

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ООО «АВЛ»

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

 \_\_\_\_\_ Й. Майер

 \_\_\_\_\_ В.Г. Марков



«16 август» 2020 г.



«12» 08 2020 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

СИСТЕМА ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ «ИС-ДВС 003»

Методика поверки

МП ИС-ДВС 003

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 003	–	система измерительная «ИС-ДВС 003»;
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 003», 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 003» (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 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 003, 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 <sup>*)</sup>
<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	+	+
4. Оформление результатов поверки	9	+	+

<sup>\*</sup> – 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 <sub>1</sub> 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 <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> /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; 8.11	Калибратор электрических сигналов ИКСУ-260 (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 35062-07).
8.4 – 8.11	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 003 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 003 следующим требованиям:

- комплектность ИК ИС-ДВС 003 должна соответствовать РЭ;
- маркировка ИК ИС-ДВС 003 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 003 выполнить действия в соответствии с РЭ.

### 8.3. Определение метрологических характеристик ИК

Поверку 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 к-й контрольной точке:

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

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 к-й контрольной точке:

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

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

$$\Delta_{о,к} = t_{\alpha} \cdot [\sigma_{о,к}^2 + \sigma_{г,к}^2]^{0,5} \quad (5)$$

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

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

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

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):

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

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 к-й контрольной точке:

$$\Delta_{ос,к} = \bar{M}_k - M_{сг,к}, \quad (8)$$

где  $M_{сг,к}$  - момент силы, воспроизводимой в к-й контрольной точке.

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

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

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

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

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  $F_{(ик)k,j}$ ,  $F_{(уст)k,j}$ , где  $j=1 \dots n$  – номер единичного измерения ( $n \geq 10$ ).

Определить максимальную относительную погрешность ИК:

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

где  $F_{(ик)k}$ ,  $F_{(фт)k}$  – 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:

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

где  $\rho_v(p, T) = \frac{p}{RT}$  - плотность воздуха при температуре  $T$  и давлении  $p$ ;  $R=287$  Дж/кг·К;  $\rho_j$  - 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 ( $q'_{эм}$ , м<sup>3</sup>/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, м<sup>3</sup>/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;  $\rho_c$  – плотность воздуха при стандартных условиях (температура 20 °С, давление 101,325 кПа по ГОСТ 2939), равная 1,204348 кг/м<sup>3</sup> (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, м<sup>3</sup>/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 ( $P_{\text{max}}$ ) 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  $\psi_k$  – показания относительной влажности ИК;  $I_k$  – значение задаваемой силы тока на  $k$ -й ступени нагружения;  $I_{\text{max}}$  и  $I_{\text{min}}$  – 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).

## 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 003» 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 003» 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 2000 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 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 давле- 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 давле- 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;

$\gamma$  – приведенная погрешность, %;

$\delta$  – относительная погрешность, %;

$\Delta$  – абсолютная погрешность в единицах измеряемой величины.