



СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ООО «АВЛ»

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


_____ Й. Майер

_____ август 2020 г.


_____ В.Г. Марков

_____ « 12 » 08 2020 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

СИСТЕМА ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ «ИС-ДВС 002»

Методика поверки

МП ИС-ДВС 002

2020 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.....	3
ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	4
1 СПОСОБЫ ПОВЕРКИ И НОРМИРОВАНИЯ МХ	5
2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ	6
3 СРЕДСТВА ПОВЕРКИ.....	7
4 ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ПОВЕРИТЕЛЕЙ	8
5 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.....	8
6 УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ	8
7 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ	9
8 ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ	9
9 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ.....	18
Приложение А	19

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ИС-ДВС 002	–	система измерительная «ИС-ДВС 002»;
ВП	–	верхний предел диапазона измерений ;
ПП	–	первичный преобразователь (датчик);
ПЭВМ	–	персональная электронно-вычислительная машина;
ИК	–	измерительный канал (каналы)
МХ	–	метрологические характеристики;
КТ	–	контрольная точка диапазона измерений (ДИ), в которой устанавливается (задается) номинальное действительное значение измеряемой величины, принимаемое за истинное, при проведении экспериментальных исследований поверяемого ИК
МП	–	методика поверки;
РЭ	–	руководство по эксплуатации;
СКО	–	среднее квадратическое отклонение случайной величины;
j	–	номер цикла нагружения;
k	–	номер ступени нагружения;
n	–	число циклов нагружения;
N	–	число ступеней нагружения.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Настоящая Методика поверки распространяется на систему измерительную «ИС-ДВС 002», предназначенную для испытаний двигателей внутреннего сгорания (ДВС), и устанавливает методику её первичной и периодических поверок. Методика выполнена в соответствии с Рекомендацией РМГ 51-2002 «ГСИ. Документы на методики поверки средств измерений. Основные положения», ГОСТ Р 8.596-2002 «ГСИ. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения» и приказом Минпромторга России (Министерство промышленности и торговли РФ) от 31 июля 2020 г. № 2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».

Система измерительная «ИС-ДВС 002» (далее Система) проектировалась из компонентов, изготавливаемых различными производителями и принимаемых как законченные изделия непосредственно на месте эксплуатации (измерительные системы ИС-2 по ГОСТ Р 8.596-2002).

Система состоит из следующих измерительных каналов (ИК):

- ИК крутящего момента силы на валу ДВС;
- ИК частоты вращения вала;
- ИК часового массового расхода дизельного топлива;
- ИК массового расхода природного газа;
- ИК массового расхода воздуха;
- ИК расхода картерных газов;
- ИК температуры газа (воздуха), охлаждающей жидкости, топлива, масла;
- ИК давления газа (воздуха), масла;
- ИК относительной влажности воздуха в боксе.

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

Интервал между поверками - 1 год.

1 СПОСОБЫ ПОВЕРКИ И НОРМИРОВАНИЯ МХ

Способы поверки

Настоящая МП устанавливает комплектный и поэлементный способы поверки ИК.

Нормирование МХ

1.1.1 Номенклатура МХ ИК, определяемых по данной МП, установлена в соответствии с ГОСТ 8.009-84.

1.1.2 Оценка и форма представления погрешностей – по МИ 1317-2004.

1.1.3 Методы определения МХ ИК при поверке комплектным способом – по ГОСТ 8.207-76 и ОСТ 1 00487-83.

Нормирование поверки:

- количество КТ на ДИ - по МИ 2440-97.

2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ

2.1.1 Перечень операций, которые должны проводиться при поверке ИС-ДВС 002, приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Перечень операций поверки

Наименование операции	Номер пункта документа по поверке	Проведение операции при	
		первичной поверке	периодической поверке ^{*)}
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1 Внешний осмотр	8.1	+	+
2 Опробование	8.2	+	+
3 Определение метрологических характеристик ИК:	8.3	+	+
3.1 ИК крутящего момента силы на валу ДВС;	8.4	+	+
3.2 ИК частоты вращения вала;	8.5	+	+
3.3 ИК часового массового расхода дизельного топлива;	8.6	+	+
3.4 ИК массового расхода воздуха;	8.7	+	+
3.5 ИК расхода картерных газов;	8.8	+	+
3.6 ИК температуры газа (воздуха), охлаждающей жидкости, топлива, масла;	8.9	+	+
3.6 ИК давления газа (воздуха), масла;	8.10	+	+
3.7 ИК относительной влажности воздуха в боксе;	8.11	+	+
3.8 ИК массового расхода природного газа;	8.12	+	+
4. Оформление результатов поверки	9	+	+

^{*} – при периодической поверке допускается проведение поверки отдельных измерительных каналов, при этом в свидетельстве о поверке указывают перечень поверяемых ИК.

3 СРЕДСТВА ПОВЕРКИ

3.1 При проведении поверки использовать средства измерений и вспомогательное оборудование, приведенные в Таблица 3.1.

Таблица 3.1 – Перечень средств поверки

Ссылка на номер раздела МП	Наименование и тип (условное обозначение) основных или вспомогательных средств поверки, обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования, основные и (или) метрологические и характеристики
1	2
8.4	Калибровочный рычаг AVL CALIBRATION LEVER 1M 5KN; Уровень рамный (брусковый) по ГОСТ 9392-89; Термометр жидкий стеклянный технический по ГОСТ 28498-90, диапазон измерения (от 0 до 100) °С, кл.т. 1; Гири класса точности М ₁ точности по ГОСТ OIML R 111-1-2009.
8.5	Фототахометр типа АТТ-6000 (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 27264-11).
8.6	Секундомер СОСпр-26-2-000 (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 11519-01); Весы лабораторные электронные LP3200S (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 22403-03).
8.7	3.2.ДДС.0018.2017 (рабочий эталон единицы объемного расхода газа 1 разряда в диапазоне значений от 40,0 до 2500 м ³ /ч, пределы допускаемой относительной погрешности ±0,3%, утв. приказом №1081 /1/13 от 13.05.2019 г.).
8.8	3.2.ДДС.0001.2016 (рабочий эталон единицы объемного расхода газа 1 разряда в диапазоне значений от 0,016 до 40,0 м ³ /ч, пределы допускаемой относительной погрешности ±0,3%, утв. приказом №1652 /1/14 от 01.08.2017 г.).
8.9	Калибраторы температуры 140SE, 650SE, 1200SE соответствующие 3 разряду (рабочему эталону) по Государственной поверочной схеме ГОСТ 8.558-2009.
8.10	Калибратор давления DPI-615 с внешними модулями (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 16347-09); Барометр рабочий сетевой БРС-1М (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 16006-97).
8.11	Генератор влажности газа образцовый динамический Родник 2М (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 11739-89).
8.11; 8.12	Калибратор электрических сигналов ИКСУ-260 (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 35062-07).
8.4 – 8.12	Прибор комбинированный Testo 622 (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 53505-13).

При проведении поверки допускается применение других средств поверки, удовлетворяющие по точности и диапазону воспроизведения или измерений требованиям настоящей методики.

Используемые средства поверки должны иметь действующее свидетельство об аттестации эталона и/или действующее свидетельство о поверке (с учетом требований поверочных схем).

4 ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ПОВЕРИТЕЛЕЙ

К поверке допускаются лица, изучившие руководство по эксплуатации (РЭ) на систему и, входящие в её состав аппаратные и программные средства, знающие принцип действия используемых средств измерений и прошедшие инструктаж по технике безопасности (первичный и на рабочем месте) в установленном в организации порядке.

К поверке допускаются лица, освоившие работу с используемыми средствами поверки, изучившие настоящую методику и, имеющие достаточную квалификацию.

Лица, участвующие в поверке системы, должны проходить обучение и аттестацию по технике безопасности и производственной санитарии при работе в условиях её размещения.

5 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

При проведении поверки необходимо соблюдать требования техники безопасности, предусмотренные «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок», ГОСТ 12.2.007.0-75, ГОСТ Р 12.1.019-2017, ГОСТ 12.2.091-2002 и требования безопасности, указанные в технической документации на применяемые эталоны и вспомогательное оборудование. Любые подключения приборов проводить только при отключенном напряжении питания системы.

Кроме того, необходимо соблюдать следующие требования:

– к работе по выполнению поверки (калибровки) допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие аттестацию по технике безопасности и промышленной санитарии, ознакомленные с эксплуатационной документацией на систему, с инструкцией по эксплуатации электрооборудования стенда и с настоящей методикой;

– электрооборудование стенда, а также электроизмерительные приборы, используемые в качестве средств поверки, должны быть заземлены, блоки питания должны иметь предохранители номинальной величины;

– работы по выполнению поверки ИС-ДВС 002 должны проводиться по согласованию с лицами, ответственными за эксплуатацию испытательного стенда.

6 УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ

6.1 Условия окружающей среды в испытательном боксе:

- температура воздуха, °С	от +10 до +30
- относительная влажность воздуха при температуре +25 °С, %	от 30 до 80
- атмосферное давление, кПа	от 96 до 106

6.2 Питание:

- напряжение переменного тока, В	от 187 до 242
- частота переменного тока, Гц	50±1,0
- потребляемая мощность, В·А, не более	1500

7 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ

7.1 Подготовка к поверке – общие положения:

- Проверить наличие действующих свидетельств о поверке (либо свидетельств об аттестации эталона) на средства поверки;
- Обеспечить в испытательном боксе и пультовой требуемые условия для поверки.

7.2 Подготовка к поверке ИК системы:

- Проверить техническое состояние и подготовить систему к работе в соответствии с руководством по эксплуатации.

8 ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ

8.1. Внешний осмотр

8.1.1. При выполнении внешнего осмотра должно быть установлено соответствие поверяемого ИК ИС-ДВС 002 следующим требованиям:

- комплектность ИК ИС-ДВС 002 должна соответствовать РЭ;
- маркировка ИК ИС-ДВС 002 должна соответствовать требованиям проектной и эксплуатационной документации;
- измерительные, вспомогательные и соединительные компоненты (кабельные разъемы, клеммные колодки и т. д.) ИК системы не должны иметь визуально определяемых внешних повреждений и должны быть надежно соединены и закреплены;
- соединительные линии (кабели, провода) не должны иметь повреждений изоляции и экранирования и должны быть надежно соединены с разъемами и клеммами;
- экранирование кабелей и проводов должно быть соединено между собой и с заземляющим контуром в соответствии с электрическими схемами.

8.1.2. Результаты внешнего осмотра считать удовлетворительными, если выполняются условия, изложенные в пункте 8.1.1. В противном случае поверка не проводится до устранения выявленных недостатков.

8.2 Опробование

8.2.1. Идентификация ПО

Для проверки наименования и версии ПО выполнить следующие операции:

8.2.1.1. Запустить ПО управления AVL PUMA Open, поверить идентификационное наименование и номер версии ПО;

8.2.1.2. Результаты проверки считать положительными, если идентификационные данные ПО соответствуют данным, указанным ниже:

- идентификационное наименование – «AVL PUMA Open 2»;
- номер версии, не ниже – 3.4.

8.2.2. Для проверки работоспособности поверяемых ИК ИС-ДВС 002 выполнить действия в соответствии с РЭ.

8.3. Определение метрологических характеристик ИК

Проверку проводить комплектным и (или) поэлементным способом.

8.4. Определение метрологических характеристик ИК крутящего момента силы на валу ДВС

8.4.1. Определение порога реагирования

Порог реагирования определяется при действии на рычаг моментов, равных $0,1 \cdot M_{\max}$ и $1,0 \cdot M_{\max}$ (M_{\max} - максимальный момент, измеряемый ИК).

Порядок выполнения операции: при приложении к рычагу последовательно указанных моментов сил положить на грузоприёмное устройство плавно (без толчков) такое количество дополнительных гирь, при котором показания ИК устойчиво увеличиваются на 1-2 единицы младшего разряда.

Снять дополнительные гири с грузоприёмного устройства и записать в протокол вес дополнительных гирь. Повторить эксперимент с наложением гирь еще 4 раза. Данные экспериментов занести в протокол.

Вычислить порог реагирования при действии на рычаг моментов, равных $0,1 \cdot M_{\max}$ и $1,0 \cdot M_{\max}$:

$$r = L \cdot q_{\text{ср}} \quad (1)$$

где L - длина рычага; $q_{\text{ср}}$ - среднее арифметическое значение веса дополнительных гирь, положенных на грузоприёмное устройство.

Порог реагирования системы не должен превышать $0,05\% \cdot M_{\max}$.

8.4.2. Определение случайной и систематической составляющих погрешности ИК

8.4.2.1. Составляющие основной погрешности определяются по результатам 5-кратного нагружения Системы, для чего выполнить следующие операции:

8.4.2.1.1. Выставить рычаг при помощи уровня в горизонтальное положение с погрешностью не более $10'$. Подать напряжение питания на Систему. После ее прогрева в соответствии с требованиями РЭ нагрузить ИК нагрузкой M_{\max} и выдержать при этой нагрузке не менее 3-х минут. Разгрузить ИК.

8.4.2.1.2. Записать в протокол время начала поверки, температуру окружающего воздуха в боксе и показания ИК при нагрузке, соответствующей условному нулю ИК.

8.4.2.1.3. Задать регулярную последовательность из 5-ти контрольных значений крутящего момента силы от условного нуля до M_{\max} (прямой ход) и от M_{\max} до условного нуля (обратный ход) (с остановкой на каждой контрольной точке не менее 15 секунд), произвести регистрацию показаний ИК и запись их в протокол.

8.4.2.1.4. Повторить работы по пункту 8.4.2.1.3 ещё четыре раза.

8.4.2.1.5. Снять напряжение питания с Системы и записать в протокол время окончания градуировки и температуру в боксе.

Примечание – При нагружении ИК необходимо соблюдать следующие правила:

- считывание и регистрацию показаний ИК производить после их установления;
- при нагружении (разгрузке) ИК не допускать переход через принятые контрольные точки и возврата к ним с противоположной стороны хода нагружения. В случае такого перехода следует разгрузить (нагрузить) ИК до значения крутящего момента силы, предшествующей данной контрольной точке, после чего нагрузить (разгрузить) ИК и выйти на необходимую контрольную точку;

– перерыв между следующими друг за другом однократными нагружениями не должен превышать 10 минут.

8.4.2.2. Вычисление случайной составляющей основной погрешности ИК:

Среднее арифметическое значение показаний ИК в k -й контрольной точке:

$$\bar{M}_k = \frac{\bar{M}'_k + \bar{M}''_k}{2} \quad (2)$$

где $\bar{M}'_k = \frac{1}{n'} \cdot \sum_{i=1}^{n'} M'_{i,k}$, $\bar{M}''_k = \frac{1}{n''} \cdot \sum_{i=1}^{n''} M''_{i,k}$ - средние арифметические значения показаний для прямого и обратного ходов на k -й ступени нагружения;

n' , n'' - число единичных отсчетов ИК в k -м ряду измерений при нагружении и разгрузке, соответственно;

$M'_{i,k}$, $M''_{i,k}$ - i -е отсчеты в k -м ряду измерений при нагружении и разгрузке, соответственно.

Оценка СКО случайной составляющей основной абсолютной погрешности в k-й контрольной точке:

$$\sigma_{ok} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n'} (M'_{i,k} - \bar{M}'_k)^2 + \sum_{i=1}^{n''} (M''_{i,k} - \bar{M}''_k)^2}{n-1} \right]^{0,5}, \quad (3)$$

где $n = n' + n''$.

Произвести «отбраковку» аномальных результатов измерений в соответствии с критерием Граббса, изложенным в ГОСТ Р ИСО 5725-2002.

Повторно вычислить средние арифметические значения указанных параметров с учетом отбракованных результатов измерений.

СКО случайной составляющей абсолютной погрешности ИК от гистерезиса в k-й контрольной точке:

$$\sigma_{r,k} = \frac{\bar{M}''_k - \bar{M}'_k}{2\sqrt{3}} \quad (4)$$

Оценка случайной составляющей основной абсолютной погрешности ИК в k-й контрольной точке:

$$\Delta_{o,k} = t_{\alpha} \cdot [\sigma_{o,k}^2 + \sigma_{r,k}^2]^{0,5} \quad (5)$$

где t_{α} - коэффициент Стьюдента-Фишера, зависящий от доверительной вероятности P и числа измерений n. Значения коэффициента t_{α} при доверительной вероятности P = 0,95 приведены в приложении 1.

Оценка случайной составляющей основной относительной погрешности ИК в k-й контрольной точке (для диапазона нагрузок от 300 до 3000 Н·м):

$$\delta_{o,k} = \frac{\Delta_{o,k}}{\bar{M}_k} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где \bar{M}_{\max} - максимальный момент из \bar{M}_k .

Оценка случайной составляющей основной погрешности ИК, приведенной к \bar{M}_{300} (для диапазона нагрузок от 0 до $\bar{M}_{300} = 300$ Н·м):

$$\gamma_{o,k} = \frac{\Delta_{o,k}}{\bar{M}_{300}} \cdot 100\% \quad (7)$$

Результаты определения случайной составляющей погрешности ИК записать в протокол.

8.4.2.3. Вычисление систематической составляющей основной погрешности ИК

Оценка систематической составляющей основной абсолютной погрешности ИК в k-й контрольной точке:

$$\Delta_{os,k} = \bar{M}_k - M_{срy,k}, \quad (8)$$

где $M_{срy,k}$ - момент силы, воспроизводимой в k-й контрольной точке.

Оценка систематической составляющей основной относительной погрешности ИК в k-й контрольной точке (для диапазона нагрузок от 300 до 3000 Н·м):

$$\delta_{os,k} = \frac{\Delta_{os,k}}{\bar{M}_k} \cdot 100\% \quad (9)$$

Оценка систематической составляющей основной погрешности ИК, приведенной к \bar{M}_{300} в k-й контрольной точке (для диапазона нагрузок от 0 до $\bar{M}_{300} = 300$ Н·м):

$$\gamma_{os,k} = \frac{\Delta_{os,k}}{M_{300}} \cdot 100\% \quad (10)$$

Результаты определения систематической составляющей основной погрешности ИК записать в протокол.

8.4.2.4. Определение суммарной (основной) погрешности ИК

Оценка суммарной абсолютной погрешности в k-й контрольной точке:

$$\Delta_{o,k} = |\Delta_{o,k}| + |\Delta_{os,k}| \quad (11)$$

Оценка основной относительной погрешности ИК в k-й контрольной точке (для диапазона нагрузок от 300 до 3000 Н·м):

$$\delta_{o,k} = \frac{\Delta_{o,k}}{M_k} \cdot 100\% \quad (12)$$

Оценка основной погрешности ИК, приведенной к \bar{M}_{300} в k-й контрольной точке (для диапазона нагрузок от 0 до $\bar{M}_{300} = 300$ Н·м):

$$\gamma_{o,k} = \frac{\Delta_{o,k}}{\bar{M}_{300}} \cdot 100\% \quad (13)$$

Результаты определения систематической составляющей суммарной погрешности ИК записать в протокол.

8.4.2.5. Результаты поверки ИК крутящего момента силы на валу ДВС считать положительными, если полученные значения погрешностей удовлетворяют установленным для них требованиям (приложение А).

8.5. Определение метрологических характеристик ИК частоты вращения вала

8.5.1. Измерить «на стоянке» поверяемым ИК частоту вращения ротора, сравнить полученные данные с ожидаемыми значениями указанного параметра (должны быть в среднем нулевые показания).

8.5.2. Запустить двигатель и выставить последовательно минимальную (200 об/мин) и максимальную (3500 об/мин) частоты вращения коленчатого вала. Измерить выставленные частоты вращения вала поверяемым ИК и фототахометром. Убедиться в работоспособности ИК и фототахометра.

8.5.3. Запустить двигатель и выставить последовательно ряд значений частот вращения коленчатого вала:

$$F_k = F_{\min} + \frac{F_{\max} - F_{\min}}{N-1} (k-1), \quad (14)$$

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

На каждой ступени нагружения измерить при помощи поверяемого ИК и фототахометра значения частот вращения $F_{(ик)k,j}$, $F_{(фот)k,j}$, где $j=1 \dots n$ – номер единичного измерения ($n \geq 10$).

Определить максимальную относительную погрешность ИК:

$$\delta F = \max\left(\frac{|F_{(ик)k} - F_{(фот)k}|}{F_{(ик)k}}\right) \cdot 100\% \quad (15)$$

где $F_{(ик)k}$, $F_{(фот)k}$ – средние арифметические частоты на k-й ступени нагружения, измеренные поверяемым ИК и фототахометром.

8.5.4. Результаты поверки ИК частоты вращения вала считать положительными, если полученные значения погрешности удовлетворяют установленным требованиям (приложение А).

8.6. Определение метрологических характеристик ИК часового массового расхода дизельного топлива

8.6.1. Определение МХ ИК часового массового расхода топлива выполнять в следующем порядке:

Установить расход жидкости через поверяемый расходомер \bar{G}_k (не менее трех значений (ступеней нагружения) включая верхний и нижний пределы измерений в соответствии с приложением А), Слив топлива осуществлять во вспомогательную емкость. Контроль значения расхода осуществлять по показаниям поверяемого ИК (расходомера).

Выждать на заданном расходе 0,5-2 минуты. Произвести переброску потока жидкости в рабочую емкость и через заданный интервал времени T_k произвести обратную переброску потока во вспомогательную емкость.

Измерить интервал времени T_k , равный времени наполнения рабочей емкости на k -й ступени нагружения.

Измерить расход жидкости G_k , зафиксированный поверяемым ИК (расходомером) на k -й ступени нагружения.

Измерить трехкратно при помощи весов массу топлива m_k , слитого в измерительную емкость, где $k=1-3$ номер ступени нагружения.

Провести аналогичные операции при оставшихся значениях расхода (вторая и третья ступени нагружения).

8.6.2. Определение погрешности ИК часового массового расхода топлива:

Рассчитать среднее арифметическое значение массы слитого топлива на k -й ступени нагружения \bar{m}_k .

Рассчитать среднее арифметическое значение массы слитого топлива на k -й ступени нагружения с учетом выталкивающей силы воздуха при взвешивании:

$$\hat{m}_k = \bar{m}_k \times \left(1 + \frac{\rho_v(p, T)}{\rho_{ж}}\right) \quad (16)$$

где $\rho_v(p, T) = \frac{p}{RT}$ - плотность воздуха при температуре T и давлении p ; $R=287$ Дж/кг·К; $\rho_{ж}$ - плотность проливаемой жидкости.

Рассчитать расход жидкости:

$$\hat{G}_k = \frac{\hat{m}_k}{T_k} \quad (17)$$

Рассчитать относительную погрешность поверяемого ИК (расходомера) для каждой ступени нагружения:

$$\delta G_k = \frac{G_k - \hat{G}_k}{\hat{G}_k} \quad (k=1,2,3) \quad (18)$$

8.6.3. Результаты поверки ИК часового массового расхода топлива считать положительными, если полученные значения погрешностей удовлетворяют установленным для них требованиям (приложение А).

8.7. Определение метрологических характеристик ИК массового расхода воздуха

ИК массового расхода воздуха представлен расходомером FlowSonic 150 и поверяется автономно.

8.7.1. Измерительный блок канала измерения объемного/массового расхода впускного воздуха с входящими в его состав прямыми участками измерительного трубопровода, подключается на вход эталона расхода.

К измерительному блоку подключается вычислительный блок, на дисплее которого отображается значение расхода. Вычислительный блок настраивается на измерение массового расхода, в соответствии с инструкцией по эксплуатации и посредством веб-интерфейса подключается к ПЭВМ, также обеспечивающей вывод показаний расхода.

На эталоне расхода устанавливается необходимое значение расхода. После стабилизации расхода по показаниям дисплея и ПЭВМ, фиксируются результаты измерений расхода, отображаемые по каналу измерения объемного/массового расхода впускного воздуха и задаваемые эталоном расхода.

8.7.2. Расход воздуха, приведенный к стандартным условиям ($q'_{эм}$, м³/ч), задаваемого эталоном расхода определяется по формуле:

$$q'_{эм} = q_{эм} \cdot \frac{P_a \cdot 293,15}{101,325 \cdot (273,15 + t)}, \quad (19)$$

где $q_{эм}$ - значение расхода, измеренное эталоном расхода в рабочих условиях на измерительном блоке, м³/ч; t – температура воздуха, °С; P_a – атмосферное давление, кПа;

По результатам измерений массового расхода впускного воздуха определяется соответствующий ему объемный расход воздуха, приведенный к стандартным условиям по формуле:

$$q = \frac{q_m}{\rho_c}, \quad (20)$$

где q_m - значение массового расхода, измеренное по каналу, кг/ч; ρ_c – плотность воздуха при стандартных условиях (температура 20 °С, давление 101,325 кПа по ГОСТ 2939), равная 1,204348 кг/м³ (ГСССД МР 220-2014);

Допускается производить измерения в произвольном числе равно распределенных значений расхода (не менее 7 точек). Значения расхода должны включать q_{min} ; q_{max} , с отклонением не более ±10,0% (приложение А).

Расчет относительной погрешности измерений расхода по каналу измерений массового расхода впускного воздуха производится по формуле:

$$\delta_q = \left(\frac{q - q'_{эм}}{q'_{эм}} \right) \cdot 100\%, \quad (21)$$

8.7.3. Результаты поверки ИК расхода воздуха считать положительными, если полученные значения погрешностей удовлетворяют установленным для них требованиям (приложение А).

8.8. Определение метрологических характеристик ИК расхода картерных газов
ИК расхода картерных газов представлен расходомером AVL 442 и поверяется автономно.

8.8.1. Диафрагменная трубка канала измерения объемного расхода картерных газов подключается на вход эталона расхода.

К диафрагменной трубке подключается модуль обработки, на котором устанавливается переключателем, согласно руководству по эксплуатации, соответствующий номиналу трубки диапазон измерений.

Модуль обработки посредством интерфейса RS232C подключается к ПЭВМ, обеспечивающей вывод показаний расхода.

На эталоне расхода устанавливается необходимое значение расхода.

После стабилизации расхода по показаниям ПЭВМ, фиксируются результаты измерений расхода, отображаемые на ПЭВМ и задаваемые эталоном расхода.

8.8.2. Расход воздуха (газа) ($q'_{эм}$, л/мин), приведенный к опорным условиям, задаваемого эталоном расхода определяется по формуле:

$$q'_{эм} = q_{эм} \cdot \frac{P_a \cdot 298,15 \cdot 1000}{100 \cdot (273,15 + t) \cdot 60}, \quad (22)$$

где $q_{эм}$ - значение расхода, измеренное эталоном расхода в рабочих условиях диафрагменной трубки, м³/ч; t – температура воздуха, °С; P_a – атмосферное давление, кПа;

Допускается производить измерения в произвольном числе равно распределенных значений расхода (не менее 7 точек). Значения расхода должны включать q_{min} ; q_{max} , с отклонением не более ±5,0% (приложение А).

Расчет приведенной погрешности измерений объемного расхода по каналу измерений объемного расхода картерных газов определяется по формуле:

$$\gamma_q = \left(\frac{q - q'_{эм}}{q'_{max}} \right) \cdot 100\% \quad (23)$$

8.8.3. Результаты поверки ИК расхода воздуха считать положительными, если полученные значения погрешностей удовлетворяют установленным для них требованиям (приложение А).

8.9. Определение метрологических характеристик ИК температуры газа (воздуха), охлаждающей жидкости, топлива, масла

8.9.1. Определение погрешности ИК температуры производится комплектным способом: поместить ПП поверяемого ИК в выравнивающий блок калибратора температуры, с помощью которого задать ряд равномерно распределенных по диапазону ИК значений температуры, включая верхний и нижний пределы. Число ступеней нагружения $N \geq 5$, число циклов нагружения $n = 1$.

На каждой ступени нагружения зарегистрировать измеренные значения температуры T_k .

Определение пределов основной абсолютной погрешности ИК температуры выполнить по формуле:

$$\Delta T_{ик} = \pm \max |T_k - \bar{T}_k|, \quad (24)$$

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

Для ИК температуры выхлопных газов вычислить максимальное значение относительной погрешности по формуле:

$$\delta T_{ик} = \max \left| \frac{T_k - \bar{T}_k}{\bar{T}_k} \right| \cdot 100\% \quad (25)$$

8.9.2. Результаты поверки ИК температуры считать положительными, если полученные значения погрешностей удовлетворяют установленным для них требованиям (приложение А).

8.10. Определение метрологических характеристик ИК давления газа (воздуха), масла

8.10.1. Поверка ИК давления производится комплектным способом: на входы датчиков давлений поверяемых ИК подать ряд значений эталонного давления с помощью калибратора давления DPI 615 (для ИК барометрического давления к калибратору дополнительно подключается барометр БРС-1М параллельно с поверяемым ИК):

$$P_k = P_{\min} + \frac{P_{\max} - P_{\min}}{N - 1} (k - 1) \quad (26)$$

где $k=1,2,\dots,N$ - номер ступени нагружения; $N \geq 5$ - число ступеней нагружения; P_{\min} и P_{\max} – нижний и верхний пределы измерения поверяемого ИК.

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

8.10.2. Определение систематических составляющей погрешностей ИК давлений:

Абсолютная составляющая систематической погрешности измерения давления:

$$\Delta P_{\text{сист}} = \frac{P_{k(\text{прям})} + P_{k(\text{обр})}}{2} - P_k, \quad (27)$$

где: $P_{k(\text{прям})}$ - среднее измеренное давление по 3-м циклам на k -ой ступени нагружения прямого хода; $P_{k(\text{обр})}$ - то же самое для обратного хода нагружения.

8.10.3. Определение вариации (вариацию определяют при каждом поверяемом значении измеряемой величины, кроме значений, соответствующих нижнему и верхнему пределам измерений):

$$\Delta P_{\text{вар}} = P_{k(\text{прям})} - P_{k(\text{обр})} \quad (28)$$

8.10.4. Определение суммарной погрешности измерения давления.
Случайные погрешности ИК не учитываются ввиду их малости.
Предел абсолютной погрешности ИК избыточного давления:

$$\Delta P = 1,1 \sqrt{\Delta P_{\text{сист}}^2 + \left(\frac{\Delta P_{\text{вар}}}{2}\right)^2} \quad (29)$$

Для ИК с нормированием приведенной к ВП (P_{max}) погрешности, вычислить максимальное значение приведенной погрешности по формуле:

$$\gamma_p = \max \left| \frac{\Delta P}{P_{\text{max}}} \right| \cdot 100\% \quad (30)$$

8.10.5. Результаты поверки ИК давления считать положительными, если полученные значения погрешностей удовлетворяют установленным для них требованиям (приложение А).

8.11. Определение метрологических характеристик ИК относительной влажности воздуха в боксе

Поверку ИК выполнить в 3 этапа поэлементным способом:

- 1 этап – контроль (оценка) состояния и МХ ПП;
- 2 этап – поверка электрической части ИК;
- 3 этап – определение и оценка суммарной погрешности ИК.

8.11.1. Поверка ПП относительной влажности осуществляется в соответствии с документом «ГСИ. Термогигрометры НМТ330. Методика поверки.» МП-2411-0158-2018, утвержденным ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» 09 апреля 2018 г.

8.11.2. Поверку электрической части ИК относительной влажности воздуха в боксе выполнить в следующем образом: подключить калибратор ИКСУ-260 в режиме воспроизведения силы постоянного тока в диапазоне от 4 до 20 мА ко входу электрической части ИК и задать ряд значений силы тока (I_k) (не меньше 5 равномерно распределенных по диапазону, включая верхнее и нижнее значения), соответствующих влажности воздуха (4 мА соответствуют 0, 20 мА – 100 % относительной влажности).

Вычислить максимальное значение приведенной к ВП (в единицах физической величины, соответствующих значениям силы постоянного тока) погрешности электрической части ИК по формуле:

$$\gamma_{\psi(\text{эч})} = \max \left| \frac{\psi_k}{100} - \frac{I_k - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}} \right| \cdot 100\%, \quad (31)$$

где ψ_k – показания относительной влажности ИК; I_k – значение задаваемой силы тока на k -й ступени нагружения; I_{max} и I_{min} – значения силы тока, соответствующие максимальному и минимальному пределам измерения относительной влажности (100 и 0 %).

Вычислить суммарную погрешность ИК по формуле:

$$\Delta_{\text{ИК}} = \Delta_{\text{ПП}} + \gamma_{\psi(\text{эч})} \cdot 100\%, \quad (32)$$

где $\Delta_{\text{ИК}}$ – погрешность термогигрометра.

Примечание – В случае наличия действующего свидетельства о поверке на ПП, в котором не указано значение экспериментально определенной погрешности, а приведено слово «Соответствует», воспользоваться паспортными данным ПП.

8.11.3. Результаты поверки ИК относительной влажности в боксе считать положительными, если полученные значения погрешности удовлетворяют установленным для нее требованиям (приложение А).

8.12. Определение метрологических характеристик ИК массового расхода природного газа

Поверку ИК выполнить в 3 этапа поэлементным способом:

- 1 этап – контроль (оценка) состояния и МХ ПП;
- 2 этап – поверка электрической части ИК;
- 3 этап – определение и оценка суммарной погрешности ИК.

8.11.4. Поверку (либо определение метрологических характеристик) ПП массового расхода природного газа рекомендуется осуществлять в соответствии с документом МИ 3272-2010 «Счетчики-расходомеры массовые кориолисовые ROTOMASS. Методика поверки расходомерной поверочной установки».

8.11.5. Поверку электрической части ИК массового расхода природного газа выполнить в следующем образом: подключить калибратор ИКСУ-260 в режиме воспроизведения силы постоянного тока в диапазоне от 4 до 20 мА ко входу электрической части ИК и задать ряд значений силы тока (I_k) (не меньше 5 равномерно распределенных по диапазону, включая верхнее и нижнее значения), соответствующих массовому расходу природного газа G_k :

$$G_k = G_{min} + \frac{(I_k - I_{min}) \cdot (G_{max} - G_{min})}{I_{max} - I_{min}}, \quad (33)$$

где G_{min} и G_{max} соответствуют минимальному и максимальному пределам измерения расхода; I_{max} и I_{min} равны 20 и 4 мА соответственно.

Вычислить значения относительной погрешности электрической части ИК по формуле (кроме точки $G_k = 0$):

$$\delta_{G(эч)} = \frac{|G - G_k|}{G_k} \cdot 100\%, \quad (34)$$

где G – показания ИК.

Вычислить суммарную погрешность ИК по формуле:

$$\delta_{ИК} = \delta_{G(эч)} + \delta_{ПП} \quad (35)$$

где $\delta_{ПП}$ – погрешность расходомера ROTOMASS.

Примечание – В случае наличия действующего свидетельства о поверке на ПП, в котором не указано значение экспериментально определенной погрешности, а приведено слово «Соответствует», воспользоваться паспортными данным ПП.

8.11.6. Результаты поверки ИК массового расхода природного газа считать положительными, если полученные значения погрешности удовлетворяют установленным для нее требованиям (приложение А).

9 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

9.1 Сведения о результатах поверки передаются в федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

9.2 При положительных результатах поверки ИК системы «ИС-ДВС 002» оформляется свидетельство о поверке. если поверка проводилась не в полном объеме, в свидетельстве о поверке перечисляются только ИК, по которым производилась проверка.

9.3 При отрицательных результатах поверки ИК система «ИС-ДВС 002» не допускается к проведению испытаний, о чем делается запись в паспорте стенда и оформляется извещение о непригодности ИК к применению.

9.4 После устранения причин неисправности ИК проводится повторная поверка в соответствии с требованиями настоящей методики.

Главный метролог

ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»

Б.И. Минеев

Таблица А.1 – Основные метрологические характеристики Системы

Измеряемые параметры (наименование измерительных каналов)	Измеряемые величины	Диапазон измерений/ (показаний)	Предел допускаемой погрешностей	Кол- во ИК
Крутящий момент силы на валу ДВС	Крутящий момент силы	(от 0 до 300 Н·м)	–	1
		от 300 до 3000 Н·м	$\delta: \pm 1 \% \text{ ИЗ}$	
Частота вращения вала	Частота вращения	от 200 до 3500 об/мин	$\delta: \pm 0,5 \% \text{ ИЗ}$	1
Часовой массовый расход дизельного топлива	Массовый расход	от 5 до 125 кг/ч	$\delta: \pm 1 \% \text{ ИЗ}$	1
Массовый расход топлива (природного газа)		от 0 до 150 кг/ч	$\delta: \pm 1 \% \text{ ИЗ}$	1
Массовый расход воздуха		от 100 до 3000 кг/ч	$\delta: \pm 2 \% \text{ ИЗ}$	1
Расход картерных газов	Объемный расход	от 20 до 400 л/мин	$\gamma: \pm 3 \% \text{ ВП}$	1
Температура всасываемого воздуха	Температура	от 0 до 50 °С	$\Delta: \pm 1 \text{ }^\circ\text{С}$	1
Температура воздуха на вы- ходе компрессора		от 0 до 220 °С	$\Delta: \pm 2 \text{ }^\circ\text{С}$	1
Температура воздуха на вы- ходе интеркулера		от 0 до 80 °С	$\Delta: \pm 2 \text{ }^\circ\text{С}$	1
Температура охлаждающей жидкости на выходе		от 0 до 150 °С	$\Delta: \pm 2 \text{ }^\circ\text{С}$	1
Температура топлива		от 0 до 60 °С	$\Delta: \pm 2 \text{ }^\circ\text{С}$	1
Температура масла		от 0 до 150 °С	$\Delta: \pm 2 \text{ }^\circ\text{С}$	1
Температура выхлопных га- зов		от 300 до 1000 °С	$\delta: \pm 1 \% \text{ ИЗ}$	1
Давление воздуха на вы- ходе компрессора		Избыточное давлe- ние	от 0 до 250 кПа	$\gamma: \pm 0,3 \% \text{ ВП}$
Давление воздуха на вы- ходе интеркулера	от 0 до 250 кПа		$\gamma: \pm 0,3 \% \text{ ВП}$	1
Давление масла	от 300 до 1000 кПа		$\Delta: \pm 20 \text{ кПа}$	1
Давление выхлопных газов	от 0 до 60 кПа		$\Delta: \pm 0,2 \text{ кПа}$	1
Разрешение воздуха после воздушного фильтра	Давление разреже- ния	от -30 до 30 кПа	$\gamma: \pm 0,3 \% \text{ ВП}$	1
Барометрическое давление воздуха	Абсолютное давлe- ние	от 80 до 120 кПа	$\Delta: \pm 0,1 \text{ кПа}$	1
Относительная влажность воздуха в боксе	Относительная влажность	от 0 до 100 %	$\Delta: \pm 3 \%$	1

Примечания:

ВП – верхний предел измерения;

ИЗ – измеряемое значение;

 γ – приведенная погрешность, %; δ – относительная погрешность, %; Δ – абсолютная погрешность в единицах измеряемой величины.