

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора
– директор исследовательского
центра «Авиационные двигатели»
ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»



В.Г. Марков
В.Г. Марков

2020
2020 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

ИНСТРУКЦИЯ

СИСТЕМА ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ «ИС-Ц-2»

Методика поверки

МП ИС-Ц-2

Москва

2020 г.

Принятые сокращения и условные обозначения.....	4
1 ВВЕДЕНИЕ	5
2 СПОСОБЫ ПОВЕРКИ И НОРМИРОВАНИЯ МХ	7
3 ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ	8
4 СРЕДСТВА ПОВЕРКИ	10
5 ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ПОВЕРИТЕЛЕЙ	12
6 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ	13
7 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ	14
8 ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ	16
8.1 Внешний осмотр.....	16
8.2 Опробование процедура подтверждения ПО.....	16
8.3 Определение метрологических характеристик ИК.....	17
8.3.1 Определение МХ ИК силы от тяги двигателя.....	17
8.3.2 Определение МХ и погрешностей ИК абсолютного, избыточного, разности давления газообразных и жидких сред.....	18
8.3.3 Определение МХ и погрешностей ИК напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температур газообразных и жидких сред в диапазоне преобразований ПП термоэлектрического типа.....	20
8.3.4 Определение МХ и погрешностей ИК температуры, измеренной термоэлектрическими преобразователями типа ТХА (К), ТХК (L).....	20
8.3.5 Определение МХ и погрешностей ИК сопротивления постоянному току, соответствующего значениям температур газообразных и жидких сред в диапазоне преобразований ПП терморезистивного типа.....	21
8.3.6 Определение МХ и погрешностей ИК температуры топлива, ИК температуры, измеренной термопреобразователями сопротивления терморезистивного типа 100П, 1000П.....	21
8.3.7 Определение МХ и погрешностей ИК объемного расхода жидкости.....	22
8.3.8 Определение МХ и погрешностей ИК относительной влажности воздуха на входе в объект испытаний.....	23
9 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ	26
9.1 Расчёт характеристик погрешностей ИК силы от тяги двигателя.....	26
9.2 Расчёт характеристик погрешностей ИК абсолютного, избыточного, разности давления газообразных и жидких сред.....	27
9.3 Расчёт характеристик погрешностей ИК напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температур газообразных и жидких сред в диапазоне преобразований ПП термоэлектрического типа.....	28
9.4 Расчёт характеристик погрешностей ИК температуры, измеренной термоэлектрическими преобразователями типа ТХА (К), ТХК (L).....	28
9.5 Расчёт характеристик погрешностей ИК температуры топлива.....	29
9.6 Расчёт характеристик погрешностей ИК сопротивления постоянному току, соответствующего значениям температур газообразных и жидких сред.....	29
9.7 Расчёт характеристик погрешностей ИК температуры, измеренной термопреобразователями сопротивления терморезистивного типа 100П, 1000П.....	29
9.8 Расчёт характеристик погрешностей ИК объемного расхода жидкости.....	29
9.9 Расчёт характеристик погрешностей ИК относительной влажности воздуха на входе в объект испытаний.....	33
9.10 Расчёт характеристик погрешностей ИК частоты электрического сигнала.....	34
9.11 Расчёт характеристик погрешностей ИК параметров сферических частиц в потоке воздуха.....	34
9.12 Расчёт суммарных погрешностей ИК.....	37

10 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ.....	39
Приложение А – Схемы поверки ИК.....	40
Приложение Б – Форма протокола поверки ИК ИС.....	42
Приложение В – Форма свидетельства о поверке ИС.....	50
Приложение Г – Форма извещения о непригодности.....	52

Принятые сокращения и условные обозначения

- ВП – верхний предел измерения;
- ДМП – динамометрическая платформа;
- ДИ – диапазон измерения;
- ИК – измерительный канал;
- ИЗ – измеряемое значение;
- ИУ – измерительный участок, включающий ТПР;
- ИС – измерительная система;
- МП – методика поверки;
- МХ – метрологические характеристики;
- НП – нижний предел диапазона измерения;
- НД – нормативная документация;
- НСХ – номинальная статическая характеристика;
- ПО – программное обеспечение;
- ПП – первичный преобразователь;
- СКО – среднеквадратическое отклонение случайной величины;
- СИ – средства измерения;
- ТПР – турбинный преобразователь расхода топлива;
- ТПУ – эталонная трубопоршневая установка для поверки ТПР;
- ТХС – температура «холодного спая»;
- ТЭДС – термоэлектродвижущая сила.

1 ВВЕДЕНИЕ

Настоящая Методика поверки распространяется на систему измерений ИС-Ц-2 стенда Ц-2 ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова» и устанавливает методику её первичной и периодической поверки. Методика выполнена в соответствии с Рекомендацией РМГ 51-2002 «ГСИ. Документы на методики поверки средств измерений. Основные положения» и ГОСТ Р 8.596-2002 «ГСИ. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения».

Система измерений ИС-Ц-2 (далее системы ИС-Ц-2) проектировалась из компонентов, изготавливаемых различными производителями и принимаемых как законченные изделия непосредственно на месте эксплуатации (тип измерительной системы ИС-2 по ГОСТ Р 8.596-2002).

Система ИС-Ц-2 состоит из следующих измерительных каналов (ИК):

- ИК силы от тяги двигателя;
- ИК абсолютного, избыточного, разности давления газообразных и жидких сред;
- ИК напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температур газообразных и жидких сред в диапазоне преобразований ПП термоэлектрического типа;
- ИК температуры, измеренной термоэлектрическими преобразователями типа ТХА (К), ТХК (L);
- ИК температуры топлива;
- ИК сопротивления постоянному току, соответствующего значениям температур газообразных и жидких сред в диапазоне преобразований ПП терморезистивного типа;
- ИК температуры, измеренной термопреобразователями сопротивления терморезистивного типа 100П, 1000П;
- ИК объёмного расхода жидкости;
- ИК относительной влажности воздуха на входе в объект испытаний;
- ИК частоты электрического сигнала, соответствующей значениям частоты ТПР;
- ИК частоты электрического сигнала, соответствующей значениям частоты вращения роторов ГТД;
- ИК параметров сферических частиц в потоке воздуха.

При разработке Методики поверки систем ИС-Ц-2 использовались следующие НД:

- 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. Термодпары. Номинальные статические характеристики преобразования;
- ГОСТ 8.338-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Преобразователи термоэлектрические. Методика поверки;
- ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;

- Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 01 октября 2018 г. № 2091 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений силы постоянного тока в диапазоне от $1 \cdot 10^{-16}$ до 100 А»;
- Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 июля 2018 г. № 1621 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений времени и частоты».
- Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 февраля 2016 г. № 146. Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений электрического сопротивления;
- Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 октября 2019 г. № 2498 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений силы».
- Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 июля 2019 г. № 1794 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений крутящего момента силы».
- Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 07 февраля 2018 г. № 256 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений массы и объема жидкости в потоке, объема жидкости и вместимости при статических измерениях, массового и объемного расходов жидкости».
- Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 июня 2018 г. № 1339 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений избыточного давления до 4000 МПа»;
- Технические условия ТУ-304-Ц2-2019;
- ОСТ 1 010021-93 Стенды испытательные авиационных газотурбинных двигателей. Общие требования;
- ОСТ 1 02517-84 ОСИ. Силоизмерительные Системы испытательных стендов. Методика поверки;
- ОСТ1-02512-84 ОСИ. Системы силоизмерительные испытательных стендов авиационных ГТД. Общие требования;
- ОСТ 1 02677-89 ОСИ. Силоизмерительные Системы испытательных стендов газотурбинных двигателей. Общие требования к поверочным и стендовым градуировочным устройствам;
- ОСТ 1 00487-83 Отраслевая система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение испытаний газотурбинных двигателей. Аттестация измерительных каналов информационно-измерительных систем;
- МИ 3290-2010 ГСИ. Рекомендации по подготовке, оформлению и рассмотрению материалов испытаний средств измерений в целях утверждения типа;
- РМГ 51-2002 ГСИ. Документы на методики поверки средств измерений. Основные положения;
- РМГ 29-99 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.

Допускается поверка не в полном объеме.

Интервал между поверками ИС-Ц-2 - 1 год.

2 СПОСОБЫ ПОВЕРКИ И НОРМИРОВАНИЯ МХ

2.1 Способы поверки

Настоящая МП устанавливает комплектный и поэлементный способы поверки ИК. Поверка ИК должна проводиться комплектным методом.

Если поверку невозможно провести комплектным методом, то ее проводят поэлементно (поэлементный метод).

Под элементами ИК ИС понимаются отдельные средства измерений (СИ) или совокупности СИ и других технических средств, включая линии связи, используемых в ИК ИС.

При проведении поверки поэлементным методом отдельно поверяют первичный преобразователь (ПП) и электрическую часть ИК.

2.2 Нормирование МХ

Нормирование МХ осуществляется в соответствии с ГОСТ 8.009-84, оценка и форма представления погрешностей по МИ 1317-2004, методы определения МХ ИК по ГОСТ ГОСТ Р 8.736-2011 и другим НД, указанным в п. 1.2.

3 ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ

Перечень операций при проведении поверки ИС приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Перечень операций при проведении поверки ИС

Наименование операций	Номер пункта МП	Проведение операций при	
		первичной поверки	периодической поверки
1	2	3	4
1 Подготовка к поверке	7.1-7.7	+	+
2 Внешний осмотр	8.1	+	+
3 Опробование	8.2	+	+
4 Определение МХ ИС	-----	+	+
4.1 Определение МХ ИК силы от тяги двигателя:	8.3.1	+	+
4.1.1 Определение порога реагирования ИК силы от тяги двигателя	8.3.1.1	+	+
4.1.2 Определение коэффициента устойчивости ИК силы от тяги двигателя	8.3.1.2	+	-
4.1.3 Определение случайной составляющей основной погрешности ИК силы от тяги двигателя	8.3.1.3	+	+
4.1.4 Определение систематической составляющей основной погрешности ИК силы от тяги двигателя	8.3.1.4	+	+
4.1.5 Определение основной погрешности ИК силы от тяги двигателя	8.3.1.5	+	+
4.2 Определение МХ и погрешностей ИК абсолютного, избыточного, разности давления газообразных и жидких сред:	8.3.2	+	+
4.3 Определение МХ и погрешностей ИК напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температур газообразных и жидких сред в диапазоне преобразований ПП термоэлектрического типа	8.3.3	+	+
4.4 Определение МХ и погрешностей ИК температуры, измеренной термоэлектрическими преобразователями типа ТХА (К), ТХК (L)	8.3.4	+	+

Продолжение таблицы 1

4.5 Определение МХ и погрешностей ИК температуры топлива	8.3.6	+	+
4.6 Определение МХ и погрешностей ИК сопротивления постоянному току, соответствующего значениям температур газообразных и жидких сред в диапазоне преобразований ПП терморезистивного типа	8.3.5	+	+
4.7 Определение МХ и погрешностей ИК температуры, измеренной термопреобразователями сопротивления терморезистивного типа 100П, 1000П	8.3.6	+	+
4.8 Определение МХ и погрешностей ИК объемного расхода жидкости	8.3.7	+	+
4.9 Определение МХ и погрешностей ИК относительной влажности воздуха на входе в объект испытаний	8.3.8	+	+
4.10 Определение МХ и погрешностей ИК частоты электрического сигнала, соответствующей значениям частоты ТПР	8.3.9	+	+
4.11 Определение МХ и погрешностей ИК частоты электрического сигнала, соответствующей значениям частоты вращения роторов ГТД	8.3.9	+	+
4.12 Определение МХ и погрешностей ИК размера, скорости и удельного объема сферических частиц	8.3.10	+	+

4 СРЕДСТВА ПОВЕРКИ

Средства поверки ИС и вспомогательное оборудование представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Средства поверки ИС и вспомогательное оборудование

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
8.3.1	- тензорезисторные S-образные датчики (диапазон измерения от 50 до 30000 кгс, 2 разряд); - секундомер механического типа СОПпр (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 11519-11); - рулетка измерительная Horex с держателем модификации 462010 (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 48406-11).
8.3.2	- манометр грузопоршневой МП – 2,5, 1 разряд (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 17973-98); - манометр грузопоршневой МП – 6, 1 разряд (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 16115-97); - манометр грузопоршневой МП – 60, 1 разряд (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 16026-97); - манометр грузопоршневой МП – 600, 2 разряд (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 16026-97); - калибратор многофункциональный DPI 620 с внешними модулями давления (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде № 60401-15); - барометр образцовый переносной БОП-1М модификации БОП-1М-3 (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 26469-04).
8.3.8	- генератор влажности газа образцовый динамический Родник-2М (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 11739-89);
8.3.3, 8.3.4, 8.3.5, 8.3.6, 8.3.8, 8.3.9	- генератор сигналов низкочастотный прецизионный Г3-122 (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 10237-85); - компаратор – калибратор универсальный КМ300КНТ (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 54727-13); - калибратор – измеритель унифицированных сигналов эталонный ИКСУ-260 (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 35062-07); - мера электрического сопротивления постоянного тока многозначная Р3026-1 (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 56523-14); - мультиметр цифровой 34401А (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 54848-13);

Продолжение таблицы 2

8.3.7	<ul style="list-style-type: none"> - установка трубопоршневая ТПУ-1 (диапазон измерений от 0,08 до 2 л/с, ПГ $\pm 0,12$ % ИЗ); - установка трубопоршневая ТПУ-3 (диапазон измерений от 0,003 до 0,8 л/с, ПГ $\pm 0,12$ % ИЗ); - установка трубопоршневая ТПУ-4 (диапазон измерений от 0,12 до 17 л/с, ПГ $\pm 0,12$ % ИЗ); - установка трубопоршневая с электроприводом ТПУ-Э (диапазон измерений от 0,2 до 3,8 л/с, ПГ $\pm 0,12$ % ИЗ); - генератор сигналов низкочастотный прецизионный ГЗ-122
8.3.4	<ul style="list-style-type: none"> - термометр сопротивления платиновый вибропрочный эталонный ПТСВ-11-2 (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 65421-16); - термометр цифровой эталонный ТЦЭ-005/М2 (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 40719-15).
8.3.10	<ul style="list-style-type: none"> - установка для поверки фазо-доплеровского анемометра PDA фирмы TSI (США) (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 45460-10);

5 ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ПОВЕРИТЕЛЕЙ

Поверка системы ИС-Ц-2 должна проводиться юридическими лицами или индивидуальными предпринимателями, аккредитованными на право оказания услуг в области обеспечения единства измерения, в установленном действующим законодательством порядке.

К проведению работ по поверке ИС допускаются лица, имеющие высшее, среднее профессиональное или дополнительное профессиональное образование, или прошедшие профессиональную переподготовку по специальностям (направлениям подготовки), содержащим в наименовании указание на метрологию и (или) стандартизацию, независимо от конкретной области аккредитации в сфере обеспечения единства измерений с опытом работы в соответствующем направлении не менее трёх лет.

Также к проведению работ по поверке ИС допускаются лица, имеющие высшее, среднее профессиональное или дополнительное профессиональное образование по специальностям, не содержащим в наименовании указание на метрологию, но прошедшие курсы повышения квалификации по профилю, соответствующему области аккредитации.

6 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ

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

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 руководствах по эксплуатации.

7 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ

7.1 При проведении поверки должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

- проверить правильность электрического и механического монтажа;
- обеспечить на стенде и в пультовой указанные в разделе 6 условия для поверки;
- проверить комплектность ИК ИС на соответствие их элементов требованиям конструкторской документации;
- отключить электрические линии, идущие от ПП, при поэлементном способе поверки;
- подготовить необходимое для поверки эталонное и вспомогательное оборудование;
- подключить на вход вторичной части ИК эталонное оборудование, при поэлементном способе поверки;
- включить и подготовить систему ИС-Ц-2 согласно Руководству по ее эксплуатации.

Поверка ИС может проводиться расчётным и автоматическими методами.

При расчётном методе показания снимаются визуально с монитора и заносятся в протокол произвольной формы.

Поверка автоматическим методом производится с применением опции «Поверка» в ПО.

7.2 При подготовке к поверке ИК силы от тяги двигателя:

- привести ИК в рабочее состояние и измерить силу при контрольных нагрузках, равных 0; 0,5 от ВП; ВП;
- 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.
- обеспечить поверочное градуировочное устройство напряжением питания;
- проверить правильность функционирования и прочность всех элементов поверочного градуировочного устройства путём нагружения ИК последовательно нагрузками 0,3; 0,5; 0,8 и 1,1 ВП с остановкой на каждой нагрузке, выдержкой две, три минуты и внешним осмотром элементов поверочного градуировочного устройства на отсутствие механических повреждений и ослабления элементов крепления. При обнаружении неисправностей провести работы по их устранению;
- после снятия нагрузки с поверочного градуировочного устройства демонтировать имитатор динамометра и смонтировать вместо него эталонный динамометр;
- поместить в районе расположения эталонного динамометра термометр.

7.3 При подготовке к поверке ИК объёмного расхода жидкости:

- провести внешний осмотр ИУ с ТПП 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 вторичное и вспомогательное оборудование.

7.4 При подготовке к поверке ИК относительной влажности воздуха на входе в объект испытаний:

- 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;
- включить установку для поверки датчиков влажности согласно Инструкции по её эксплуатации.

7.5 При подготовке к поверке других типов ИК руководствоваться п. 7.1.

8 ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ

8.1 Внешний осмотр

При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие поверяемого ИК ИС следующим требованиям:

- комплектность ИК и его элементов должна соответствовать требованиям КД и НД на ИС;
- проверить правильность электрического и механического монтажа (соединительные линии не должны иметь повреждений и должны быть надёжно соединены с разъёмами и клеммами;
- пневматические и гидравлические части ИК должны быть герметичны;
- должны отсутствовать следы механических повреждений, очаги загрязнения и коррозии, препятствующие эксплуатации элементов ИК.

Результаты внешнего осмотра считать удовлетворительными если выполняются вышеописанные требования. В случае несоответствия проводится устранение недостатков.

8.2 Опробование процедура подтверждения ПО

При опробовании системы необходимо:

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

Процедура подтверждения ПО:

- проверить соответствие характеристик в информационном окне программы;
- 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.

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

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.

– 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.

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

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

8.3 Определение метрологических характеристик ИК

8.3.1 Определение МХ ИК силы от тяги двигателя

8.3.1.1 Определение порога реагирования ИК

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

8.3.1.2 Определение коэффициента устойчивости ДМП ИК

ДМП освобождают от всех связей с термобарокамерой и статически уравнивают. Последовательно прикладывают к ДМП продольно действующие нагрузки от 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. Перемещение ДМП относительно ТБК измеряется индикатором часового типа, установленным в плоскости передних упругих лент подвески ДМП.

8.3.1.3 Определение случайной составляющей основной погрешности

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

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

- разгрузить ИК;

- нагрузить ИК до максимального значения и без выдержки разгрузить;

- записать в протокол, время начала градуировки, температуру окружающего воздуха на стенде и нулевые показания ИК;

- 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 ИК;

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

8.3.1.4 Определение систематической погрешности ИК

Систематическая составляющая погрешности ИК 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 ИК и поверочное градуировочное устройство для прогрева ИК силы в соответствии с инструкцией по эксплуатации;

- замкнуть силовую цепь эталонного динамометра в поверочное градуировочное устройство;

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

- разгрузить ИК до нуля, разомкнуть силовую цепь эталонного динамометра в поверочном градуировочном устройстве и зарегистрировать нуль динамометра поверочного градуировочного устройства и ИК силы;
- замкнуть силовую цепь эталонного динамометра в поверочном градуировочном устройстве и повторить нагружение и разгрузку динамометра поверочного градуировочного устройства;
- записать в протокол, время начала градуировки, температуру окружающего воздуха в боксе и показания ИК силы при нулевой нагрузке (при разомкнутой цепи эталонного динамометра поверочного градуировочного устройства);
- замкнуть силовую цепь эталонного динамометра в поверочном градуировочном устройстве и нагрузить ИК с помощью поверочного градуировочного устройства до максимального значения силы;
- разгрузить ИК до нагрузки равной от 0,2 до 0,6 нагрузки, соответствующей первой контрольной точке;
- задавая нагружающим устройством поверочного градуировочного устройства, по показаниям эталонного динамометра те же значения, как и при градуировке стендового градуировочного устройства, от нуля до максимального значения, останавливаясь на каждой контрольной точке не менее чем на 10 секунд произвести регистрацию показаний ИК силы с записью в протокол (Приложение Б);
- после достижения нагрузки на ИК, воспроизводимой поверочным градуировочным устройством максимального значения силы, регистрации и записи показаний ИК силы при этой нагрузке, произвести плавную разгрузку ИК 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 ИК силы, время окончания градуировки и температуру окружающего воздуха в боксе;
- после предварительного анализа полученных результатов градуировки ИК демонтировать поверочное градуировочное устройство.

8.3.1.5 Определение основной погрешности

Основная погрешность ИК рассчитывается по данным, полученным в п. 8.3.1.3 и 8.3.1.4

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

- в диапазоне (0,5 ... 1,0) R_{max} $\pm 0,3 \% R_k$
- в диапазоне (0 ... 0,5) R_{max} $\pm 0,3\%$ от 0,5 R_{max}

В случае несоответствия, указанным требованиям, проводится исследование системы с целью определения причин несоответствия.

8.3.2 Определение МХ и погрешностей ИК абсолютного, избыточного, разности давления газообразных и жидких сред

8.3.2.1 Поверку каждого ИК выполнить комплектным или поэлементным способом. При поверке комплектным способом выполнить следующие операции:

- соединить первичные преобразователи (датчики) с магистралью эталонного давления собрав схему поверки, согласно приложению А;
- подать на магистраль эталонное давление, равное нижнему, а затем верхнему пределу измерения данной группы датчиков;

– проверить соответствие значения давления, индицируемого на экране дисплея ЭВМ, и заданного давления;

– с помощью калибратора давления подать на входы преобразователей давления ряд равномерно распределённых между диапазоном измерения значений эталонного избыточного давления, с шагом не более 30 % от диапазона (при поверке преобразователей дифференциального давления минусовые порты соответствующих преобразователей соединить с атмосферой, а плюсовые с магистралью);

– выполнить от одного до трёх циклов 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.

Число поверяемых точек в диапазоне изменений должно быть не менее пяти.

При поверке ИК с верхним пределом измерений разрежения 0,1 МПа, если атмосферное давление равно или менее 0,1 МПа, максимальное разрежение допускается устанавливать в диапазоне от 0,90 до 0,95 Р_б, где Р_б - атмосферное давление.

Определение основной погрешности ИК абсолютного давления с верхними пределами измерений от 0,25 МПа допускается проводить с использованием эталонных СИ абсолютного давления, разрежения и избыточного давления (например, БОП-1М-3; МВП-2,5; МП-6 и МП-60).

В этом случае ИК поверяют на точках: при разрежении в пределах от 0,90 до 0,95Р_б, при значениях избыточного давления, определяемом по формуле

$$P_{изб} = P_{эт} - P_{б}, \quad (1)$$

где Р_{эт} – давление, задаваемое на вход ИК с учётом атмосферного.

Основную погрешность и вариацию ИК рассчитать по формулам (8), (9), (14), (15) и (16).

8.3.2.2 При поверке поэлементным способом выполнить следующие операции:

– отсоединить ПП от остальной части ИК;

– подключить калибратор ИКСУ-260 к электронной части ИК, согласно схеме (приложение А);

– подать на вход электронной части ИК ряд значений эталонного электрического сигнала, в соответствии с типом и диапазоном используемого АЦП;

– выполнить от одного до трёх циклов нагружения. При этом в каждом цикле значение электрического сигнала необходимо повысить от нуля до верхнего предела измерений (прямой ход) и понизить от верхнего предела до нуля (обратный ход);

– число поверяемых точек в диапазоне изменений должно быть не менее пяти;

– на каждой ступени нагружения зарегистрировать и занести в протокол (Приложение Б) измеренные значения.

Поверку ПП провести в соответствии с МИ 1997-89.

Поверка манометров прецизионных МЦП-2М производится в соответствии с методикой поверки, изложенной в приложении А к руководству по эксплуатации ИКЛВ.406525.003 Д52; барометров БРС-1М-3 в соответствии с МИ 2699-01.

Поверка ПП ДВБЧУ-1 проводится в соответствии с п.8.3.4.1 и 8.3.4.2 с применением в качестве эталона барометра образцового прецизионного БОП-1М.

Основную погрешность и вариацию ИК рассчитать по формулам (8), (9), (14), (15) и (16).

Суммарную погрешность ИК рассчитать по формулам с (61) по (72).

8.3.2.3 Результаты поверки ИК считать положительными, если на всех поверяемых точках соблюдается условие, при котором $\gamma_{ИК} \leq \gamma_{доп}$, либо $\Delta P_{ИК} \leq \Delta P_{доп}$. При несоблюдении условий проводится исследование ИК ИС с целью определения причин несоответствия.

8.3.3 Определение МХ и погрешностей ИК напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температур газообразных и жидких сред в диапазоне преобразований ПП термоэлектрического типа

8.3.3.1 Поверку ИК выполнить в следующей последовательности:

- отключить термоэлектрические преобразователи от входа в ИК;
- подключить на входы ИК источник эталонного напряжения компаратор КМ 300 КНТ или калибратор ИКСУ-260 в соответствии со схемой подключения (приложение А);
- включить питание ИС, загрузить рабочую программу в режиме поверки согласно руководству по эксплуатации РЭ-ИС-Ц-2;
- 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;
- установить калибратором ряд значений эталонного напряжения, равномерно распределённым в указанном диапазоне измерений или соответствующих имитируемым значениям эталонных температур. Число поверяемых точек в диапазоне изменений должно быть не менее пяти с одним или тремя (в случае определения границ погрешности) циклами нагружения. Контрольные точки установки температуры определяются по НСХ, указанной в ГОСТ Р 8.585-2001;
- на каждой ступени нагружения зарегистрировать измеренные значения напряжения или температуры (в случае имитации);
- рассчитать основную приведённую погрешность в соответствии с п. 9.5.

8.3.3.2 Результаты поверки ИК считать положительными, если на всех поверяемых точках соблюдается условие, при котором $\gamma U_{ик} \leq \gamma U_{доп}$ либо $\Delta t_{ик} \leq \Delta t_{доп}$ (в случае имитации). При несоблюдении условий проводится исследование ИК ИС с целью определения причин несоответствия.

8.3.4 Определение МХ и погрешностей ИК температуры, измеренной термоэлектрическими преобразователями типа ТХА (К), ТХК (L)

8.3.4.1 Поверку электронной части ИК выполняется в соответствии с процедурами, описанными в п. 8.3.5.

8.3.4.2 Поверка термоэлектрических преобразователей производится по ГОСТ 8.338-2002.

8.3.4.3 Определение погрешности измерения температуры свободных концов (температура «холодного спая»)

При определении погрешности температуры свободных концов выполнить следующие операции:

- в технологическое отверстие блока термостатирования комплекса измерения температур (МІС 140) поместить эталонный термопреобразователь сопротивления ПТСВ-11;
- соединить ПТСВ-11 с термометром цифровым эталонным ТЦЭ-005/М2;
- выдержать в условиях окружающей среды не менее трёх часов;
- включить питание ИС;
- перевести ИК в режим измерения температуры свободных концов согласно руководству по эксплуатации РЭ-ИС-Ц-2;
- измерить эталонную температуру;
- зарегистрировать показания измеренной температуры свободных концов, индицируемых на мониторе ПК для каждой точки измерения ТХС;
- рассчитать абсолютную погрешность измерения ТХС для каждой точки измерения по формуле

$$\Delta_{ТХС,i} = t_{эт} - t_{изм,i}, \quad (2)$$

где $t_{эт}$ - эталонное значение температуры, измеренной ПТСВ;

$t_{изм,i}$ - измеренное значение температуры ТХС для каждой точки измерения в шкафу термостатирования;

– занести результаты измерения ТХС в протокол (Приложение Б).

Величина абсолютной погрешности ТХС для каждой точки измерения не должна превышать $\pm 0,2$ °С.

8.3.4.4 Суммарную погрешность ИК температуры, измеренной термоэлектрическими преобразователями, включая погрешность электронной части ИК, термоэлектрического преобразователя и температуры свободных концов (ТХС) рассчитать по формулам с (61) по (72).

8.3.4.5 Результаты поверки ИК считать положительными, если на всех поверяемых точках соблюдается условие, при котором $\delta t_{ИК} \leq \delta t_{доп}$, либо $\gamma t_{ИК} \leq \gamma t_{доп}$, либо $\Delta t_{ИК} \leq \Delta t_{доп}$. При несоблюдении условий проводится исследование ИК ИС с целью определения причин несоответствия.

8.3.5 Определение МХ и погрешностей ИК сопротивления постоянному току, соответствующего значениям температур газообразных и жидких сред в диапазоне преобразований ПП терморезистивного типа

8.3.5.1 Поверку ИК выполнить в следующей последовательности:

- отключить термопреобразователи сопротивления от входа в ИК;
- подключить на входы ИК источник эталонного сопротивления - мера сопротивления многозначная Р 3026 или калибратор ИКСУ-260, в соответствии со схемой подключения (приложение А);
- включить питание ИС, загрузить рабочую программу в режиме поверки согласно руководству по эксплуатации РЭ-ИС-Ц-2;
- 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;
- установить калибратором или мерой ряд значений эталонного сопротивления, равномерно распределённым в указанном диапазоне измерений или соответствующих имитируемым значениям эталонных температур. Число поверяемых точек в диапазоне изменений должно быть не менее пяти с одним или тремя (в случае определения границ погрешности) циклами нагружения. Контрольные точки установки температуры определяются по НСХ, указанной в ГОСТ 6651-2009;
- на каждой ступени нагружения зарегистрировать измеренные значения сопротивления или температуры (в случае имитации);
- рассчитать основную приведённую погрешность в соответствии с п. 9.7.

8.3.5.2 Результаты поверки ИК считать положительными, если на всех поверяемых точках соблюдается условие, при котором $\gamma R_{ИК} \leq \gamma R_{доп}$ либо $\Delta t_{ИК} \leq \Delta t_{доп}$ (в случае имитации). При несоблюдении условий проводится исследование ИК ИС с целью определения причин несоответствия.

8.3.6 Определение МХ и погрешностей ИК температуры топлива, ИК температуры, измеренной термопреобразователями сопротивления терморезистивного типа 100П, 1000П

8.3.6.1 Поверку электронной части ИК выполняется в соответствии с процедурами, описанными в п. 8.3.7.

8.3.6.2 Поверка термопреобразователей сопротивления производится по ГОСТ 8.461-2009.

8.3.6.4 Суммарную погрешность ИК температуры, измеренной термопреобразователями сопротивления, включая погрешность электронной части ИК, термопреобразователей сопротивления рассчитать по формулам с (68) по (79).

8.3.6.5 Результаты поверки ИК считать положительными, если на всех поверяемых точках соблюдается условие, при котором $\gamma_{ик}^t \leq \gamma_{доп}^t$, либо $\Delta t_{ик} \leq \Delta t_{доп}$. При несоблюдении условий проводится исследование ИК ИС с целью определения причин несоответствия.

8.3.7 Определение МХ и погрешностей ИК объемного расхода жидкости

8.3.7.1 Поверку каждого ИК выполнить поэлементным способом в следующей последовательности:

- определение МХ и погрешностей электронной части ИК;
- определение МХ и погрешностей ПП объемного расхода жидкости;
- определение суммарной погрешности ИК.

8.3.7.1 Погрешности электронной части ИК выполнить в соответствии с процедурами, описанными в п. 8.3.11

В случае имитации объемного расхода выполнить следующие операции:

- установить при помощи генератора электрических сигналов типа ГЗ-122 ряд значений частоты, соответствующих по градуировочной характеристики ТПР ряду значений расхода равномерно распределённых в указанном диапазоне измерений. Число поверяемых точек в диапазоне изменений должно быть не менее пяти с одним или тремя (в случае определения границ погрешности) циклами нагружения;
- на каждой ступени нагружения зарегистрировать измеренные значения объемного расхода;
- рассчитать основную относительную погрешность и СКО в соответствии с п. 9.10.2.

8.3.7.2 При определении МХ и погрешностей ПП объемного расхода жидкости выполнить следующие операции:

- проверить комплектность ПП в соответствии с НД на ПП;
- настроить ТПУ на требуемый объемный расход с помощью дроссельного крана, установленного в выходном трубопроводе ТПУ, по частоте сигнала с ТПР, регистрируемого частотомером;
- установить последовательно ряд значений расхода через ТПУ равномерно распределённого между диапазоном измерения, с шагом не более 30 % от диапазона с количеством точек не менее пяти;
- измерить значения N и τ и занести их в протоколы поверки (приложение Б), где N – число импульсов выходной частоты ТПР, подсчитанное частотомером-хронометром за интервал времени τ , равный рабочему ходу поршня ТПУ;
- измерить и записать в протокол поверки значение температуры топлива t ;
- повторить вышеописанные операции ещё 4 раза, результаты записать в протокол поверки (Приложение Б.);
- рассчитать основную относительную погрешность и СКО в соответствии с п. 9.10.1.

8.3.7.3 Суммарную погрешности ИК объемного расхода жидкости определить по п. 9.10.3.

8.3.7.4 Результаты поверки ИК считать положительными, если на всех поверяемых точках соблюдается условие, при котором $\delta Q_{ик} \leq \delta Q_{доп}$. При несоблюдении условий проводится исследование ИК ИС с целью определения причин несоответствия.

8.3.8 Определение МХ и погрешностей ИК относительной влажности воздуха на входе в объект испытаний

8.3.8.1 Поверку каждого ИК выполнить поэлементным способом в следующей последовательности:

- определение МХ и погрешностей электронной части ИК;
- определение МХ и погрешностей ПП относительной влажности;
- определение суммарной погрешности ИК.

8.3.8.2 При определении МХ и погрешностей электронной части ИК выполнить следующие операции:

- отключить датчики влажности от входа в ИК;
- подключить на входы ИК источник эталонного напряжения или тока (в зависимости от типа АЦП) - компаратор КМ 300 КНТ или калибратор ИКСУ-260 в соответствии со схемой подключения (приложение А);
- включить питание ИС, загрузить рабочую программу в режиме поверки согласно руководству по эксплуатации РЭ-ИС-Ц-2;
- 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;
- установить калибратором ряд значений эталонного напряжения или тока, равномерно распределённым в указанном диапазоне измерений. Число поверяемых точек в диапазоне изменений должно быть не менее пяти с одним или тремя (в случае определения границ погрешности) циклами нагружения;
- на каждой ступени нагружения зарегистрировать измеренные значения напряжения или тока;
- рассчитать основную абсолютную погрешность в соответствии с п. 9.11.

8.3.8.3 При определении МХ и погрешностей ПП влажности выполнить следующие операции:

- проверить комплектность ПП в соответствии с НД на ПП;
- установить датчики влажности в камеру смешивания генератора влажного газа эталонного Родник-2М, согласно НД на Родник-2М;
- для приёма выходного сигнала подключить эталонный мультиметр 3458А или калибратор ИКСУ-260 к ПП;
- включить генератор влажного газа Родник-2М, ПП и эталонный мультиметр;
- с помощью эталонного генератора подать на входы датчиков ряд равномерно распределённых между диапазоном измерения эталонных значений, с шагом не более 30 % от диапазона с количеством точек не менее пяти. Выдерживать на каждой задаваемой точке не менее 30 минут;
- зарегистрировать показания мультиметра на каждой ступени измерения;
- рассчитать значение измеренной влажности на каждой ступени измерения по формулам (41), (42);
- рассчитать абсолютную погрешность измеренной влажности по формуле (43);

8.3.8.4 Суммарную погрешности ИК рассчитать по формулам с (61) по (72).

8.3.8.5 Результаты поверки ИК считать положительными, если на всех поверяемых точках соблюдается условие, при котором $\Delta\varphi_{ик} \leq \Delta\varphi_{доп}$. При несоблюдении условий проводится исследование ИК ИС с целью определения причин несоответствия.

8.3.9 Определение МХ и погрешностей ИК частоты электрического сигнала, соответствующей значениям частоты ТПР, ИК частоты электрического сигнала, соответствующей значениям частоты вращения роторов ГТД

8.3.9.1 Поверку ИК выполнить в следующей последовательности:

- отключить датчики частоты вращения и ТПР от входа в ИК;
- подключить на входы ИК источник эталонной частоты электрического сигнала – генератор сигналов низкочастотный ГЗ-122, в соответствии со схемой подключения (приложение А);
- включить питание ИС, загрузить рабочую программу в режиме поверки согласно руководству по эксплуатации РЭ-ИС-Ц-2;
- 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;
- установить генератором ряд значений эталонной частоты электрического сигнала, равномерно распределённой в указанном диапазоне измерений. Число поверяемых точек в диапазоне изменений должно быть не менее пяти с одним или тремя (в случае определения границ погрешности) циклами нагружения;
- на каждой ступени нагружения зарегистрировать измеренные значения частоты;
- рассчитать основную относительную погрешность и СКО в соответствии с п.

9.12.

8.3.9.2 Результаты поверки ИК считать положительными, если на всех поверяемых точках соблюдается условие, при котором $\delta F_{ик} \leq \delta F_{доп}$. При несоблюдении условий проводится исследование ИК ИС с целью определения причин несоответствия.

8.3.10 Определение МХ и погрешностей ИК параметров сферических частиц в потоке воздуха

8.3.10.1 Определение погрешности размеров сферических частиц

При испытании ИК 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 ± 1 мкм. Шарика поочередно помещаются в установку PDPA.

При помощи электромотора 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.

Обработку результатов измерений провести в соответствии с п.

8.3.10.2 Определение погрешности 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:

$$V_{Э1} = \frac{s}{\tau}, \quad (3)$$

где $s=50$ мм расстояние между фотодиодами; τ - 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.

Обработку результатов измерений провести в соответствии с п.

8.3.10.3 Определение погрешности 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.

$$d1=121 \text{ мкм и } d2=98 \text{ мкм}$$

Фактические эталонные диаметры шариков d измеряются с помощью микроскопа с погрешностью не более ± 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 $VF_{\text{э}} = (2 \cdot 10^{-6} \dots 4 \cdot 10^{-6}) \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$

$$f_{\text{э}} = \frac{6(VF)_{\text{э}} S_{\text{э}}}{\pi D_{\text{э}}^3}, \quad (4)$$

где $S_{\text{э}}$ – эффективная площадь сечения измерительного объема плоскостью, измеренная по п. 5.6.3;

$D_{\text{э}}$ – эталонное значение диаметра шарика, измеренное с погрешностью ± 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.

Обработку результатов измерений провести в соответствии с п. 9.13.

8.3.10.4 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, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ находятся в пределах $\pm 30,0$ % ВП, где ВП= $4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. При несоблюдении условий проводится исследование ИК ИС с целью определения причин несоответствия.

9 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

9.1 Расчёт характеристик погрешностей ИК силы от тяги двигателя

9.1.1 Определение порога реагирования

Порог реагирования ИК стенда при действии на ДМП, кгс, определяется по формуле

$$r = J \cdot q_{\text{ср}}, \quad (5)$$

где J – передаточное отношение ПУ;
 $q_{\text{ср}}$ – среднее арифметическое значение веса дополнительных гирь, наложенных на грузоприемный узел ПУ,

$$q_{\text{ср}} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 q_i, \quad (6)$$

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.

9.1.2 Определение коэффициента устойчивости

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

$$\bar{X} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 X_i, \quad (7)$$

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 Авиационным стандартом «Системы силоизмерительные испытательных стендов авиационных ГТД. Общие требования. ОСТ 1 02512 – 84».

9.1.3 Вычисление оценки случайной составляющей основной погрешности

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.

9.1.4 Вычисление оценки систематической составляющей основной погрешности

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

9.1.5 Вычисление оценки основной погрешности

Расчет основной погрешности $\tilde{\Delta}_{\text{ок}}$ выполняют по ОСТ 1 02517-84

9.2 Расчёт характеристик погрешностей ИК абсолютного, избыточного, разности давления газообразных и жидких сред

9.2.1 Основную приведённую погрешность в процентах ДИ для электронной части ИК вычисляют по формулам

$$\gamma_{jd} = \frac{I_j - I_{эм}}{I_{max} - I_0} \cdot 100, \quad (8)$$

$$\gamma_{jd} = \frac{U_j - U_{эм}}{U_{max} - U_0} \cdot 100, \quad (9)$$

где I_j – действительное значение выходного сигнала в j -ой точке, мА;

$I_{эм}$ – эталонное значение выходного сигнала, мА;

I_{max}, I_0 – верхний и нижний пределы измеряемого выходного сигнала, мА;

U_j – действительное значение выходного сигнала в j -ой точке, мВ;

$U_{эм}$ – эталонное значение выходного сигнала, мВ;

U_{max}, U_0 – верхний и нижний пределы измеряемого выходного сигнала, мВ.

9.2.2 Основную приведённую погрешность в процентах ВП НЗ при комплектной проверке ИК вычисляют по формулам:

- при использовании ПП давления - разряжения

$$\gamma_{jd} = \frac{P_j - P_{эм}}{P_{изб. max} - P_{раз. max}} \cdot 100 \quad (10)$$

- для остальных ПП

$$\gamma_{jd} = \frac{P_j - P_{эм}}{P_{max}} \cdot 100 \quad (11)$$

где P_j – действительное значение давления в j -ой точке, (кПа, МПа);

$P_{эм}$ – значение давления, задаваемого эталоном, (кПа, МПа);

$P_{изб. max}, P_{раз. max}$ – верхний предел измерения избыточного и разницы давления;

P_{max} – верхний предел измерения давления.

9.2.3 Основную относительную погрешность в процентах ИЗ для электронной части ИК вычисляют по формулам

$$\delta_{jd} = \frac{I_j - I_{эм}}{I_{эм}} \cdot 100, \quad (12)$$

$$\delta_{jd} = \frac{U_j - U_{эм}}{U_{эм}} \cdot 100 \quad (13)$$

9.2.5 Определение вариации

Вариацию показаний в процентах ДИ для электронной части ИК вычисляют по формулам

$$\gamma_v = \frac{I'_j - I_j}{I_{\max} - I_0} \cdot 100 \quad (14)$$

или

$$\gamma_v = \frac{U'_j - U_j}{U_{\max} - U_0} \cdot 100 \quad (15)$$

где I_j, I'_j – действительные значения выходного сигнала на одной и той же точке при измерении на выходе тока соответственно при прямом и обратном ходе, мА;

U_j, U'_j – действительные значения выходного сигнала на одной и той же точке при измерении на выходе напряжения, соответственно при прямом и обратном ходе, мВ;

$$\gamma_v = \frac{P'_d - P_d}{P_{\max}} \cdot 100 \quad (16)$$

где P_d и P'_d – действительные значения измеряемого параметра на одной и той же точке соответственно при прямом и обратном ходе, (кПа, МПа).

9.3 Расчёт характеристик погрешностей ИК напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температур газообразных и жидких сред в диапазоне преобразований ПП термоэлектрического типа

Расчёт характеристик погрешностей ИК, в случае расчёта пределов вычисляется по ГОСТ 8.736, при расчёте экспериментальных значений погрешности, выраженных знаком по формулам (9), (13) и (17).

9.4 Расчёт характеристик погрешностей ИК температуры, измеренной термоэлектрическими преобразователями типа ТХА (К), ТХК (L)

9.4.1 Расчёт характеристик погрешностей ПП производится по ГОСТ 8.338-2002.

9.4.2 Расчёт характеристик погрешностей электронной части ИК, в случае расчёта пределов вычисляется по ГОСТ 8.736, при расчёте экспериментальных значений погрешности, выраженных знаком по формулам (9) и (13).

9.4.3 При пересчёте в градусы Цельсия погрешности измерения электронной части ИК используется следующая формула

$$\Delta E = \Delta t \cdot \frac{dE}{dt}, \quad (17)$$

где ΔE - предел допускаемых отклонений ТЭДС термопар;

Δt - предел допускаемых отклонений ТЭДС термопар от НСХ, °С;

$\frac{dE}{dt}$ - чувствительность термопары, рассчитанная для измеренного значения

температуры, мВ·°С⁻¹.

9.4.4 Расчёт суммарной погрешности ИК вычисляется по формулам с (61) по (72).

9.5 Расчёт характеристик погрешностей ИК температуры топлива

9.5.1 Расчёт характеристик погрешностей ПП производится по ГОСТ 8.461-2009.

9.5.2 Расчёт характеристик погрешностей электронной части ИК, в случае расчёта пределов вычисляется по ГОСТ 8.736, при расчёте экспериментальных значений погрешности, выраженных знаком по формулам (9) и (13).

9.5.3 Расчёт суммарной погрешности ИК вычисляется по формулам с (61) по (72).

9.6 Расчёт характеристик погрешностей ИК сопротивления постоянному току, соответствующего значениям температур газообразных и жидких сред

Расчёт характеристик погрешностей ИК, в случае расчёта пределов вычисляется по ГОСТ 8.736, при расчёте экспериментальных значений погрешности, выраженных знаком по формуле

$$\gamma_{jd} = \frac{R_j - R_{эм}}{R_{max} - R_0} \cdot 100, \quad (18)$$

где R_j – действительное значение выходного сигнала в j -ой точке, Ом;

$R_{эм}$ – эталонное значение выходного сигнала, Ом;

R_{max}, R_0 – верхний и нижний пределы измеряемого выходного сигнала, Ом;

9.7 Расчёт характеристик погрешностей ИК температуры, измеренной термопреобразователями сопротивления терморезистивного типа 100П, 1000П

9.7.1 Расчёт характеристик погрешностей ПП производится по ГОСТ 8.461-2009.

9.7.2 Расчёт характеристик погрешностей электронной части ИК, в случае расчёта пределов вычисляется по ГОСТ 8.736, при расчёте экспериментальных значений погрешности, выраженных знаком по формуле (18).

9.8 Расчёт характеристик погрешностей ИК объемного расхода жидкости

9.8.1 Обработка результатов поверки ТПР.

Объёмный расход топлива, воспроизводимый ТПУ, рассчитывается по формуле

$$Q_{(ТПУ)k,i} = \frac{V}{\tau_{k,i}}, \quad (19)$$

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.

Средний измеренный объёмный расход топлива рассчитывается по формуле

$$\bar{Q}_{(ТПУ)k} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n Q_{(ТПУ)k,i} \quad (20)$$

Частота выходного сигнала ТПР при i -ом измерении на k -й ступени расхода рассчитывается по формуле

$$F_{k,i} = \frac{N_{k,i}}{\tau_{k,i}}, \quad (21)$$

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

Объёмный расход, измеренный ТПР рассчитывается по формуле:

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

$$Q_{(ТПР)k,i} = a_0 + a_1 \cdot F_{k,i} + a_2 \cdot F_{k,i}^2 + a_3 \cdot F_{k,i}^3 \quad (22)$$

где a_0, a_1, a_2, a_3 – коэффициенты полинома третьей степени.

- при аппроксимации градуировочной зависимости ТПР линейным уравнением с графиком поправок

$$Q_{(ТПР)k,i} = B_{cp} \cdot F_{k,i} + \Delta Q_{k,i}(B_{cp} \cdot F_{k,i}) \quad (23)$$

$$\Delta Q_{k,i}(B_{cp} \cdot F_{k,i}) = b_0 + b_1 \cdot Q_{(ТПР)k,i} + b_2 \cdot Q_{(ТПР)k,i}^2 + b_3 \cdot Q_{(ТПР)k,i}^3 \quad (26)$$

где b_0, b_1, b_2, b_3 – коэффициенты полинома третьей степени.

Средний объёмный расход, измеренный ТПР на k -й ступени рассчитывается по формуле

$$\bar{Q}_{(ТПР)k} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n Q_{(ТПР)k,i} \quad (24)$$

Относительная систематическая погрешность измерения объёмного расхода ТПР на k -й ступени расхода рассчитывается по формуле

$$\delta Q_{(ТПР)k} = \frac{\bar{Q}_{(ТПР)k} - \bar{Q}_{(ТПУ)k}}{\bar{Q}_{(ТПУ)k}} \cdot 100 \quad (25)$$

Относительная систематическая погрешность измерения объёмного расхода ТПР во всём диапазоне рассчитывается по формуле

$$\theta Q_{ТПР} = \max(\delta Q_{(ТПР)k}) \quad (26)$$

СКО случайной составляющей погрешности измерения объёмного расхода ТПР на k-й ступени расхода рассчитывается по формуле

$$\sigma_{(ТПР)k} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (Q_{(ТПР)k,i} - \bar{Q}_{(ТПР)k})^2} \quad (27)$$

Относительное СКО случайной составляющей погрешности измерения объёмного расхода ТПР на k-й ступени расхода рассчитывается по формуле

$$S_{(ТПР)k} = \frac{\sigma_{(ТПР)k}}{Q_{(ТПР)k}} \cdot 100 \quad (28)$$

Относительное СКО случайной составляющей погрешности измерения объёмного расхода ТПР во всём диапазоне рассчитывается по формуле

$$S_{(ТПР)} = \max(S_{(ТПР)k}) \quad (29)$$

9.8.2 Обработка результатов исследований электронной части ИК

Среднее значение измеренного имитируемого расхода на k-й ступени нагружения

$$\bar{Q}_{(эл.ч.ик)k} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{k,i}}{n} \quad (30)$$

Относительная систематическая составляющая погрешности измерения имитируемого расхода на k-й ступени нагружения рассчитывается по формуле

$$\delta Q_{(эл.ч.ик)k} = \frac{\bar{Q}_{(эл.ч.ик)k} - Q_{(эм)k}}{Q_{(эм)k}} \cdot 100 \quad (31)$$

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

Максимальная относительная систематическая составляющая погрешности измерения имитируемого расхода во всём диапазоне рассчитывается по формуле

$$\theta Q_{эл.ч.ик} = \max(\delta Q_{(эл.ч.ик)k}) \quad (32)$$

СКО случайной составляющей погрешности измеренного имитируемого расхода на k-й ступени нагружения рассчитывается по формуле

$$\sigma_{(эл.ч.ик)k} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (Q_{k,i} - \bar{Q}_{(эл.ч.ик)k})^2} \quad (33)$$

Оценка относительного значения СКО случайной составляющей погрешности измеренного имитируемого расхода на k-й ступени нагружения рассчитывается по формуле

$$S_{(\text{эл.ч.ук})k} = \frac{\sigma_{(\text{эл.ч.ук})k}}{Q_{(\text{эт})k}} \cdot 100 \quad (34)$$

Максимальная относительная СКО случайной составляющей погрешности измеренного имитируемого расхода во всём диапазоне рассчитывается по формуле

$$S_{(\text{эл.ч.ук})} = \max(S_{(\text{эл.ч.ук})k}) \quad (35)$$

9.8.3 Расчёт суммарной погрешности ИК

Доверительные границы суммарной погрешности измерения объемного расхода.

$$\delta Q = K [\theta(Q) + \varepsilon(Q)] \quad (36)$$

где $\theta(Q)$ - доверительные границы систематической погрешности результата измерения объемного расхода;

$\varepsilon(Q)$ - доверительные границы относительной случайной составляющей погрешности результата измерения объемного расхода.

Значения K для $P=0,95$ представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Значения K для $P=0,95$

$\left(\frac{\theta(Q)}{S(Q)}\right)$	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

Доверительные границы неисклѐченной систематической погрешности результата измерения объемного расхода рассчитываются по формулам

$$\theta(Q) = k \sqrt{\theta_{\text{нест}}^2(Q) + \theta_r^2(Q) + \theta_{\text{эт.уст}}^2(Q) + \theta_{\text{апр}}^2(Q) + \theta_{\text{пер}}^2 + \theta^2(F)}, \quad (37)$$

$$\theta(Q) = k \sqrt{\theta_{\text{нест}}^2(Q) + \theta_r^2(Q) + \theta_{\text{эт.уст}}^2(Q) + \theta_{\text{апр}}^2(Q) + \theta_{\text{пер}}^2 + \theta^2(F)}, \quad (38)$$

где $\theta_{\text{изм}}(Q)$ - доверительные границы относительной неисклѐченной систематической погрешности измерения объемного расхода.

$\theta(F)$ - доверительные границы относительной неисклѐченной систематической погрешности измерения частоты выходного сигнала ТПР;

$\theta_{\text{нест}}(Q) = \pm (0,15 \dots 0,3) \%$ ИЗ – погрешность из-за нестабильности характеристики (в зависимости от типа ТПР);

$\theta_r(Q) = \pm 0,0003 \%$ ИЗ – погрешность определения времени;

$\theta_{\text{эт.уст}}(Q) = \pm 0,12 \%$ ИЗ – погрешность эталонной трубопоршневой установки;

$\theta_{\text{апр}}(Q) = \pm 0,1 \%$ ИЗ - погрешность аппроксимации;

$\theta_{пер} = \pm 0,9 \%$ ИЗ – погрешность перехода характеристики с керосина на воду (применяется для ИК расхода воды).

Примечание – если систематическая погрешность частоты выходного сигнала выражена границами, то расчёт производится по формулам с (61) по (63), если знаком по формулам с (64) по (72). По такому же принципу сложения погрешностей необходимо руководствоваться и с другими составляющими НСП.

Доверительные границы относительной случайной составляющей погрешности результата измерения объемного расхода.

$$\varepsilon(Q) = t\alpha \cdot S(Q), \quad (39)$$

где $t\alpha = 2,776$ для $n = 5$ и $P = 0,95$;

$S(Q)$ - оценка относительного значения среднего квадратического отклонения результата измерения объемного расхода

$$S(Q) = \sqrt{S_{ТПР}^2(Q) + S^2(F)}, \quad (40)$$

где $S_{ТПР}(Q)$ - оценка относительного значения среднего квадратического отклонения результата измерения ТПР.

$S(F)$ - оценка относительного значения среднего квадратического отклонения результата измерения частоты ТПР.

При расчёте доверительных границ суммарной погрешности измерения объемного расхода должны соблюдаться следующие условия:

- если $\left(\frac{\theta(Q)}{S(Q)}\right) > 8$, то $\delta Q = \theta(Q)$;
- если $\left(\frac{\theta(Q)}{S(Q)}\right) < 0,8$, то $\delta Q = \varepsilon(Q)$;
- если $0,8 < \left(\frac{\theta(Q)}{S(Q)}\right) < 8$, то погрешность рассчитывают по формуле (36);

9.9 Расчёт характеристик погрешностей ИК относительной влажности воздуха на входе в объект испытаний

9.9.1 Определение систематической погрешности электронной части ИК

Систематическая погрешность электронной части ИК рассчитывается по формулам (8), (9) и (16) в зависимости от выходного сигнала датчика.

9.9.2 Определение систематической погрешности ПП ИК

Измеренные значения влажности и температуры точки росы определяются по формулам

$$\varphi_{изм} = \frac{(\varphi_{max} - \varphi_0) \cdot (I_j - I_0)}{I_{max} - I_0}, \quad (41)$$

$$\varphi_{изм} = \frac{(\varphi_{max} - \varphi_0) \cdot (U_j - U_0)}{U_{max} - U_0}, \quad (42)$$

где φ_{max}, φ_0 - верхний и нижний пределы измеряемого значения влажности.

Систематическая погрешность датчика влажности и температуры точки росы рассчитываются по формулам

$$\Delta\varphi = \max |\varphi_{изм} - \varphi_{эт}|, \quad (43)$$

где $\varphi_{изм}, \varphi_{эт}$ - значения измеренной и эталонной влажности.

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

9.9.3 Определение суммарной погрешности ИК

Суммарная погрешность ИК рассчитывается по формулам с (61) по (72).

9.10 Расчёт характеристик погрешностей ИК частоты электрического сигнала

На каждой ступени нагружения определяется среднее арифметическое значение измеренной частоты по формуле

$$\bar{F}_k = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n F_{k,i}, \quad (44)$$

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

Относительная систематическая погрешность ИК рассчитывается по формуле

$$\delta F_k = \frac{\bar{F}_{изм,k} - F_{эт,k}}{F_{эт,k}} \quad (45)$$

где $F_{эт,k}$ - эталонная частота на k-й ступени нагружения.

Среднее квадратическое отклонение результата измерения случайной составляющей погрешности рассчитывается по формуле

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (F_{k,i} - \bar{F}_{изм,k})^2} \quad (46)$$

Суммарная погрешность рассчитывается по формулам с (61) по (72).

9.11 Расчёт характеристик погрешностей ИК параметров сферических частиц в потоке воздуха

9.11.1 Определение погрешности ИК размеров сферических частиц.

Для каждого размера шарика рассчитывается абсолютная погрешность измерений по формуле

$$\Delta_k = \left| d_{e_k} - \frac{\sum_{j=1}^n d_{kj} N_{kj}}{N} \right|, \quad (47)$$

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 рассчитывается по формуле

$$\Delta_c = \max(\Delta_k) \quad (48)$$

Приведенная систематическая погрешность рассчитывается по формуле

$$\Delta_c = \Delta_s / d_{\max}, \quad (49)$$

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

СКО результатов измерений диаметров рассчитывается по формуле

$$\sigma_k = \sqrt{\sum_{j=1}^n \frac{(d_{kj} - \bar{d}_k)^2 N_{kj}}{N-1}}, \quad (50)$$

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

Абсолютная случайная погрешность измерения диаметров сферических частиц рассчитывается по формуле

$$\Delta_r = t \cdot \sigma, \quad (51)$$

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

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

$$\Delta_\Sigma = K \cdot S_\Sigma, \quad (52)$$

где

$$S_\Sigma = \sqrt{\frac{\Delta_c^2}{3} + \sigma^2} \quad (53)$$

$$K = \frac{t \cdot \sigma + \Delta_c}{\sigma + \sqrt{\frac{\Delta_c^2}{3}}} \quad (54)$$

9.11.2 Определение погрешности ИК скорости сферических частиц.

Абсолютная систематическая погрешность измерения скорости шарика рассчитывается по формуле

$$\Delta_{sk} = |V_k - V_{ek}|, \quad (55)$$

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, ..., 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 рассчитывается по формуле

$$\delta_{sk} = \Delta_k / V_{\max} \quad (56)$$

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

Случайная погрешность измерения k-й скорости шариков рассчитывается по формуле

$$\delta_{rk} = t \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (V_{ki} - V_k)^2}{N-1}} \quad (57)$$

Случайная погрешность измерений скорости шариков рассчитывается по формуле

$$\delta_r = \max(\delta_{rk}) \quad (58)$$

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

9.11.3 Определение погрешности ИК удельного объемного расхода сферических частиц.

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

$$\delta_{VF_S} = \max \frac{|VF_{\text{изм.}} - VF_{\text{эт.}}|}{VF_{\text{эт.}}} \cdot 100, \quad (59)$$

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

$VF_{\text{эт.}} = \frac{\pi D_{\text{эт.}}^3}{6S} \times f_{\text{эт.}}$ – 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).

Случайная погрешность измерения удельного объемного расхода сферических частиц в потоке VF рассчитывается по формуле

$$\delta_{VF_r} = t \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (VF_{изм\ i} - VF_{изм})^2}{N-1}}, \quad (60)$$

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

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

9.12 Расчёт суммарных погрешностей ИК

9.12.1 Суммарные погрешности ИК, выраженные пределами, определяются по формулам:

- при числе составляющих $m \geq 3$

$$\Delta_{ИК} = \pm K_{P,m} \sqrt{\sum_{j=1}^m \Delta_j^2}, \quad (61)$$

$$\gamma_{ИК} = \pm K_{P,m} \sqrt{\sum_{j=1}^m \gamma_j^2}, \quad (62)$$

$$\delta_{ИК} = \pm K_{P,m} \sqrt{\sum_{j=1}^m \delta_j^2}, \quad (63)$$

- при числе составляющих $m < 3$

$$\Delta_{ИК} = \pm \sum_{j=1}^m |\Delta_j|, \quad (64)$$

$$\gamma_{ИК} = \pm \sum_{j=1}^m |\gamma_j|, \quad (65)$$

$$\delta_{ИК} = \pm \sum_{j=1}^m |\delta_j| \quad (66)$$

где $K_{P,m}$ - коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью.

Для нормальных законов распределения погрешностей $K = 1$. Для равномерных, а также если закон распределения неизвестен $K = 1,1$ при доверительной вероятности $P = 0,95$.

9.12.2 Суммарные погрешности ИК, выраженные действительными экспериментально определяемыми погрешностями компонентов ИК, определяются по формулам

$$\Delta_{ИК} = \left| \sum_{j=1}^m \Delta_j \right|, \quad (67)$$

$$\gamma_{ИК} = \left| \sum_{j=1}^m \gamma_j \right|, \quad (68)$$

$$\delta_{ИК} = \left| \sum_{j=1}^m \delta_j \right| \quad (69)$$

9.12.3 Суммарные погрешности ИК, часть компонентов которых выражены действительными экспериментально определяемыми погрешностями, а часть пределами погрешностей, определяются по формулам

$$\Delta_{ИК} = \pm \left(K_{P,m} \sqrt{\sum_{j=1}^m \Delta_j^2} + \left(\left| \sum_{j=1}^m \Delta_j \right| \right) \right), \quad (70)$$

$$\gamma_{ИК} = \pm \left(K_{P,m} \sqrt{\sum_{j=1}^m \gamma_j^2} + \left(\left| \sum_{j=1}^m \gamma_j \right| \right) \right), \quad (71)$$

$$\delta_{ИК} = \pm \left(K_{P,m} \sqrt{\sum_{j=1}^m \delta_j^2} + \left(\left| \sum_{j=1}^m \delta_j \right| \right) \right) \quad (72)$$

10 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

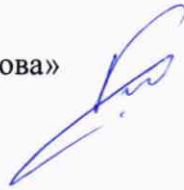
10.1 При положительных результатах поверки системы измерений «ИС-Ц-2» оформляются свидетельство о поверке в соответствии с Приложением В.

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

10.3 После устранения причин повышенной погрешности систем «ИС-Ц-2» проводится повторная поверка в соответствии с требованиями настоящей методики.

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

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



Б.И. Минеев

Приложение А – Схемы поверки ИК



Схема 1 - Поверка ИК силы от тяги двигателя.

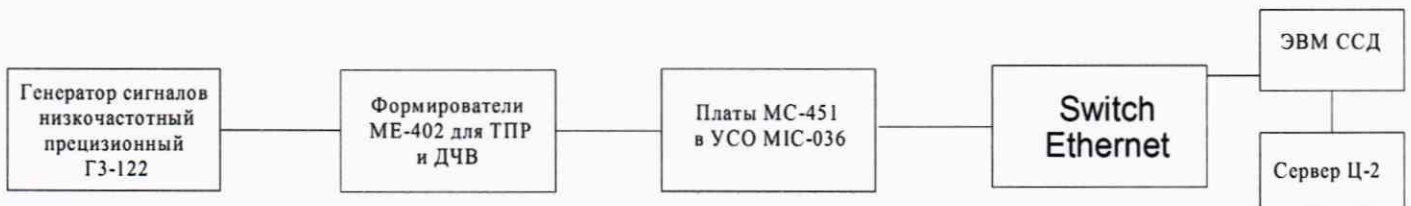


Схема 2 – Поверка ИК объёмного расхода жидкости; ИК частоты электрического сигнала, соответствующая значениям частоты ТПР; ИК частоты электрического сигнала, соответствующей значениям частоты вращения роторов ГТД.

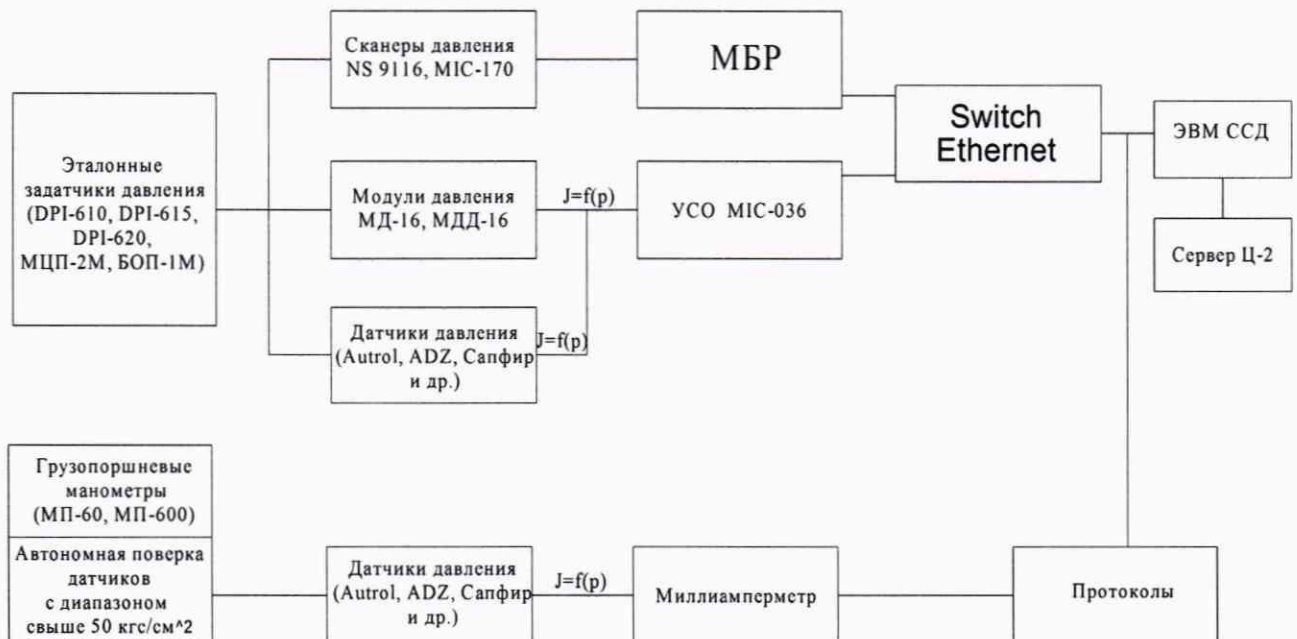


Схема 3 – Поверка ИК абсолютного, избыточного, разности давления газообразных и жидких сред.



Схема 4 – Поверка ИК напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температур газообразных и жидких сред в диапазоне преобразований ПП термоэлектрического типа; ИК сопротивления постоянному току, соответствующего значениям температур газообразных и жидких сред в диапазоне преобразований ПП терморезистивного типа.

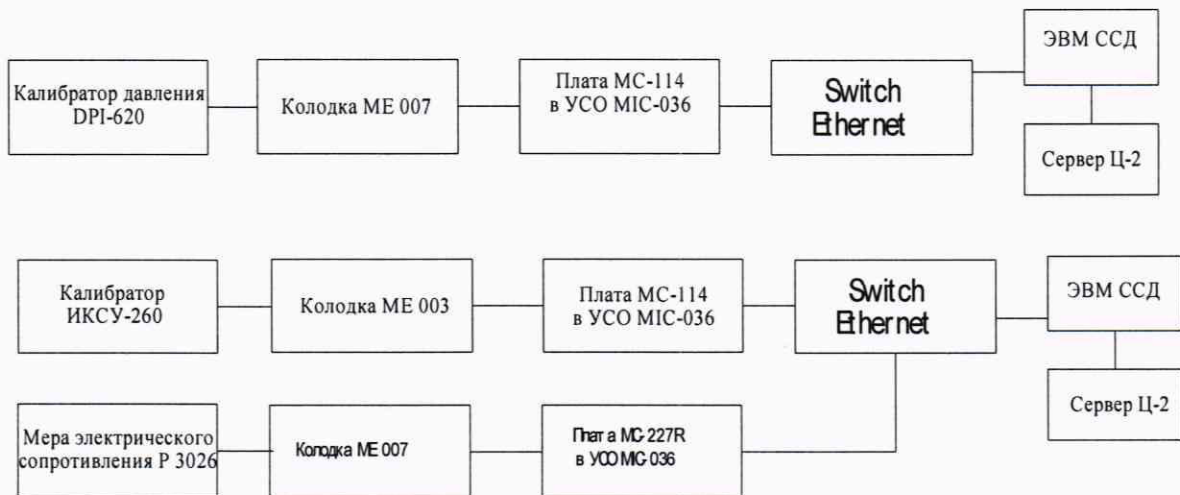


Схема 5 – Поверка ИК относительной влажности воздуха на входе в объект испытаний

Приложение Б – Форма протокола поверки ИК ИС

Указывается наименование юридического лица, адрес и номер в реестре аккредитованных лиц.

Протокол поверки № _____

от _____

1 Сведения о поверяемом средстве измерений

Наименование, тип поверяемого средства измерений	
Заводской номер	
Номер в Госреестре	
Основные метрологические характеристики (диапазон, погрешность)	
Методика поверки	
Принадлежит (отделение, ФИО владельца или наименование и адрес заказчика)	
Место проведения поверки	140080, Московская обл., г. Лыткарино, промзона Тураево, стр. 7

2 Средства поверки (эталоны и вспомогательное оборудование)

Эталоны: _____

Вспомогательное оборудование: _____

3 Условия проведения поверки

Температура, °С	
Влажность, %	
Давление, кПа	

4 Результаты поверки

4.1 Внешний осмотр и опробование

Внешний осмотр	
Опробование	

4.2 Определение метрологических характеристик и обработка результатов измерений

4.2.1 ИК силы от тяги двигателя

Определение порога реагирования ИК силы от тяги двигателя:

Определение коэффициента устойчивости ИК силы от тяги двигателя:

Таблица 1 - Результаты определения МХ и погрешности ИК

№ к.т.	Эталонное значение, R	Случайная составляющая погрешности	Систематическая составляющая погрешности	Основная погрешность	Относительная погрешность, δx	Приведённая погрешность, γx
	кгс	кгс	Кгс	кгс	%	%
1						
2						
3						

4.2.2 ИК абсолютного, избыточного, разности давления газообразных и жидких сред

Таблица 1 – Результаты определения МХ и погрешности ИК

Эталонное значение давления, кПа	Расчётное значение выходного сигнала	Показание мультиметра (калибратора)		Абсолютная погрешность		Вариация
		Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход	
Максимальное значение приведённой погрешности						%
Максимальное значение приведённой вариации						%

Таблица 2 – Сводная таблица определения МХ и погрешностей ИК

№ ИК	Тип ПП	Диапазон измерений, кПа	Погрешность, % ДИ	Предел допускаемой погрешности

Примечание – допускается использование только сводной таблицы определения МХ и погрешностей ИК.

4.2.3 ИК напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температур газообразных и жидких сред в диапазоне преобразований ПП термоэлектрического типа

Таблица 3 – Результаты определения МХ и погрешности ИК

№ ИК	Эталонное значение, мВ	Измеренное значение, мВ (°С – при имитации температуры)	Погрешность, % ДИ	Предел допускаемой приведённой погрешности, % ДИ

Таблица 4 – Сводная таблица определения МХ и погрешностей ИК

№ ИК	Диапазон измерений, мВ	Погрешность, % ДИ	Предел допускаемой приведённой погрешности, % ДИ

Примечание – допускается использование только сводной таблицы определения МХ и погрешностей ИК.

4.2.4 ИК температуры, измеренной термоэлектрическими преобразователями типа ТХА (К), ТХК (L)

Таблица 5 – МХ и погрешность электронной части ИК для используемых шкал ПП

№ ИК	Тип ПП	Диапазон измерений, °С	Погрешность электронной части ИК	Суммарная погрешность ИК	Предел допускаемой погрешности

4.2.5 ИК температуры топлива

Таблица 6 - МХ и погрешность электронной части ИК для используемой шкалы ПП

№ КТ	Эталонное значение, Ом	Измеренное значение, Ом	Погрешность электронной части ИК, Ом	Погрешность электронной части ИК, °С
1				
2				
3				
4				
5				

Таблица 7 – суммарные погрешности ИК с учётом ПП

№ КТ	Погрешность электронной части ИК, °С	Погрешность ПП, °С	Суммарная погрешность ИК	Предел допускаемой погрешности

4.2.6 ИК сопротивления постоянному току, соответствующего значениям температур газообразных и жидких сред в диапазоне преобразований ПП терморезистивного типа

Таблица 8 – Результаты определения МХ и погрешности ИК

№ ИК	Эталонное значение, Ом	Измеренное значение, Ом (°С – при имитации температуры)	Погрешность, % ДИ	Предел допускаемой приведённой погрешности, % ДИ

Таблица 9 – Сводная таблица определения МХ и погрешностей ИК

№ ИК	Диапазон измерений, Ом	Погрешность, % ДИ	Предел допускаемой приведённой погрешности, % ДИ

Примечание – допускается использование только сводной таблицы определения МХ и погрешностей ИК.

4.2.7 ИК температуры, измеренной термопреобразователями сопротивления терморезистивного типа 100П, 1000П

Таблица 10 – МХ и погрешность электронной части ИК для используемых шкал ПП

№ ИК	Тип ПП	Диапазон измерений, Ом	Диапазон измерений, °С	Погрешность электронной части ИК

Таблица 11 – суммарные погрешности ИК с учётом ПП

№ ИК	Погрешность электронной части ИК	Погрешность ПП	Суммарная погрешность ИК	Предел допускаемой погрешности

4.2.8 ИК объёмного расхода жидкости

Таблица 12 - математическая обработка результатов градуировки турбинного преобразователя расхода.....

F, Гц	Q ^o , л/ч	V, л/ч/Гц	Q _p , л/ч	ΔQ, л/ч	S, %	δ _{pol} , %

В таблице обозначено:

- F = N/t - среднее значение частоты на i-том режиме;

- $Q^0 = V \cdot 3600/t$ - среднее значение действительного расхода топлива, задаваемого ТПУ на i -том режиме измерения;
- $B = Q^0/F$ – линейный коэффициент;
- $\Delta Q = Q^0 - Q_p$ - поправка на нелинейность, определяемая по графику поправок на нелинейность;
- S - СКО случайной составляющей погрешности;
- δ_{pol} - погрешность аппроксимации градуировочной характеристики.

Таблица 13 – Результаты определения МХ и погрешности электронной части ИК

№ ИК	Систематическая погрешность, % ИЗ	Случайная погрешность, % ИЗ

Таблица 14 – Суммарные погрешности результата измерений

Систематическая составляющая погрешности результата измерений $\theta(Q)$, % от ИЗ	СКО случайной составляющей погрешности результата измерений $S(Q)$, % от ИЗ	Случайная составляющая погрешности результата измерений $\varepsilon(Q)$, % от ИЗ	Суммарная погрешность измерения объёмного расхода δG , % от ИЗ	Прелел допускаемой погрешности объёмного расхода δG , % от ИЗ
0,239	0,046	0,139	0,284	

4.2.9 ИК относительной влажности воздуха на входе в объект испытаний

Таблица 15 - МХ и погрешность электронной части ИК

№ КТ	Эталонное значение, В	Измеренное значение, В	Систематическая абсолютная погрешность, Дик, В	Систематическая абсолютная погрешность, $\Delta\Phi_{ик}$, %
1				
2				
3				
4				
5				

Таблица 16 - МХ и погрешность ПП

№ КТ	Эталонное значение влажности, %	Измеренное значение, В	Измеренное значение влажности, %	Систематическая абсолютная погрешность, $\Delta\Phi_{пп}$, %
1				
2				
3				
4				
5				

Таблица 17 – суммарная погрешность ИК с учётом ПП

№ КТ	Суммарная абсолютная погрешность, Δ Фик, %	Допускаемая абсолютная погрешность, Δ Фик, %
1		
2		
3		
4		
5		

4.2.10 ИК частоты электрического сигнала, соответствующая значениям частоты ТПР

Таблица 18 – МХ и погрешности ИК

Эталонное значение частоты $F_{эт}$, Гц	№КТ	Абсолютная погрешность, Δ Фик, Гц	СКО случайной составляющей погрешности, % ИЗ	Систематическая составляющая погрешности δ Фик, % ИЗ	Суммарная относительная погрешность δ $F_{сум}$, % ИЗ
Канал № МС 451_500_1					
50,0000					
100,0000					
150,0000					
200,0000					
250,0000					
300,0000					
350,0000					
400,0000					
450,0000					
500,0000					

4.2.11 ИК частоты электрического сигнала, соответствующей значениям частоты вращения роторов ГТД

Таблица 19 – МХ и погрешности ИК

Эталонное значение частоты $F_{эт}$, Гц	№КТ	Абсолютная погрешность, Δ Фик, Гц	СКО случайной составляющей погрешности, % ИЗ	Систематическая составляющая погрешности δ Фик, % ИЗ	Суммарная относительная погрешность δ $F_{сум}$, % ИЗ
Канал № МС 451_500_1					
1500					
4200					
6900					
9600					
12300					
15000					

4.2.12 ИК параметров сферических частиц в потоке воздуха

Таблица 20 - ИК размеров сферических частиц в потоке воздуха

№ КТ	Диаметр шарика, D10 (PDPA) (47 мкм)	Диаметр шарика, D10 (PDPA) (85 мкм)	Диаметр шарика, D10 (PDPA) (107 мкм)	Диаметр шарика, D10 (PDPA) (127 мкм)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
<D10> PDPA (мкм)				

Таблица 21 – Результаты расчетов ИК размеров сферических частиц в потоке воздуха

Номер замера шарика, k	Систематическая погрешность Δk , мкм	Случайная погрешность σk , мкм	Суммарная погрешность, $\Delta_{\text{сум}}$, мкм	Суммарная приведённая погрешность, $\gamma_{\text{сум}}$, %
1				
2				
3				
4				

Таблица 22 - ИК скорости сферических частиц в потоке воздуха

№ КТ	U(м/с) PDPA (52 м/с)	U(м/с) PDPA (95 м/с)	U(м/с) PDPA (149 м/с)	U(м/с) PDPA (184 м/с)	U(м/с) PDPA (205 м/с)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
<U>(м/с) PDPA					

Таблица 23 – Результаты расчетов ИК скорости сферических частиц в потоке воздуха

Номер замера, k	Систематическая погрешность Δk , м/с	Случайная погрешность σk , м/с	Суммарная погрешность, $\Delta_{\text{сум}}$, м/с	Суммарная приведённая погрешность, $\gamma V_{\text{сум}}$, %
1				
2				
3				
4				
5				

Таблица 24 - ИК удельного объёма сферических частиц в потоке воздуха

№ КТ	Измеренное значение, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	Эталонное значение, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	Приведённая погрешность, γVF , %
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

5 Заключение

На основании результатов первичной (периодической) поверки признано пригодным (непригодным) к применению.

Поверитель

подпись

Инициалы, фамилия

Начальник лаборатории (группы поверки)

подпись

Инициалы, фамилия

Приложение В – Форма свидетельства о поверке ИС

Указывается наименование юридического лица, адрес и номер в реестре аккредитованных лиц.

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ №

Действительно до:
«__» _____ Г.

Средство измерений _____

(наименование, тип, модификация средства измерения,

Регистрационный № _____

регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений)

заводской (серийный) номер _____

в составе _____

номер знака предыдущей поверки _____

поверено - _____

наименование единиц величин, диапазонов, на которых поверено средство измерений

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 пригодным к применению.

Знак поверки _____

Должность руководителя подразделения

Подпись

Инициалы, фамилия

Поверитель _____

Подпись

Инициалы, фамилия

Дата поверки _____

«__» _____ Г.

Приложение В – Обратная сторона свидетельства о поверке ИС

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ

Указываются МХ системы и используемые эталоны и условия поверки.

Приложение Г – Форма извещения о непригодности

Указывается наименование юридического лица, адрес и номер в реестре аккредитованных лиц.

**ИЗВЕЩЕНИЕ
о непригодности к применению
№**

Средство измерений _____

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

отсутствуют _____

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

заводской номер _____

поверено в соответствии с _____

наименование документа, на основании которого выполнена поверка

и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано непригодным к применению.

Причины непригодности _____

Должность руководителя подразделения

М.П.

Подпись

Инициалы, фамилия

Поверитель

Подпись

Инициалы, фамилия

Дата поверки

«__» _____ 20__ г.