

СОГЛАСОВАНО

Заместитель генерального директора
ФБУ «Ростест-Москва»



А.Д. Меньшиков

07

2024 г.

СОГЛАСОВАНО

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



В.Г. Марков

«25»

2024 г.

СОГЛАСОВАНО

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



Тайбинский А.С.

«25»

07 2024 г.

ГСИ. Система измерительная ИС-ДВС КАМАЗ 005.

Методика поверки

МП ИС-ДВС КАМАЗ 005

г. Москва
2024 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.....	6
4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ	7
5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ.....	8
6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ	11
7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	12
8 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ. ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	13
9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	15
10 ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ	24
11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ	25
Приложение А (обязательное) Метрологические характеристики ИС-ДВС КАМАЗ 005	26

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

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;
РЭ	– руководство по эксплуатации;
СКО	– среднее квадратическое отклонение случайной величины;
ДИ	– диапазон измерений;
ФИФ	– Федеральный информационный фонд;
ОЕИ	– обеспечение единства измерений;
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 методика поверки (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 измерительных каналов (ИК) Системы измерительной ИС-ДВС КАМАЗ 005 (далее по тексту – Система, ИС-ДВС КАМАЗ 005), предназначенной для измерения основных параметров при стендовых испытаниях двигателей внутреннего сгорания (далее - ДВС) на ПАО «КАМАЗ», г. Набережные Челны.

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 (охлаждающая жидкость, топливо, масло);
- ИК расхода картерных газов;
- ИК массового расхода воздуха;
- ИК относительной влажности 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 Государственным первичным эталонам:

- ГЭТ 149-2023 ГПЭ единицы крутящего момента силы 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 63-2019 ГПСЭ единиц массы и объема жидкости в потоке, массового и объемного расходов жидкости 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 и ГЭТ 34-2020 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 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 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 151-2020 в соответствии с Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21.11.2023 г. № 2415 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений влажности газов и температуры конденсации углеводородов»;

- ГЭТ 118-2017 ГПЭ единиц объемного 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 измерительных каналов 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 КАМАЗ 005, 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
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
3.8 Определение погрешностей ИК относительной влажности воздуха	9.9	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 Поверка должна проводиться в рабочих условиях эксплуатации ИС-ДВС КАМАЗ 005.

3.2 При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

Параметры электрического питания:

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

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 КАМАЗ 005 условия окружающей среды для средств поверки должны соответствовать требованиям, указанным в руководствах на их эксплуатацию 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 по 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 BM24001 (регистрационный номер в ФИФ по ОЕИ 36468-07); Гири класса точности M ₁ 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 ⁻¹	Фототахометр электронный Testo-465 (регистрационный номер в ФИФ по ОЕИ 17741-06)
9.4	Рабочий эталон единицы массы 5 разряда по Государственной поверочной схеме для средств измерений массы, 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 Государственной поверочной схеме для средств измерений времени и частоты, 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 модификации LP 34001S (регистрационный номер в ФИФ по ОЕИ 22403-03); Секундомер электронный «Интеграл С-01» (регистрационный номер в ФИФ по ОЕИ 44154-20)
9.5	Рабочий эталон единицы температуры 3 разряда по Приказу Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 декабря 2022 года № 3253 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений температуры» в диапазоне значений от 0 °С до +1000 °С	Калибратор температуры КТ-1М (рег. номер в ФИФ ОЕИ 29228-11); Калибратор температуры «ЭЛЕМЕР-КТ-1100К» (рег. номер в ФИФ ОЕИ 75073-19)
9.6	Рабочий эталон 3 разряда по Приказу Росстандарта от 20 октября 2022 года № 2653 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений	Калибратор давления DPI 615 с внешними модулями (рег. номер в ФИФ ОЕИ 16347-09)

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки, рег. № в ФИФ по ОЕИ
	избыточного давления до 4000 МПа» в диапазоне от 0 до 2 МПа; Рабочий эталон 2 разряда по Приказу Росстандарта 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	
9.7	Рабочий эталон 1 разряда по Государственной поверочной схеме для средств измерений объемного и массового расходов газа, 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» в диапазоне до 36 м ³ /ч (600 л/мин)	
9.8	Рабочий эталон 1 разряда по Государственной поверочной схеме для средств измерений объемного и массового расходов газа, 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» в диапазоне до 3000 кг/ч	
9.9	Рабочий эталон 2 разряда по Приказу Росстандарта от 21 ноября 2023 г. № 2415 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений влажности газов и температуры конденсации углеводородов» в диапазоне от 0 до 100 %; Рабочий эталон 2 разряда по Приказу Росстандарта от 01 октября 2018 г. № 2091 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений постоянного электрического тока в диапазоне от $1 \cdot 10^{-16}$ до 100 А» в диапазоне от 4 до 20 мА (для поэлементной поверки)	Генератор влажного воздуха HygroGen 2 (рег. номер в ФИФ ОЕИ 32405-11) Калибратор давления DPI 620 CE (рег. номер в ФИФ ОЕИ 16347-09)
Вспомогательные средства поверки		
9.2 – 9.9	Средство измерений условий окружающей среды: Термогигрометр ИВА-6, рег. № 46434-11; Средство измерений питающей сети: Мельтиметр 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 метрологических характеристик 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 Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (ФИФ по 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 методикой;

- 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 КАМАЗ 005 должна соответствовать РЭ;
- 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 проведение поверки не проводится 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 КАМАЗ 005 РЭ.

8.1.3 Проверить соответствие условий поверки требованиям раздела 3 настоящей методики поверки.

8.1.4 При подготовке к поверке:

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

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

- 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 наименования и версии ПО выполнить следующие операции.

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

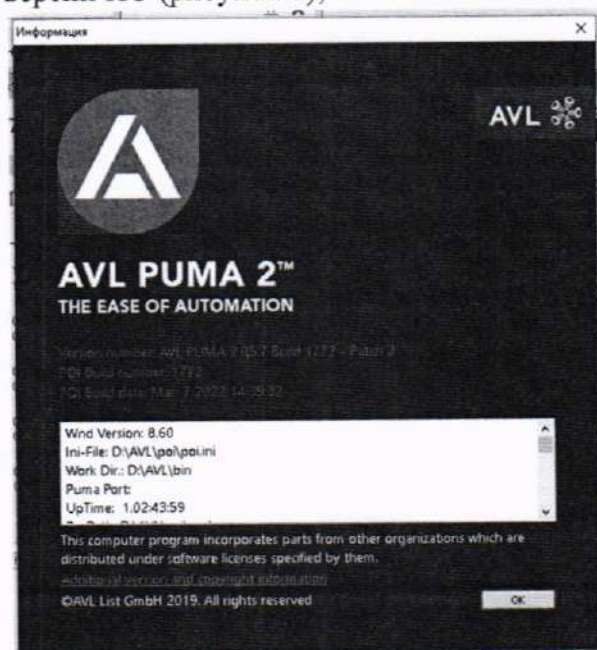


Рисунок 1 – Идентификационное наименование и номер версии ПО

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

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

8.2.5 Для исполняемого файла ПО (\AVL\bin\poi.exe) определить контрольную сумму через контекстное меню проводника (рисунок 2)

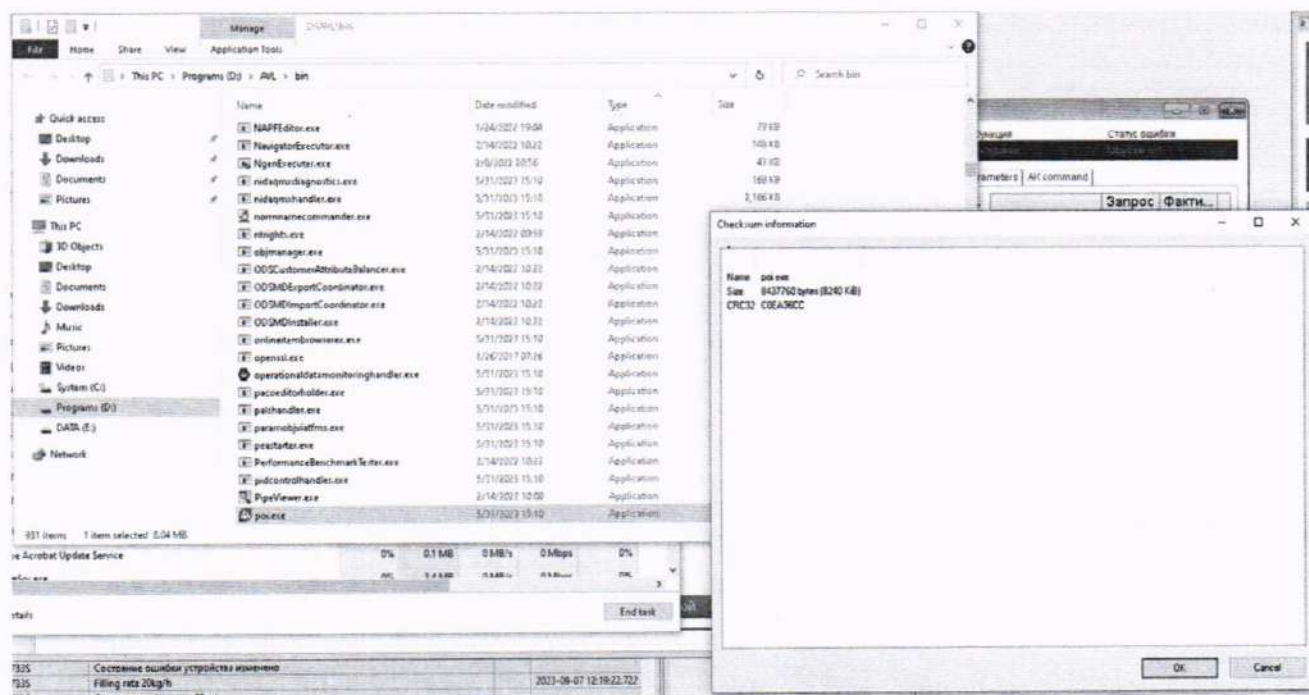


Рисунок 2 – Проверка контрольной суммы ПО

8.2.1 Убедиться в соответствии характеристик в информационном окне, характеристикам программного обеспечения, приведенным ниже:

- значение контрольной суммы (алгоритм вычисления CRC32) – C0EA36CC.

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 КАМАЗ 005 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 выполнить следующие операции:

9.2.1.1.1. При отсоединенном рычаге выполнить программную установку 0, затем уставить 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 уравнивания 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 определяется по формуле:

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

где m_{Σ} – суммарная масса гирь на платформе рычага,

g – значение ускорения свободного падения, равное 9,81 м/с²,

l – длина рычага, равная 1,01972 м.

9.2.1.1.3. Повторить работы по пункту 9.2.1.1.2 ещё 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 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.

9.2.1.1.4. Определить 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 ($\overline{X_K}$) и обратного ($\overline{X'_K}$) хода, по формулам:

$$\overline{X_K} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i(M_K) \quad (4)$$

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

9.2.1.1.6. Рассчитать абсолютное значение оценки систематической составляющей основной погрешности (Δ_{cK}) по формуле:

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

9.2.1.1.7. Рассчитать абсолютное значение вариации (h_K) по формуле:

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

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

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

9.2.1.1.9. Доверительные границы (без учета знака) суммарной основной абсолютной погрешности (Δ_K) определить 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 (δ_K) ИК в диапазоне до $M_K = 3000 \text{ Н} \cdot \text{м}$ (кроме $M_K = 0$) 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 погрешностей 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 (2950 об/мин – к максимальному значению следует приближаться постепенно во избежание срабатывания автоматической аварийной остановки при достижении 3000 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; $k=1\dots N$ – номер ступени нагружения. Число ступеней нагружения $N \geq 5$.

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

Определить максимальное значение относительной погрешности ИК:

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

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

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 балансовым расходомером топлива AVL 733S.

9.4.1 Относительную погрешность измерений расхода топлива по ИК расхода топлива δ_Q , % определяют по формуле

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

где δ_{Mj} – относительная погрешность измерений массы топлива балансовым расходомером топлива AVL 733S в j -й точке расхода, %;

δ_T – относительная погрешность измерений интервала времени балансовым расходомером топлива AVL 733S, %.

9.4.2 Определение относительной погрешности измерений массы топлива балансовым расходомером топлива AVL 733S 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 балансовом расходомере топлива AVL 733S,

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 733S 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 733S закрывают. По истечении 60 с проводят взвешивание емкости с топливом.

Относительную погрешность измерений массы топлива балансовым расходомером топлива AVL 733S δ_M , % определяют 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 733S, кг, определяют по формуле

$$M_P = M_{P_{нач}} - M_{P_{кон}}, \quad (15)$$

где $M_{P_{нач}}$, $M_{P_{кон}}$ – значение массы топлива в баке балансового расходомера топлива AVL 733S до начала и после окончания измерения (слива топлива в емкость, установленную на весах) соответственно по показаниям балансового расходомера топлива AVL 733S, кг;

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

9.4.3 Определение относительной погрешности измерений интервала времени балансовым расходомером топлива AVL 733S проводят в следующей последовательности:

- на балансовом расходомере топлива AVL 733S 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 балансовым расходомером топлива AVL 733S δ_T , % определяют по формуле

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

где T_P – интервал времени, измеренный балансовым расходомером топлива AVL 733S, с;

T_C – интервал времени, измеренный секундомером, с.

9.4.4 Результаты поверки ИК расхода топлива считают положительными, если полученные значения погрешностей в каждой точке расхода удовлетворяют установленным для них 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 пределов основной абсолютной погрешности ИК температуры выполнить по формуле:

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

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

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

9.5.4 В случае невыполнения условий, указанных в п.9.5.3, 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 (охлаждающая жидкость, топливо, масло)

9.6.1 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):

$$P_k = P_{\min} + \frac{P_{\max} - P_{\min}}{N - 1} (k - 1) \quad (18)$$

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

9.6.2 Определение систематических составляющей погрешностей ИК давлений:

Абсолютная составляющая систематической погрешности измерения давления:

$$\Delta P_{\text{сист}} = \frac{P_{k(\text{прям})} + P_{k(\text{обр})}}{2} - P_k, \quad (19)$$

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.

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

$$\Delta P_{\text{вар}} = P_{k(\text{прям})} - P_{k(\text{обр})} \quad (20)$$

9.6.1 Определение суммарной погрешности измерения давления.

Случайные погрешности ИК не учитываются ввиду их малости.

Абсолютная погрешность ИК избыточного давления:

$$\Delta P = 1,1 \sqrt{\Delta P_{\text{сист}}^2 + \left(\frac{\Delta P_{\text{вар}}}{2}\right)^2} \quad (21)$$

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

$$\gamma_P = \max \left| \frac{\Delta P}{P_{\text{max}}} \right| \cdot 100\% \quad (22)$$

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

9.6.3 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 трубки 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 γ_{Q_v} , % определяют по формуле

$$\gamma_{Q_v} = \left(\frac{Q_{vp} - Q_{v\text{эт}}}{Q_{\max}} \right) \cdot 100, \quad (23)$$

где $Q_{\text{эт}}$ – значение объемного расхода, воспроизведенное эталоном расхода газа в рабочих условиях диафрагменной трубки, м³/ч;

Q_p – значение объемного расхода, измеренное расходомером AVL 442S в рабочих условиях, м³/ч;

Q_{\max} – верхний предел диапазона измерений расходомера AVL 442S, м³/ч.

9.7.3 Результаты поверки ИК расхода картерных газов считают положительными, если полученные значения погрешностей в каждой точке расхода удовлетворяют установленным для них 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. Определение МХ ИК осуществляют поэлементным методом.

9.8.1 Измерительный блок расходомера FLOWSONIX FSA 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 или ПК, подключенного к вычислительному блоку посредством веб-интерфейса, 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 значения воспроизводимого расхода газа от установленного в процессе измерений не должно превышать $\pm 15,0\%$.

9.8.2 Относительную погрешность измерений массового расхода по ИК массового расхода воздуха δ_{Q_M} , % определяют по формуле

$$\delta_{Q_M} = \left(\frac{Q_{Mp} - Q_{Mэт}}{Q_{Mэт}} \right) \cdot 100, \quad (24)$$

где $Q_{Mэт}$ – 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 погрешностей в каждой точке расхода удовлетворяют установленным для них 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.

9.9 Определение погрешностей ИК относительной влажности воздуха

Поверку ИК поэлементным выполнить в 3 этапа следующим способом:

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

9.9.1. 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.

9.9.2. Поверку электрической части ИК относительной влажности воздуха в боксе выполнить в следующем образом: подключить средство поверки 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:

$$\gamma_{\psi(\text{эч})} = \max \left| \frac{\psi_k}{100} - \frac{I_k - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \right| \cdot 100\%, \quad (26)$$

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 %).

9.9.3. Вычислить суммарную погрешность ИК по формуле:

$$\Delta_{\text{ИК}} = \Delta_{\text{пп}} + \gamma_{\psi(\text{эч})}, \quad (27)$$

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.

Поверку ИК комплексным способом выполнять в следующей последовательности:

9.9.4. Поместить ПП поверяемого ИК в выравнивающий блок средства поверки, с помощью которого задать ряд равномерно распределенных по диапазону ИК значений влажности, включая верхний и нижний пределы (допускается отступать от крайних значений диапазона не более 5%). Число ступеней нагружения $N \geq 5$, число циклов нагружения $n = 1$.

На каждой ступени нагружения зарегистрировать измеренные значения относительной влажности ψ_k на установившихся значениях.

9.9.5 Определение пределов основной абсолютной погрешности ИК относительной влажности выполнить по формуле:

$$\Delta\psi_k = \max |\psi_{k,\text{ИК}} - \psi_{k,\text{э}}|, \quad (28)$$

где $\psi_{k,\text{ИК}}$ и $\psi_{k,\text{э}}$ – измеренное ИК и эталонное значение относительной влажности на k -й ступени нагружения.

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

9.9.7 В случае невыполнения условий, указанных в п.9.9.6, 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 – 28, приведенным в разделе 9.

10.2 Критерии принятия решения по подтверждению соответствия Системы метрологическим требованиям

10.2.1 Результаты поверки ИК ИС-ДВС КАМАЗ 005 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 КАМАЗ 005 от несанкционированного вмешательства, которое может повлечь изменение метрологических характеристик, обеспечиваются ограничением доступа к месту установки Системы, запираанием стойки и опломбирование шкафа системы управления PUMA.

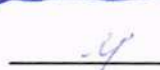
Главный метролог, начальник отдела
ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова»


Б.И. Минеев

Заместитель начальника отдела


Р.Г. Павлов

Начальник сектора


М.В. Корнеев


И. о начальника лаборатории № 445
ФБУ «Ростест-Москва»


М.В. Хлебнова


Начальник сектора лаборатории № 445
ФБУ «Ростест-Москва»


А.В. Колдашов

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


Р.Р. Нурмухаметов

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


И.Н. Куликов

Приложение А

(обязательное)

Метрологические характеристики ИС-ДВС КАМАЗ 005

Таблица А1 – Метрологические характеристики Системы

Измеряемые параметры (наименование измерительных каналов)	Измеряемые величины	Диапазон измерений	Предел допускаемых погрешностей	Кол-во ИК
Крутящий момента силы ДВС	Крутящий момент силы	от 0 до 3000 Н·м	$\delta: \pm 1 \% \text{ от ИЗ}$	1
Частота вращения коленчатого вала	Частота вращения	от 200 до 2950 об/мин	$\delta: \pm 0,5 \% \text{ от ИЗ}$	1
Расход топлива	Массовый расход	от 0,5 до 150 кг/ч	$\delta: \pm 1 \% \text{ от ИЗ}$	1
Массовый расход воздуха		от 0 до 3000 кг/ч	$\delta: \pm 1,5 \% \text{ от ИЗ}$	1
Расход картерных газов	Объемный расход	от 12 до 600 л/мин	$\gamma: \pm 1,5 \% \text{ от ВП}$	1
Температура атмосферного воздуха на входе в двигатель	Температура	от 0 °С до +60 °С	$\Delta: \pm 1 \text{ °С}$	1
Температура охлаждающей жидкости на выходе из двигателя		от 0 °С до +150 °С	$\Delta: \pm 2 \text{ °С}$	1
Температура охлаждающей жидкости на входе в двигатель		от 0 °С до +150 °С	$\Delta: \pm 2 \text{ °С}$	1
Температура масла		от 0 °С до +170 °С	$\Delta: \pm 2 \text{ °С}$	1
Температура топлива		от 0 °С до +100 °С	$\Delta: \pm 2 \text{ °С}$	1
Температура отработавших газов		от 0 °С до +1000 °С	$\Delta: \pm 20 \text{ °С}$	1
Температура наддувочного воздуха после турбокомпрессора		от 0 °С до +300 °С	$\Delta: \pm 2 \text{ °С}$	1
Температура наддувочного воздуха после стендового теплообменника охлаждения наддувочного воздуха		от 0 °С до +300 °С	$\Delta: \pm 2 \text{ °С}$	1
Барометрическое давление	Абсолютное давление	от 80 до 110 кПа	$\Delta: \pm 200 \text{ Па}$	1
Влажность окружающего воздуха	Относительная влажность	от 0 % до 100 %	$\Delta: \pm 2 \%$	1
Разряжение воздуха на входе в турбокомпрессор	Давление разряжения	от -15 до +5 кПа	$\Delta: \pm 200 \text{ Па}$	1
Давление масла	Избыточное давление	от 0 до 1000 кПа	$\Delta: \pm 20 \text{ кПа}$	1
Давление отработавших газов		от 0 до 60 кПа	$\gamma: \pm 3 \% \text{ от ВП}$	1
Давление наддувочного воздуха после стендового теплообменника охлаждения наддувочного воздуха		от 0 до 250 кПа	$\Delta: \pm 200 \text{ Па}$	1
Давление наддувочного воздуха после турбокомпрессора		от 0 до 250 кПа	$\Delta: \pm 200 \text{ Па}$	1
Давление картерных газов		от 0 до 60 кПа	$\Delta: \pm 200 \text{ Па}$	1
Давление охлаждающей жидкости на входе в водяной насос		от 0 до 250 кПа	$\Delta: \pm 500 \text{ Па}$	1
Давление охлаждающей жидкости на выходе из двигателя		от 0 до 250 кПа	$\Delta: \pm 500 \text{ Па}$	1