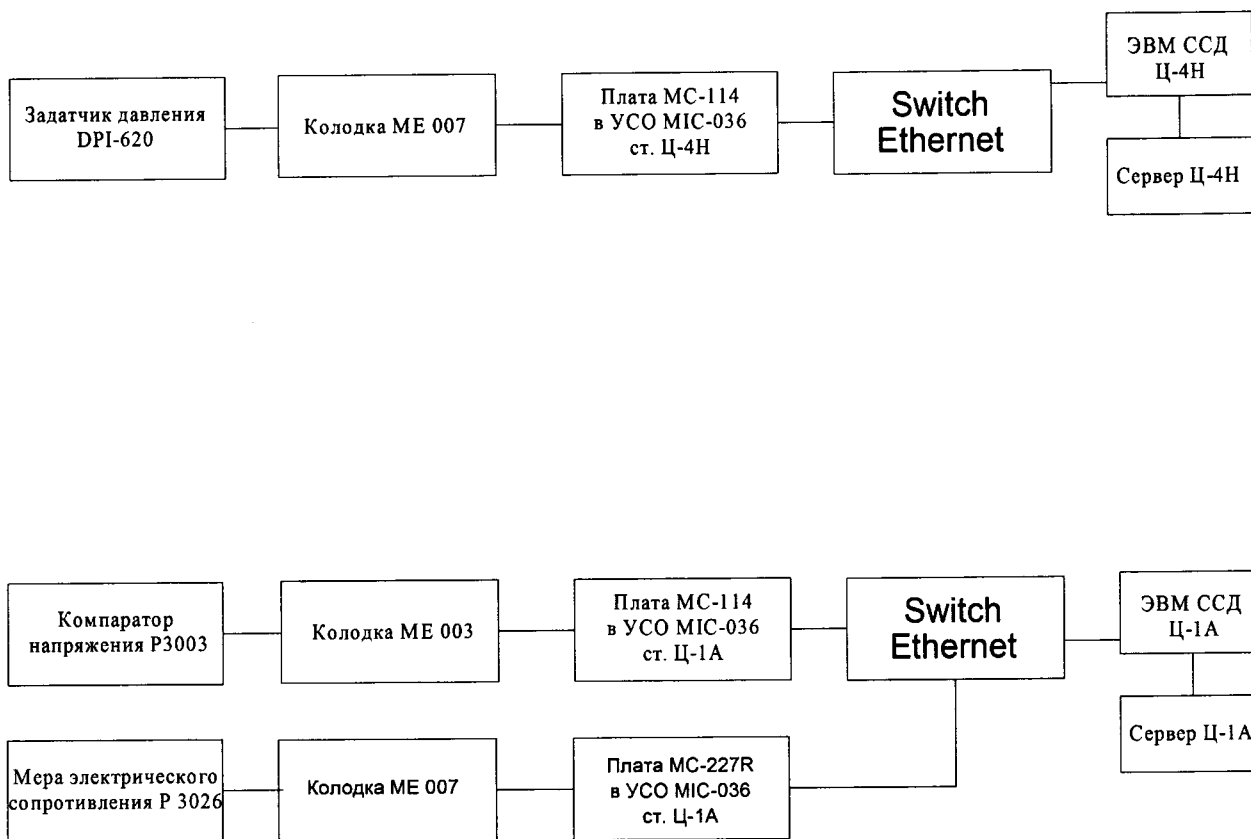


Рисунок 5. Функциональная схема канала измерений влажности (МИВ).

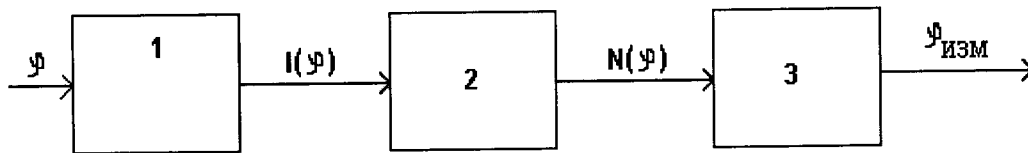


Рисунок 9. Функциональная схема модуля измерений относительной влажности МИВ

1 - датчик влажности ННН-3602С ф. «Honeywell»;

2 –плата LC-111 (LC-116)

3 – верхний уровень системы ИС-1-Ц4Н;

$I(\varphi)$  – выходной ток датчика влажности как функция относительной влажности воздуха;

$N(\varphi)$  –цифровой код с выхода АЦП как функция относительной влажности воздуха;

$\varphi$  –относительная влажность воздуха;

$\varphi_{\text{изм}}$  – измеренное значение относительной влажности воздуха

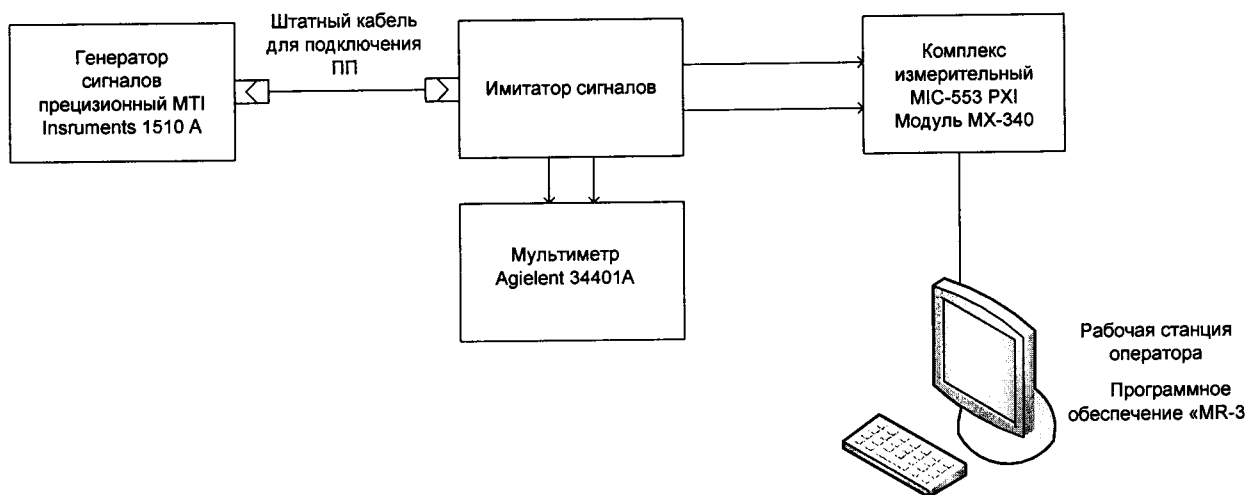


Рисунок 10 - Функциональная схема канала измерений напряжения переменного тока, соответствующего динамической деформации и пульсации

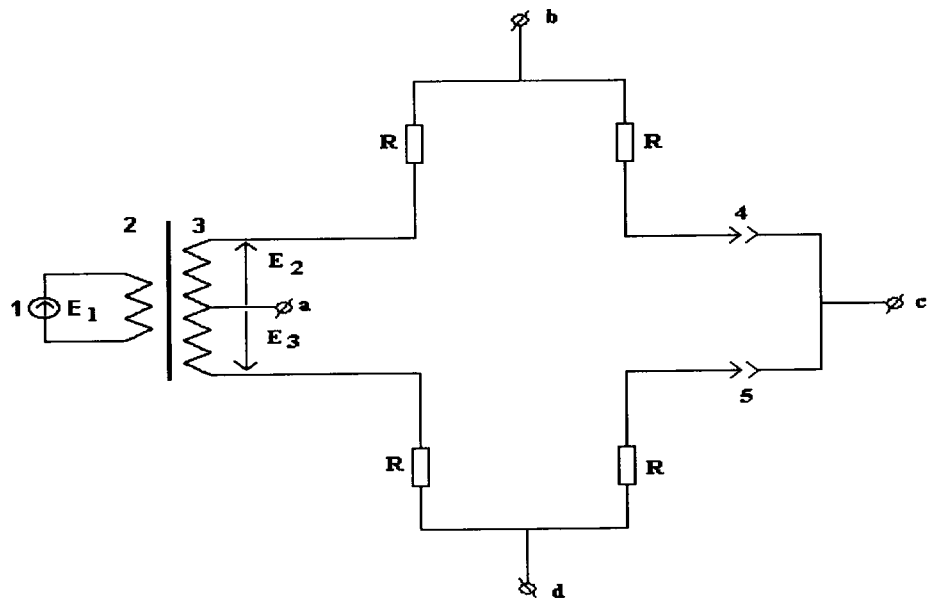


Рисунок 11 - Схема имитатора сигнала.

1 – генератор электрических сигналов эталонный; 2 – первичная обмотка разделительного трансформатора; 3 – вторичные обмотки разделительного трансформатора; 4,5 – переключки; R – резисторы, имитирующие (по номиналу) тензорезисторы;  $E_2, E_3$  – электродвижущие силы (ЭДС) во вторичной цепи трансформатора.

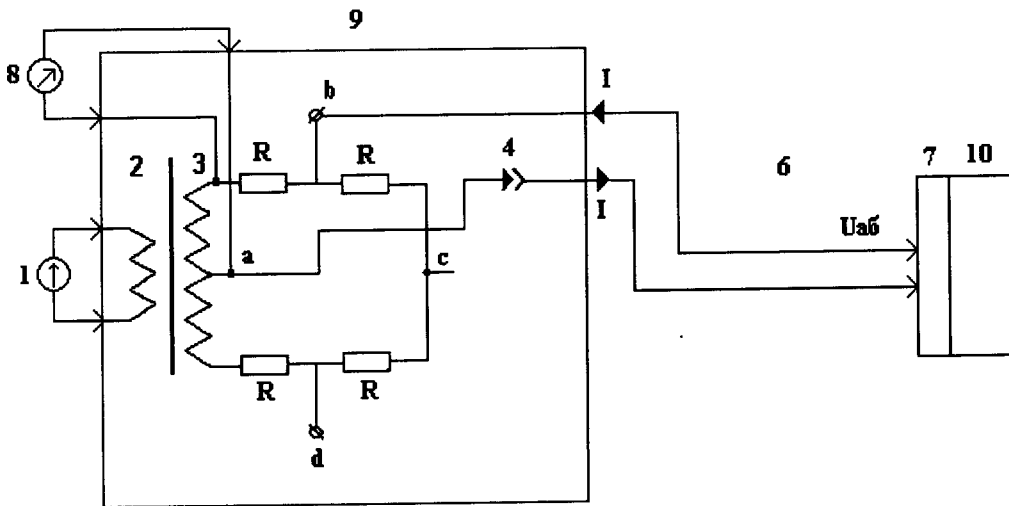


Рисунок 12- Схема измерительной системы для канала измерений напряжения переменного тока, соответствующего динамической деформации.

1 - генератор сигналов прецизионный MTI Instruments 1510A; 2,3- первичная и вторичные обмотки трансформатора; 4,5- переключки; 6- технологический кабель; 7- входной разъем модуля MX-340; 8- мультиметр Agilent 34401A; 9-имитатор сигналов; 10 - модуль MX-340;  $U_{ab}$ - переменное напряжение с клемм резистора R; I- постоянный ток питания (ток возбуждения) резистора R.

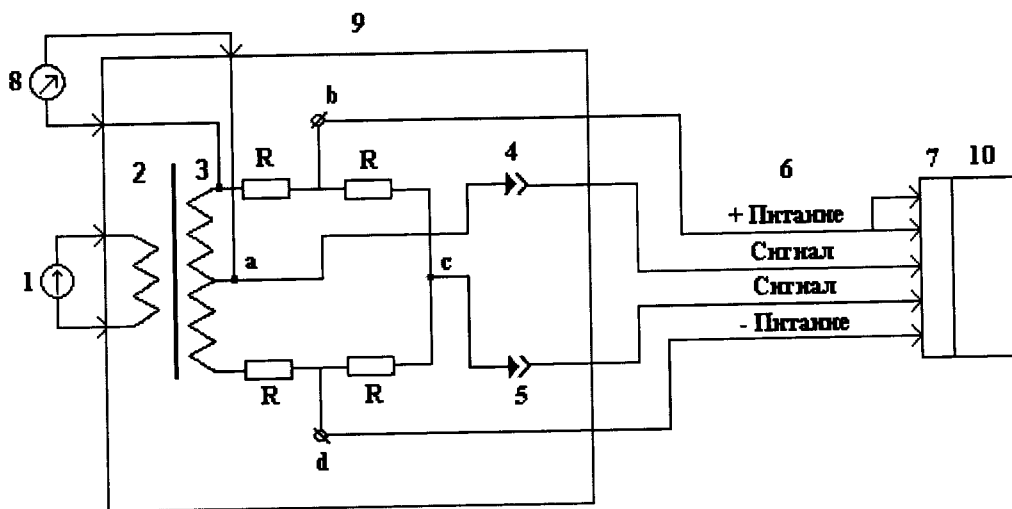


Рисунок 13 - Схема измерительной системы для канала измерений напряжения переменного тока, соответствующего пульсации давления.  
 1 - генератор сигналов прецизионный МТИ Instruments 1510А; 2,3- первичная и вторичные обмотки трансформатора; 4,5- переключки; 6- технологический кабель; 7- входной разъем модуля МХ-340; 8- мультиметр Agilent 34401А; 9-имитатор сигналов; 10- модуль МХ-340

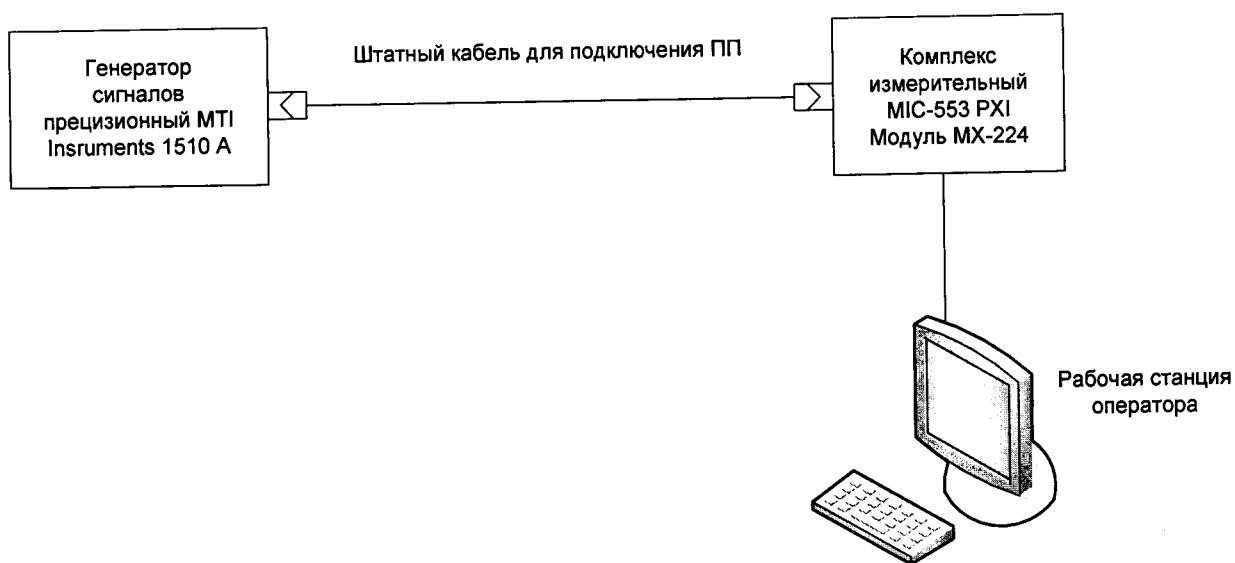


Рисунок 14 - Функциональная схема измерительного канала напряжения переменного тока, соответствующего вибрационному ускорению

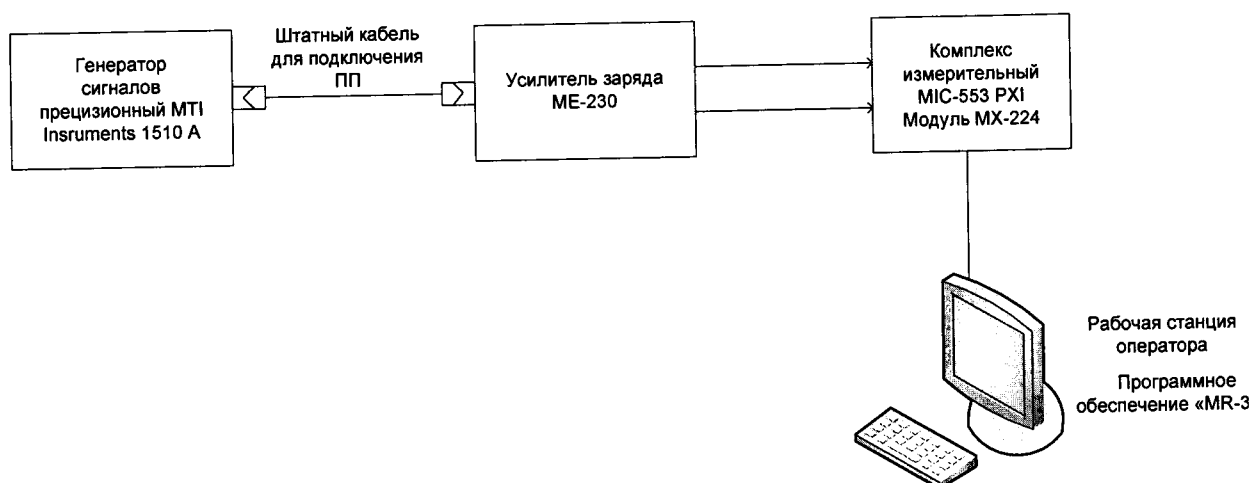


Рисунок 15 - Функциональная схема измерительного канала заряда соответствующего пульсации давления и вибрационному ускорению



**МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ  
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ АВИАЦИОННОГО  
МОТОРОСТРОЕНИЯ им. П.И.Баранова»  
(ФГУП ЦИАМ)**

Аттестат аккредитации №  
**СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ**  
№

Действительно до «\_\_» \_\_\_\_\_ г.

Средство измерений \_\_\_\_\_  
наименование, тип, модификация, регистрационный номер в Федеральном  
информационном фонде по обеспечению единства измерений

(если в состав средства измерений входят несколько автономных измерительных блоков, то  
приводится их перечень и заводские номера)

серия и номер знака предыдущей поверки (если такие серия и номер имеются)

заводской номер (номера) \_\_\_\_\_

поверено \_\_\_\_\_  
наименование величин, диапазонов, на которых поверено средство измерений  
(если предусмотрено методикой поверки)

поверено в соответствии с \_\_\_\_\_  
наименование документа, на основании которого выполнена поверка

с применением эталонов: \_\_\_\_\_  
наименование, тип, заводской номер (регистрационный номер

(при наличии), разряд, класс или погрешность эталона, применяемого при поверке  
при следующих значениях влияющих факторов: \_\_\_\_\_  
приводят перечень влияющих

факторов, нормированных в документе на методику поверки, с указанием их значений

и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано  
соответствующим установленным в описании типа метрологическим требованиям и  
пригодным к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства  
измерений.

Знак поверки

Главный метролог  
ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»  
Должность руководителя подразделения

\_\_\_\_\_   
подпись

\_\_\_\_\_   
Инициалы, фамилия

Поверитель

\_\_\_\_\_   
подпись

\_\_\_\_\_   
Инициалы, фамилия

Дата поверки «\_\_» \_\_\_\_\_ г.

**ИЗВЕЩЕНИЕ**  
о непригодности к применению № \_\_\_\_\_

Средство измерения

\_\_\_\_\_

наименование, тип

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Заводской номер

\_\_\_\_\_

Принадлежащее

\_\_\_\_\_

наименование юридического (физического) лица

\_\_\_\_\_

поверено и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано непригодным к применению в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора.

Причина непригодности \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Главный метролог

\_\_\_\_\_

подпись

\_\_\_\_\_

Ф.И.О.

Поверитель

\_\_\_\_\_

подпись

\_\_\_\_\_

Ф.И.О.