

**СОГЛАСОВАНО**

Заместитель директора  
филиала ВНИИР – филиала  
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.

Менделеева»

А.С. Тайбинский  
« 19 » 02 2025 г.



**СОГЛАСОВАНО**

Первый заместитель генерального  
директора – директор  
исследовательского центра  
«Авиационные двигатели»  
ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова»

В.Г. Марков  
2025 г.



ГСИ. Система измерительная ИС ДВС-003 ЯМЗ.

Методика поверки

МП ИС ДВС-003 ЯМЗ

г. Москва  
2025 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ .....	3
1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ .....	4
2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ .....	6
3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ .....	7
4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ .....	8
5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ .....	9
6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ .....	12
7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ .....	13
8 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ. ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ .....	14
9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ..	16
10 ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ .....	23
11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ .....	24
Приложение А ( <i>обязательное</i> ) Метрологические характеристики ИС ДВС-003 ЯМЗ .....	24

## ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ДВС	– двигатель внутреннего сгорания;
ВП	– верхний предел диапазона измерений;
ПП	– первичный преобразователь (датчик);
ИК	– измерительный канал (каналы)
МХ	– метрологические характеристики;
КТ	– контрольная точка диапазона измерений, в которой устанавливается (задается) номинальное действительное значение измеряемой величины, принимаемое за истинное, при проведении экспериментальных исследований поверяемого измерительного канала;
МП	– методика поверки;
СКО	– среднее квадратическое отклонение случайной величины;
ДИ	– диапазон измерений;
ФИФ ОЕИ	– федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений;
ГПЭ	– государственный первичный эталон
ГПС	– государственная поверочная схема
ПО	– программное обеспечение;
j/i	– номер цикла нагружения;
k	– номер ступени нагружения;
n	– число циклов нагружения;
N	– число ступеней нагружения.

## 1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая МП разработана в соответствии с Приказом Минпромторга России № 2907 от 28.08.2020, приказом Минпромторга № 2510 от 31.07.2020 г. и устанавливает порядок, методы и средства проведения первичной и периодических поверок ИК Системы измерительной ИС ДВС-003 ЯМЗ (далее – Система, ИС ДВС-003 ЯМЗ), предназначенной для измерения основных параметров при стендовых испытаниях ДВС на ПАО «Автодизель», г. Ярославль.

1.2 Функционально Система включает в себя следующие ИК:

- ИК крутящего момента силы ДВС;
- ИК частоты вращения коленчатого вала;
- ИК расхода топлива;
- ИК температуры газа (воздуха), жидкости (охлаждающая жидкость, топливо, масло);
- ИК давления газа (воздуха), жидкости (масло);
- ИК расхода картерных газов;
- ИК массового расхода воздуха.

1.3 Способы поверки

1.3.1 Настоящая МП устанавливает комплектный и поэлементный способы поверки ИК.

1.3.2 В настоящей МП поверка ИК реализована с помощью методов прямых и косвенных измерений.

1.4 Нормирование метрологических характеристик

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

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

1.4.3 Методы определения МХ ИК при поверке комплектным способом – по ГОСТ Р 8.736-2011.

1.4.4 Нормирование поверки: количество КТ на ДИ – по МИ 2440-97.

1.5 Система обеспечивает прослеживаемость к следующим ГПЭ:

- ГЭТ 149-2023 ГПЭ единицы крутящего момента силы в соответствии с Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 06.09.2024 г. № 2152 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений крутящего момента силы»;

- ГЭТ 1-2022 ГПЭ единиц времени, частоты и национальной шкалы времени в соответствии с Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26.09.2022 г. № 2360 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений времени и частоты»;

- ГЭТ 3-2020 ГПЭ единицы массы (килограмма) в соответствии с Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26.09.2022 г. № 2356 «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»;

- ГЭТ 35-2021 ГПЭ единицы температуры - кельвина в диапазоне от 0,3 до 273,16 К и ГЭТ 34-2020 ГПЭ единицы температуры в диапазоне от 0 до 3200 °C в соответствии с Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19.11.2024 г. № 2712 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений температуры»;

- ГЭТ 101-2011 ГПЭ единицы давления для области абсолютного давления в диапазоне  $1 \cdot 10^{-1} - 7 \cdot 10^5$  Па в соответствии с Приказом Федерального агентства по техническому

регулированию и метрологии от 06.12.2019 г. № 2900 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений абсолютного давления в диапазоне  $1 \cdot 10^{-1} - 1 \cdot 10^7$  Па»;

- ГЭТ 23-2010 ГПЭ единицы давления - паскаля в соответствии с Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20.10.2022 г. № 2653 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений избыточного давления до 4000 МПа»;

- ГЭТ 118-2017 ГПЭ единиц объёмного и массового расходов газа с Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11.05.2022 г. № 1133 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений объемного и массового расхода газа».

1.6 Допускается возможность проведения поверки отдельных ИК и (или) отдельных автономных блоков из состава средств измерений для меньшего числа измеряемых величин или на меньшем числе поддиапазонов измерений.

## 2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

2.1 Перечень операций, которые должны проводиться при поверке ИС ДВС-003 ЯМЗ, приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Перечень операций поверки

Наименование операции	Номер пункта документа по поверке	Проведение операции при	
		первой проверке	периодической проверке
1	2	3	4
1 Внешний осмотр	7	да	да
2 Подготовка к поверке и опробование средства измерений. Проверка программного обеспечения средства измерений	8	да	да
3 Определение метрологических характеристик ИК:	9.1	да	да
3.1 Определение погрешности ИК крутящего момента силы ДВС	9.2	да	да
3.2 Определение погрешностей ИК частоты вращения коленчатого вала	9.3	да	да
3.3 Определение погрешностей ИК расхода топлива	9.4	да	да
3.4 Определение погрешностей ИК температуры газа (воздуха), жидкости (охлаждающая жидкость, топливо, масло)	9.5	да	да
3.5 Определение погрешности ИК давления газа (воздуха), жидкости (охлаждающая жидкость, топливо, масло)	9.6	да	да
3.6 Определение погрешностей ИК расхода картерных газов	9.7	да	да
3.7 Определение погрешностей ИК массового расхода воздуха	9.8	да	да
4 Подтверждение соответствия средств измерений метрологическим требованиям	10	да	да
5 Оформление результатов поверки	11	да	да

Примечание – При проведении поверки в ограниченном объеме перечень проверяемых ИК может быть сокращен на основании письменного заявления владельца средства измерений или лица, представившего средство измерений на поверку

### 3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

3.1 Проверка должна проводиться в рабочих условиях эксплуатации ИС ДВС-003 ЯМЗ.

3.2 При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

Параметры электрического питания:

- напряжение переменного тока, В.....	380 ± 38
- частота переменного тока, Гц.....	50 ± 0,4

Рабочие условия:

- температура воздуха, °С.....	от +5 до +35
- относительная влажность воздуха (без конденсата), %.....	от 20 до 75
- атмосферное давление, кПа. ....	от 84 до 104

3.3 При выполнении поверок ИК ИС ДВС-003 ЯМЗ условия окружающей среды для средств поверки должны соответствовать требованиям, указанным в их руководствах по эксплуатации и требованиям, установленным ГОСТ 8.395-80.

#### **4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ**

4.1 К проведению поверки допускаются лица, изучившие эксплуатационные документы на систему, имеющие достаточные знания и опыт работы с ними, имеющие квалификацию поверителя и прошедшие инструктаж по технике безопасности.

## 5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

5.1 При проведении поверки использовать средства поверки и вспомогательное оборудование, приведенные в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Перечень средств поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки, рег. № в ФИФ ОЕИ
Основные средства поверки		
9.2	Рабочие эталоны единицы массы 5-го разряда по ГПС, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 4 июля 2022 г. № 1622, обеспечивающие нагрузку общей массой 300 кг	Весы лабораторные ВМ24001 (регистрационный номер в ФИФ по ОЕИ 36468-07); Гири класса точности M <sub>1</sub> точности по ГОСТ OIML R 111-1-2009
9.3	Эталон 1-го разряда по ГПС, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 сентября 2022 г. № 2360, в диапазоне до 50 с <sup>-1</sup>	Фототахометр электронный Testo-465 (регистрационный номер в ФИФ ОЕИ 17741-06)
9.4	Рабочий эталон единицы массы 5 разряда по ГПС, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 4 июля 2022 г. № 1622 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений массы» в диапазоне от 0 до 2 кг; Средство измерений времени по ГПС, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 сентября 2022 г. № 2360 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений времени и частоты»	Весы лабораторные электронные LP (регистрационный номер в ФИФ ОЕИ 22403-03); Секундомер электронный «Интеграл С-01» (регистрационный номер в ФИФ ОЕИ 44154-20)
9.5	Рабочий эталон единицы температуры 3 разряда по ГПС, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 декабря 2022 г. № 3253 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений температуры» в диапазоне значений от 0 °C до +1000 °C	Калибратор температуры КТ-1М (регистрационный номер в ФИФ ОЕИ 29228-11); Калибратор температуры «ЭЛЕМЕР-КТ-1100К» (регистрационный номер в ФИФ ОЕИ 75073-19)
9.6	Рабочий эталон 3 разряда по ГПС,	Калибратор давления DPI 615 с

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки, рег. № в ФИФ ОЕИ
	утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 октября 2022 г. № 2653 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений избыточного давления до 4000 МПа» в диапазоне от 0 до 2 МПа; Рабочий эталон 2 разряда по ГПС, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 6 декабря 2019 г. № 2900 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений абсолютного давления в диапазоне $1 \cdot 10^{-1} - 1 \cdot 10^7$ Па» в диапазоне от 80 до 110 кПа	внешними модулями (рег. номер в ФИФ ОЕИ 16347-09)
9.7	Рабочий эталон 1 разряда по ГПС, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 мая 2022 г. № 1133 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений объемного и массового расходов газа» с верхним пределом диапазона воспроизведения (измерений) объемного расхода $36 \text{ м}^3/\text{ч}$ ( $600 \text{ л}/\text{мин}$ )	Установки поверочные газодинамические ИРВИС-УПГ-М (регистрационный номер в ФИФ ОЕИ 66309-16)
9.8	Рабочий эталон 1 разряда по ГПС, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 мая 2022 г. № 1133 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений объемного и массового расходов газа» с верхним пределом диапазона воспроизведения (измерений) массового расхода $3000 \text{ кг}/\text{ч}$	
Вспомогательные средства поверки		
9.2 – 9.8	Средство измерений условий окружающей среды: Термогигрометр ИВА-6, рег. № 46434-11 Средство измерений питающей сети: Мультиметр 34410A, рег. № 47717-11	
9.2	Калибровочный рычаг AVL CALIBRATION LEVER 1M 5KN (1019,72 мм); Уровень рамный (брусковый) по ГОСТ 9392-89	

5.2 При проведении поверки допускается применение других средств поверки, обеспечивающих определение МХ поверяемых ИК с требуемой точностью (выбираются по поверочным схемам по соответствующим видам измерений).

5.3 Используемые средства поверки должны иметь действующее свидетельство об аттестации эталона и/или действующее свидетельство о поверке (с учетом требований поверочных схем), и/или наличие сведений о положительных результатах поверки в ФИФ ОЕИ.

## **6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ**

6.1 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 12.1.019-2009, 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.

6.2 Кроме того, необходимо соблюдать следующие требования:

- к работе по выполнению поверки 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 Системы и с настоящей МП;

- помещение, где проводится поверка, должно быть оборудовано пожарной сигнализацией и средствами пожаротушения;

- установку средств поверки производить с таким расчетом, чтобы был обеспечен удобный доступ к ним при проведении работ;

- подключение и отключение первичных измерительных преобразователей (ПП) давления от Системы, передающей давление, должны производиться только при условии отсутствия в ней избыточного давления;

- запрещается задавать давление, превышающее значение верхнего предела, поверяемого ПП в соответствии с его техническими характеристиками;

- 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 Системы должны проводиться по согласованию с лицами, ответственными за её эксплуатацию.

## 7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 При выполнении внешнего осмотра должно быть установлено соответствие поверяемого ИК Системы следующим требованиям:

- комплектность ИК ИС ДВС-003 ЯМЗ должна соответствовать 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;

- Система должна быть защищена от несанкционированного вмешательства;

- экранирование кабелей и проводов должно быть соединено между собой и с заземляющим контуром в соответствии с электрическими схемами.

7.2 Результаты внешнего осмотра считать удовлетворительными, если выполняются условия, изложенные в пункте 7.1. В противном случае поверку до устранения выявленных недостатков.

## 8 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ. ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

### 8.1 Подготовка к поверке

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

8.1.1 Включить Систему в соответствии с эксплуатационной документацией.

8.1.2 Проверить техническое состояние и подготовить Систему к работе в соответствии с ИС ДВС-003 ЯМЗ РЭ.

8.1.3 Проверить соответствие условий поверки требованиям раздела 3 настоящей МП.

8.1.4 При подготовке к поверке:

- проверить наличие действующих свидетельств об аттестации эталонов и/или действующих свидетельств о поверке, и/или наличие сведений о положительных результатах поверки в ФИФ ОЕИ средств поверки;

- технические средства, если они находились в условиях отрицательных температур, либо повышенной влажности, выдержать не менее 2 часов в условиях, указанных в разделе 3 настоящей МП;

- подготовить средства поверки в соответствии с их эксплуатационной документацией;

- при необходимости обеспечить оперативную связь оператора у монитора с оператором, задающим контрольные значения;

- включить питание аппаратуры;

- ожидать прогрева аппаратуры не менее 30 минут.

8.1.5 Перед началом поверки измерить и занести в протокол поверки условия окружающей среды (температура, влажность воздуха и атмосферное давление), напряжение и частоту питающей сети.

### 8.2 Идентификация ПО

8.2.1 На экране монитора после включения Системы должен быть рабочий стол загруженной операционной системы Windows.

8.2.2 Для проверки идентификационного наименования ПО и номера версии ПО выполнить следующие операции.

8.2.3 Запустить ПО управления AVL PUMA 2, проверить идентификационное наименование ПО и номер версии ПО (рисунок 1).

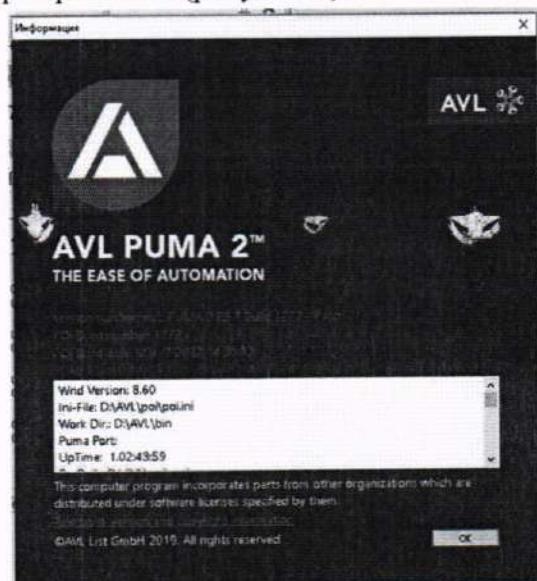


Рисунок 1 – Идентификационное наименование ПО и номер версии ПО

8.2.4 Убедиться в соответствии характеристик в информационном окне программы, характеристикам ПО, приведенным ниже:

- идентификационное наименование ПО – AVL PUMA 2;
- номер версии ПО – AVL PUMA 2 R5.7.

### 8.3 Проверка работоспособности ИК Системы и опробование

Проверку считать успешной, если при подготовке к поверке Система не выдавала информацию об ошибках, показания ИК соответствует ожидаемым. В случае невыполнения условий, указанных в п. 8.1 и п. 8.2, поверка приостанавливается до выявления и устранения причины несоответствия. После устранения причины несоответствия поверку необходимо возобновить.

## 9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

### 9.1 Определение метрологических характеристик ИК

9.1.1 Проверка ИК ИС ДВС-003 ЯМЗ проводится комплектным или поэлементным способом.

### 9.2 Определение погрешности ИК крутящего момента силы ДВС

9.2.1 Определение случайной и систематической составляющих погрешности ИК

9.2.1.1 Составляющие основной погрешности определяются по результатам 3-х кратного нагружения Системы, для чего выполняют следующие операции:

9.2.1.1.1. При отсоединенном рычаге выполнить программную установку 0, затем установить рычаг при помощи уровня в горизонтальное положение и убедиться, что показания ИК не изменились более чем на 0,2 Н·м, в противном случае добавить необходимое количество разновесов для уравновешивания рычага. Нагрузить ИК нагрузкой  $M_{max}$  (максимальное значение нагрузки) и выдержать при этой нагрузке не менее 3-х минут. Разгрузить ИК.

9.2.1.1.2. Задать регулярную последовательность из не менее чем 5-ти контрольных значений крутящего момента силы ( $M_K$ ) от условного нуля ( $M_0$ ) 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.

Примечание – Значения крутящего момента силы в контрольной точке рассчитываются по формуле

$$M_K = m_{\Sigma} \cdot g \cdot l, \quad (1)$$

где  $m_{\Sigma}$  – суммарная масса гирь на платформе рычага;

$g$  – значение ускорения свободного падения, равное 9,81 м/с<sup>2</sup>;

$l$  – длина рычага, равная 1,01972 м.

9.2.1.1.3. Повторить операции по пункту 9.2.1.1.2 два раза.

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 чим 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.

9.2.1.1.4. Рассчитать исправленные на нулевое значение показания ИК для прямого ( $X_i(M_K)$ ) и обратного ( $X'_i(M_K)$ ) хода, по формулам

$$X_i(M_K) = M_{Ki} - M_{0i} \quad (2)$$

$$X'_i(M_K) = M'_{Ki} - M_{0i} \quad (3)$$

9.2.1.1.5. Рассчитать средние арифметические значения исправленных на нулевое значение показаний, для прямого ( $\bar{X}_K$ ) и обратного ( $\bar{X}'_K$ ) хода, по формулам

$$\bar{X}_K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i(M_K) \quad (4)$$

$$\bar{X}'_K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X'_i(M_K) \quad (5)$$

9.2.1.1.6. Рассчитать абсолютное значение оценки систематической составляющей основной погрешности ( $\Delta_{cK}$ ) по формуле

$$\Delta_{cK} = \frac{\bar{X}_K + \bar{X}'_K}{2} - M_K \quad (6)$$

9.2.1.1.7. Рассчитать абсолютное значение вариации  $\Delta_K$  по формуле

$$h_K = |\bar{X}_K - \bar{X}'_K| \quad (7)$$

9.2.1.1.8. Рассчитать абсолютное значение СКО случайной составляющей погрешности с учетом вариации  $(S_0)$  по формуле

$$S_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i(M_K) - \bar{X}_K)^2 + \sum_{i=1}^n (X'_i(M_K) - \bar{X}'_K)^2}{2n-1}} + \frac{h_K^2}{12} \quad (8)$$

9.2.1.1.9. Доверительные границы (без учета знака) суммарной основной абсолютной погрешности  $(\Delta_K)$  рассчитать по формуле

$$\Delta_K = 2 \cdot \sqrt{S_0^2 + \frac{\Delta_{CK}^2}{3}} \quad (9)$$

9.2.1.1.10. Рассчитать основную относительную погрешность  $(\delta_K)$  ИК в диапазоне до  $M_K = 2500 \text{ Н}\cdot\text{м}$  по формуле

$$\delta_K = \frac{\Delta_K}{M_K} \cdot 100, [\%] \quad (10)$$

9.2.2 Результаты поверки ИК крутящего момента силы ДВС считать положительными, если полученные значения абсолютной погрешности (в диапазоне от 0 до 500 Н·м включительно) и относительной погрешности (в диапазоне свыше 500 до 2500 Н·м) удовлетворяют установленным для них требованиям (приложение А).

9.2.3 В случае невыполнения условий, указанных в п.9.2.2, соответствующий ИК бракуется до выявления и устранения причины несоответствия. После устранения причины несоответствия ИК подлежит внеочередной поверке в соответствии с данной МП.

### 9.3 Определение погрешностей ИК частоты вращения коленчатого вала

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

9.3.2 Запустить динамометр системы нагружения и выставить последовательно минимальную (200 об/мин) и максимальную (3400 об/мин) частоты вращения коленчатого вала. Измерить выставленные частоты вращения вала поверяемым ИК и средством поверки. Убедиться в работоспособности ИК.

9.3.3 Запустить двигатель и выставить последовательно ряд значений частот вращения коленчатого вала

$$F_k = F_{\min} + \frac{F_{\max} - F_{\min}}{N-1} (k-1), \quad (11)$$

где  $F_{\min}$ ,  $F_{\max}$  – минимальная и максимальная частоты вращения, об/мин;

$k=1 \dots N$  – номер ступени нагружения;

$N$  – число ступеней нагружения,  $N \geq 5$ .

На каждой ступени нагружения измерить при помощи поверяемого ИК и средства поверки значения частот вращения.

Рассчитать максимальное значение относительной погрешности ИК по формуле

$$\delta F = \max\left(\frac{|F_{(ик)k} - F_{(фт)k}|}{F_{(ик)k}}\right) \cdot 100\%, \quad (12)$$

где  $F_{(ик)k}$ ,  $F_{(фт)k}$  – значения частоты на  $k$ -й ступени нагружения, измеренные поверяемым ИК и средством поверки, об/мин.

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

9.3.5 В случае невыполнения условий, указанных в п.9.3.4, соответствующий ИК бракуется до выявления и устранения причины несоответствия. После устранения причины несоответствия ИК подлежит внеочередной поверке в соответствии с данной МП.

#### 9.4 Определение погрешности ИК расхода топлива

ИК расхода топлива представлен массовым расходомером топлива AVL 735S.

9.4.1 Относительную погрешность измерений расхода топлива по ИК расхода топлива  $\delta_Q$ , % рассчитать по формуле:

$$\delta_Q = \max |\delta_{Mj}| + |\delta_T|, \quad (13)$$

где  $\delta_Q$  – относительная погрешность измерений расхода топлива;

$\delta_{Mj}$  – относительная погрешность измерений массы топлива массовым расходомером топлива AVL 735S в  $j$ -й точке расхода, %;

$\delta_T$  – относительная погрешность измерений интервала времени массовым расходомером топлива AVL 735S, %.

9.4.2 Определение относительной погрешности измерений массы топлива массовым расходомером топлива AVL 735S проводят в двух точках диапазона расхода: в поддиапазоне расхода от  $Q_{\min}$  до  $0,3 \cdot Q_{\max}$  и в поддиапазоне расхода от  $0,9 \cdot Q_{\max}$  до  $Q_{\max}$ .

В каждой точке расхода проводят одно измерение. Для этого устанавливают необходимый расход топлива путем открытия шарового крана на массовом расходомере топлива AVL 735S, предназначенного для слива топлива. Слив топлива при этом осуществляют во вспомогательную емкость, установленную на весах.

##### Примечания

1. Перед началом измерения необходимо убедиться, что бак в балансовом расходомере топлива AVL 735S заполнен полностью (масса топлива, отображаемая посредством интерфейса ПО AVL PUMA 2, должна быть приблизительно 2 кг);

2. Перед началом измерения проводят тарирование весов с установленной на них емкостью.

После слива необходимого объема топлива шаровой кран на балансовом расходомере топлива AVL 735S закрывают. По истечении 60 с проводят взвешивание емкости с топливом.

Относительную погрешность измерений массы топлива балансовым расходомером топлива AVL 735S  $\delta_M$ , % рассчитать по формуле

$$\delta_M = \left( \frac{M_p - M_b}{M_b} \right) \cdot 100, \quad (14)$$

где  $M_p$  – значение массы топлива, слитого в емкость на весах, измеренное балансовым расходомером топлива AVL 735S, кг, определяют по формуле

$$M_p = M_{p_{\text{нач}}} - M_{p_{\text{кон}}}, \quad (15)$$

где  $M_{p_{\text{нач}}}, M_{p_{\text{кон}}}$  – значение массы топлива в баке балансового расходомера топлива AVL 735S до начала и после окончания измерения (слива топлива в емкость, установленную на весах) соответственно по показаниям балансового расходомера топлива AVL 735S, кг;

$M_B$  – значение массы топлива, слитого в емкость на весах, измеренное весами, кг.

9.4.3 Определение относительной погрешности измерений интервала времени массовом расходомером топлива AVL 735S проводят в следующей последовательности:

- на массовом расходомере топлива AVL 735S запускают процедуру определения интегрального значения массы, при этом топливо из бака расходомера не сливают;

- одновременно запускают измерение интервала времени секундомером;

- по истечении интервала времени не менее 600 с измерения на расходомере и секундомере прекращают.

Проводят одно измерение.

Относительную погрешность измерений интервала времени массовом расходомером топлива AVL 735S  $\delta_T$ , % рассчитывают по формуле

$$\delta_T = \left( \frac{T_p - T_c}{T_c} \right) \cdot 100, \quad (16)$$

где  $T_p$  – интервал времени, измеренный массовом расходомером топлива AVL 735S, с;

$T_c$  – интервал времени, измеренный секундомером, с.

9.4.4 Результаты поверки ИК расхода топлива считают положительными, если полученное значение погрешности удовлетворяет установленным требованиям (приложение А).

9.4.5 В случае невыполнения условий, указанных в п.9.4.4, соответствующий ИК бракуется до выявления и устранения причины несоответствия. После устранения причины несоответствия ИК подлежит внеочередной поверке в соответствии с данной МП.

## 9.5 Определение погрешности ИК температуры газа (воздуха), жидкости (охлаждающая жидкость, топливо, масло)

9.5.1 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  $T_k$  на установившихся значениях.

9.5.2 Определение основной абсолютной погрешности ИК температуры рассчитывают по формуле

$$\Delta T_{ik} = \pm \max |T_k - \bar{T}_k|, \quad (17)$$

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

9.5.3 Относительную погрешность ИК температуры выхлопных газов рассчитывают по формуле

$$\delta_T = \frac{T_k - \bar{T}_k}{\bar{T}_k} \quad (18)$$

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

9.5.5 В случае невыполнения условий, указанных в п.9.5.4, соответствующий ИК бракуется до выявления и устранения причины несоответствия. После устранения причины несоответствия ИК подлежит внеочередной поверке в соответствии с данной МП.

## 9.6 Определение погрешностей ИК давления газа (воздуха), жидкости (масло)

9.6.1 Проверка 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 ЕРС-1М параллельно с поверяемым ИК):

$$P_k = P_{\min} + \frac{P_{\max} - P_{\min}}{N-1} (k-1) \quad (19)$$

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, кПа.

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  $P_k$ .

### 9.6.2 Определение систематических составляющей погрешностей ИК давлений:

Абсолютную составляющую систематической погрешности измерения давления рассчитывают по формуле

$$\Delta P_{\text{сист}} = \frac{P_{k(\text{прям})} + P_{k(\text{обрат})}}{2} - P_k, \quad (20)$$

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

$P_{k(\text{обрат})}$  – среднее измеренное давление по 3-м циклам на  $k$ -ой ступени нагружения обратного хода нагружения, кПа.

9.6.3 Определение вариации (вариацию определяют при каждом поверяемом значении измеряемой величины, кроме значений, соответствующих нижнему и верхнему пределам измерений) рассчитывают по формуле

$$\Delta P_{\text{вар}} = P_{k(\text{прям})} - P_{k(\text{обрат})} \quad (21)$$

### 9.6.4 Определение суммарной погрешности измерения давления.

Случайные погрешности ИК не учитываются ввиду их малости.

Предел абсолютной погрешности ИК избыточного давления

$$\Delta P = 1,1 \sqrt{\Delta P_{\text{сист}}^2 + \left(\frac{\Delta P_{\text{вар}}}{2}\right)^2} \quad (22)$$

Для ИК с нормированием приведенной к ВП ( $P_{\max}$ ) погрешности, рассчитать максимальное значение приведенной погрешности по формуле

$$\gamma_P = \max \left| \frac{\Delta P}{P_{\max}} \right| \cdot 100\% \quad (23)$$

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

9.6.6 В случае невыполнения условий, указанных в п.9.6.2, соответствующий ИК бракуется до выявления и устранения причины несоответствия. После устранения причины несоответствия ИК подлежит внеочередной поверке в соответствии с данной МП.

## 9.7 Определение погрешности ИК расхода картерных газов

ИК расхода картерных газов представлен расходомером AVL 442S. Определение МХ ИК осуществляют поэлементным методом.

9.7.1 Диафрагменную трубку расходомера AVL 442S подключают на вход эталона расхода газа.

К диафрагменной трубке подключают модуль обработки, на котором устанавливают переключателем, согласно эксплуатационным документам, соответствующий номиналу трубы диапазон измерений.

Модуль обработки посредством интерфейса RS232C в соответствии с эксплуатационными документами подключают к персональному компьютеру (ПК), обеспечивающему вывод и индикацию значений измеряемого объемного расхода.

На эталоне расхода газа устанавливают (воспроизводят) необходимое значение расхода.

После стабилизации расхода фиксируют значение расхода, отображаемого на ПК и воспроизводимого эталоном расхода газа.

Определение приведенной погрешности проводят не менее чем в семи точках диапазона расхода (минимальном  $Q_{\min}$ , максимальном  $Q_{\max}$  и точках внутри него). Отклонение расхода от установленного в процессе измерений не должно превышать  $\pm 5,0\%$ .

9.7.2 Приведенную погрешность измерений расхода по ИК расхода картерных газов  $\gamma_{Q_r}$ , % рассчитывают по формуле

$$\gamma_{Q_r} = \left( \frac{Q_{Vp} - Q_{Vsm}}{Q_{\max}} \right) \cdot 100, \quad (24)$$

где  $Q_{sm}$  – значение объемного расхода, воспроизведенное эталоном расхода газа в рабочих условиях диафрагменной трубы,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$Q_p$  – значение объемного расхода, измеренное расходомером AVL 442S в рабочих условиях,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$Q_{\max}$  – верхний предел диапазона измерений расходомера AVL 442S,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

9.7.3 Результаты поверки ИК расхода картерных газов считают положительными, если полученные значения погрешности в каждой точке расхода удовлетворяют установленным требованиям (приложение А).

9.7.4 В случае невыполнения условий, указанных в п.9.7.3, соответствующий ИК бракуется до выявления и устранения причины несоответствия. После устранения причины несоответствия ИК подлежит внеочередной поверке в соответствии с данной МП.

## 9.8 Определение погрешностей ИК массового расхода воздуха

ИК массового расхода воздуха представлен расходомером FLOWSONIX FSA 150. Определение МХ ИК осуществляют поэлементным методом.

9.8.1 Измерительный блок расходомера FLOWSONIX FSA 150 с входящими в его состав прямыми участками измерительного трубопровода подключают на вход эталона расхода газа.

К измерительному блоку подключают вычислительный блок, на дисплее которого отображается измеряемое значение массового расхода воздуха. Вычислительный блок, при необходимости, настраивают на измерение массового расхода воздуха в соответствии с эксплуатационными документами.

На эталоне расхода газа устанавливают (воспроизводят) необходимое значение расхода. После стабилизации расхода фиксируют значение расхода, отображаемого на дисплее

вычислительного блока расходомера FLOWSONIX FSA 150 или ПК, подключенного к вычислительному блоку посредством веб-интерфейса, и воспроизведенного эталоном расхода газа.

Определение приведенной погрешности проводят не менее чем в семи точках диапазона расхода (минимальном  $Q_{\min}$ , максимальном  $Q_{\max}$  и точках внутри него). Отклонение значения воспроизведенного расхода газа от установленного в процессе измерений не должно превышать  $\pm 10,0 \%$ .

9.8.2 Относительную погрешность измерений массового расхода по ИК массового расхода воздуха  $\delta_{Q_M}$ , % рассчитывают по формуле

$$\delta_{Q_M} = \left( \frac{Q_{Mp} - Q_{M\vartheta m}}{Q_{M\vartheta m}} \right) \cdot 100, \quad (25)$$

где  $Q_{M\vartheta m}$  – значение массового расхода, воспроизведенное эталоном расхода газа в рабочих условиях, кг/ч;

$Q_{Mp}$  – значение массового расхода, измеренное расходомером FLOWSONIX FSA в рабочих условиях, кг/ч.

9.8.3 Результаты поверки ИК массового расхода воздуха считают положительными, если полученные значения погрешности в каждой точке расхода удовлетворяют установленным требованиям (приложение А).

9.8.4 В случае невыполнения условий, указанных в п.9.8.3, соответствующий ИК бракуется до выявления и устранения причины несоответствия. После устранения причины несоответствия ИК подлежит внеочередной поверке в соответствии с данной МП.

## **10 ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ**

10.1 Обработка результатов измерений проводится по формулам 1 – 25, приведенным в разделе 9.

10.2 Критерии принятия решения по подтверждению соответствия Системы метрологическим требованиям

10.2.1 Результаты поверки ИК ИС ДВС-003 ЯМЗ считать положительными, если границы погрешности измерений ИК по результатам поверки находятся в допускаемых пределах, указанных в Приложении А.

## 11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

11.1 Сведения о результатах поверки передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

11.2 Результаты поверки заносятся в протокол поверки.

11.3 По заявлению владельца средства измерений или лица, представившего её на поверку, аккредитованное на поверку лицо, проводившее поверку, в случае положительных результатов поверки выдает свидетельство о поверке и (или) вносит запись о проведенной поверке в паспорт (формуляр). В случае отрицательных результатов поверки выдает извещения о непригодности к применению.

11.4 В случае отрицательных результатов поверки после устранения причин неисправности проводится повторная поверка в соответствии с требованиями настоящей методики.

11.5 Требования по защите ИС ДВС-003 ЯМЗ от несанкционированного вмешательства, которое может повлечь изменение метрологических характеристик, обеспечиваются ограничением доступа к месту установки Системы, запиранием стойки и опломбирование шкафа системы управления РУМА.

Главный метролог, начальник отдела  
ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова»

Заместитель начальника отдела

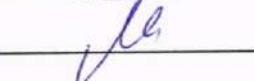
Начальник сектора

Заместитель начальника научно-  
исследовательского отдела  
ВНИИР – филиала ФГУП «ВНИИМ  
им. Д.И. Менделеева»

Заместитель начальника научно-  
исследовательского отдела  
ВНИИР – филиала ФГУП «ВНИИМ  
им. Д.И. Менделеева»

  
Б.И. Минеев

  
Р.Г. Павлов

  
М.В. Корнеев

  
Р.Н. Груздев

  
И.Н. Куликов

**Приложение А**  
(обязательное)

**Метрологические характеристики ИС ДВС-003 ЯМЗ**

Таблица А1 – Метрологические характеристики Системы

Измеряемые параметры (наименование измерительных каналов)	Измеряемые величины	Диапазон измерений	Предел допускаемых погрешностей	Кол- во ИК
Крутящий момент силы ДВС	Крутящий момент силы	от 0 до 2500 Н·м	$\Delta: \pm 15 \text{ Н}\cdot\text{м}$ в диапазоне (от 0 до 500 Н·м включ.); $\delta: \pm 3\%$ от ИЗ в диапазоне (св. 500 до 2500 Н·м включ.)	1
Частота вращения коленчатого вала	Частота вращения	от 200 до 3400 об/мин	$\delta: \pm 2\%$ от ИЗ	1
Часовой массовый расход дизельного топлива	Массовый расход	от 0 до 125 кг/ч	$\gamma: \pm 2\%$ от ВП	1
Массовый расход воздуха		от 100 до 3000 кг/ч	$\delta: \pm 2\%$ от ИЗ	1
Расход картерных газов	Объемный расход	от 20 до 400 л/мин	$\gamma: \pm 5\%$ от ВП	1
Температура всасываемого воздуха	Температура	от 0 °C до +50 °C	$\Delta: \pm 2\%$ °C	1
Температура воздуха на выходе компрессора		от 0 °C до +220 °C	$\Delta: \pm 2\%$ °C	1
Температура воздуха на выходе интеркулера		от 0 °C до +80 °C	$\Delta: \pm 2\%$ °C	1
Температура охлаждающей жидкости на выходе		от 0 °C до +150 °C	$\Delta: \pm 2\%$ °C	1
Температура топлива		от 0 °C до +60 °C	$\Delta: \pm 2\%$ °C	1
Температура масла		от 0 °C до +150 °C	$\Delta: \pm 2\%$ °C	1
Температура выхлопных газов		от +100 °C до +1000 °C	$\delta: \pm 2\%$ от ИЗ	1
Барометрическое давление воздуха	Абсолютное давление	от 80 до 120 кПа	$\Delta: \pm 200$ Па	1
Разрежение воздуха после воздушного фильтра	Давление разряжения	от -30 до +30 кПа	$\Delta: \pm 200$ Па	1
Давление воздуха на выходе компрессора	Избыточное давление	от 0 до 250 кПа	$\gamma: \pm 0,3\%$ от ВП	1
Давление воздуха на выходе интеркулера		от 0 до 250 кПа	$\gamma: \pm 0,3\%$ от ВП	1
Давление масла		от 300 до 1000 кПа	$\Delta: \pm 20000$ Па	1
Давление выхлопных газов		от 0 до 100 кПа	$\Delta: \pm 500$ Па	1

Примечания:

ВП – верхний предел измерения;

ИЗ – измеряемое значение;

$\gamma$  – приведенная погрешность, %;

$\delta$  – относительная погрешность, %;

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