

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева»
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

СОГЛАСОВАНО
Генеральный директор
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

А.Н. Пронин

М.п. «27» сентября 2023 г.



«ГСИ. Измерители скорости газового потока ультразвуковые ETL-F Ultra


Методика поверки»

МП 2550-0412-2023

Руководитель отдела
скорости и расхода воздушного
и водного потоков

 К.В. Попов

Научный сотрудник

 П.М. Крейнин

Санкт-Петербург

2023 г

1 Общие положения

Настоящая методика поверки распространяется на измерители скорости газового потока ультразвуковые ETL-F Ultra (далее – измерители) и устанавливает методы и средства их первичной и периодической поверки.

При определении метрологических характеристик в рамках проводимой поверки обеспечивается передача единицы скорости воздушного потока в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений скорости воздушного потока, утвержденной Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) от 25.11.2019 г. № 2815, подтверждающая прослеживаемость к Государственному первичному специальному эталону единицы скорости воздушного потока ГЭТ 150-2012.

Метод, обеспечивающий реализацию методики поверки: прямое измерение поверяемым средством измерений величины, воспроизводимой эталоном.

Примечание – при пользовании настоящей методикой поверки целесообразно проверить действие ссылочных документов по соответствующему указателю стандартов, составленному по состоянию на 1 января текущего года и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году.

Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящей методикой следует руководствоваться заменяющим (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

2 Перечень операций поверки

2.1 При проведении поверки выполняются операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 - Перечень операций поверки

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр	Да	Да	7
Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	Да	Да	8.1
Опробование	Да	Да	8.3
Подтверждение соответствия программного обеспечения (ПО)	Да	Да	9
Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	Да	Да	10

2.2 Допускается проведение периодической поверки для меньшего числа поддиапазонов измерений с обязательной передачей информации об объеме проведенной поверки в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

2.3 Если при проведении той или иной операции поверки получен отрицательный результат, дальнейшая поверка прекращается.

2.4 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям при первичной поверке проводятся по п. 10.1 (определение погрешности измерений скорости газового потока) и 10.2 (имитационный способ), при периодической поверке проводятся по п. 10.2 (имитационный способ).

3 Требования к условиям проведения поверки

При проведении поверки следует соблюдать следующие условия:

- температура окружающей среды ¹⁾ от плюс 15 °С до плюс 25 °С;
- атмосферное давление от 84,0 до 106,0 кПа;
- относительная влажность воздуха до 90 %.

¹⁾ при проведении поверки имитационным способом от минус 20 °С до плюс 40 °С.

4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

4.1. Управление оборудованием и средствами поверки производят лица, прошедшие обучение и проверку знаний требований безопасности и допущенные к обслуживанию технологического оборудования и средств поверки.

4.2. К работе по поверке измерителя должны допускаться лица, имеющие необходимую квалификацию по поверке СИ скорости потока.

5 Метрологические и технические требования к средствам поверки

5.1 При проведении поверки применяют средства, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Метрологические и технические требования к средствам поверки

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
8.1 «Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)»	Средства измерений параметров окружающей среды: - диапазон измерений температуры от -20 °С до +40 °С, пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,5$ °С; - диапазон измерений относительной влажности от 0 % до 95 %, пределы допускаемой абсолютной погрешности ± 3 %; - диапазон измерений атмосферного давления от 84,0 до 106,0 кПа, пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 1,0$ кПа Чувствительный элемент в форме зонда длиной от 50 до 150 мм, диаметр не более 20 мм.	Приборы контроля параметров воздушной среды «Метеометр МЭС 200А» (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений 27468-04)
10 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	Эталон ¹⁾ в соответствии с Государственной поверочной схемой для СИ скорости воздушного потока, утвержденной Приказом Росстандарта от 25.11.2019г. № 2815, диапазон воспроизведения скорости воздушного потока от 0,05 до 40 м/с, пределы допускаемой относительной погрешности $\pm 1,5$ %, габаритный размер рабочего участка от 0,7 до 8 м.	Государственный первичный специальный эталон единицы скорости воздушного потока ГЭТ 150-2012, диапазон воспроизводимых скоростей от 0,05 до 100 м/с, среднее квадратическое отклонение результата измерений, не более $(0,00015+0,0015V)$ м/с при 10 независимых измерениях, неисключенная систематическая погрешность не более $(0,00015+0,0015V)$ м/с

Средство измерений длины (линейных размеров), диапазон измерений не менее 1050 мм, пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 1,0$ мм	Рулетки измерительные металлические RGK (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений 75296-19)
Средство измерений интервалов времени, класс точности 3	Секундомер механический СОПр (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений № 11519-11)
Средство измерений длины (наружных и внутренних линейных размеров), диапазон измерений не менее 80 мм, пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,1$ мм	Штангенциркули RGK SC-150 (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений 87061-22)
Труба металлическая с двумя фланцами для установки датчиков измерителя, длина от 950 до 1050 мм, внутренний диаметр от 57 до 100 мм, внешний диаметр не более 130 мм.	Камера измерительная в соответствии с Приложением Б

¹⁾ Отношение погрешности эталона, к пределам допускаемой погрешности поверяемого измерителя должно быть не более 1/3.

5.2. Все средства измерений должны быть поверены, эталоны единиц величин - аттестованы или поверены с учетом требований государственных поверочных схем.

5.3. Допускается применение средств поверки, не приведенных в таблице 2, но обеспечивающих определение (контроль) метрологических характеристик поверяемых СИ с требуемой точностью.

6 Требования по обеспечению безопасности проведения поверки

При работе с измерителями необходимо соблюдать «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей», утверждённые приказом Минэнерго РФ № 6 от 13.01.2003, «Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок», утверждённые приказом Минтруда России № 328 н от 24.07.2013, введённые в действие с 04.08.2014 и требования эксплуатационной документации на измерители.

7 Внешний осмотр средства измерений

7.1 При внешнем осмотре устанавливается соответствие измерителя следующим требованиям:

7.1.1 При внешнем осмотре измерителя должно быть установлено отсутствие внешних повреждений и загрязнений, влияющих на работоспособность.

7.1.2 Комплектность и маркировка должны соответствовать указанным в паспорте на измеритель.

7.1.3 Для измерителя должны быть установлены:

- исправность органов управления и настройки;
- четкость всех надписей на лицевых панелях;
- четкость и контрастность дисплея.

7.1.4 Результат внешнего осмотра считается положительным, если измеритель соответствует всем перечисленным выше требованиям.

8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

8.1 Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)

Контроль условий поверки на соответствие разделу 3 проводят с использованием средств измерений, указанных в таблице 2, в соответствии с требованиями их эксплуатационной документации.

Результаты контроля условий поверки считают положительными, если условия поверки соответствуют условиям, приведенным в разделе 3 настоящей методики поверки.

8.2 Подготовка к поверке

Перед проведением поверки должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

- подготавливают измеритель к работе в соответствии с требованиями эксплуатационной документации.
- подготавливают к работе средства поверки, указанные в таблице 2, в соответствии с требованиями их эксплуатационной документации.

8.3 Опробование (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)

Опробование проводят при его запуске в соответствии с руководством по эксплуатации.

Результаты проверки считают положительными, если:

- отсутствует информация об ошибках;
- на дисплее индицируется текущая информация об измеряемых параметрах.

9 Проверка программного обеспечения

Операция подтверждения соответствия программного обеспечения заключается в подтверждении идентификационных данных ПО (номера версии) измерителя, данным, указанным в описании типа средства измерений.

Номер версии отображается после загрузки ПО, из режима измерений, после нажатия кнопки « ↑ ».

Результат считают положительным, если полученные идентификационные данные наименования и номера версии ПО соответствуют указанным в разделе «Программное обеспечение» описания типа средства измерений.

10 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

10.1 Определение погрешности измерений скорости газового потока

10.1.1 При помощи эталонной установки последовательно устанавливают точки, соответствующие значениям скорости воздушного потока 20; 50; 90 % с допуском отклонением ± 5 % от верхнего предела поддиапазона измерений для каждого поддиапазона измерений. Фиксируют показания измерителя с дисплея контроллерного блока.

Значение приведенной погрешности γ , %, рассчитывают для i -ой точки по формуле

$$\gamma = \frac{v_i - v_{\text{э}}}{v_{\text{наиб}}} \cdot 100, \% \quad (1)$$

где $v_{и}$ и $v_{э}$ - значения скорости газового потока по показаниям измерителя и эталона, соответственно, м/с.

$v_{наиб}$ - верхний предел поддиапазона измерений, для которого нормированы пределы допускаемой приведенной погрешности, м/с.

Значение относительной погрешности δ , %, рассчитывают для i -ой точки по формуле

$$\delta = \frac{v_{и} - v_{э}}{v_{э}} \cdot 100, \% \quad (2)$$

10.1.2 Результат определения считают положительным если для каждой точки измерений полученные значения погрешности не превышают пределов, установленных в таблице А.1, Приложения А.

10.2 Имитационный способ

10.2.1 Определение относительной погрешности при измерении скорости звука производится с использованием камеры измерительной в следующей последовательности:

- произвести измерения длины камеры L_k , м, в соответствии со схемой, приведенной в Приложении Б с помощью рулетки;

- произвести измерения длины L_{1i} и L_{2i} , м, каждого датчика в соответствии со схемой, приведенной в Приложении Б с помощью штангенциркуля, расчет $L_{\delta i}$, м произвести по формуле:

$$L_{\delta i} = L_{1i} - L_{2i} \quad (3)$$

- закрепить датчики на фланцах камеры измерительной;

- установить в отверстие камеры зонд датчика температуры и относительной влажности, выждать не менее 10 минут и зафиксировать значение температуры и относительной влажности воздуха в камере t , °С и H , %; (при необходимости уплотнить отверстие);

- вынуть зонд датчика и заглушить отверстие;

- в меню измерителя выбрать раздел «время импульса» и зафиксировать показания времени, τ , мкс, с дисплея измерителя;

- произвести расчет скорости звука C_d , м/с по измеренным значениям температуры и относительной влажности воздуха в камере в соответствии с ГСССД МР 176-2010 (атмосферное давление считать равным 101325 Па), или соответствии с Приложением Б;

- рассчитать скорость звука по показаниям измерителя $C_{и}$, м/с по формуле

$$C_{и} = \frac{L}{\tau} \quad (4)$$

где

L – длина акустического пути, м;

τ – время прохождения импульса, с.

Значение L , м рассчитать по формуле

$$L = L_k + L_{\delta 1} + L_{\delta 2} + L_n \quad (5)$$

где

L_n – длина, указанная в паспорте на измеритель, м;

Значение относительной погрешности при измерении скорости звука δ , % рассчитывается по формуле

$$\delta = \frac{C_{и} - C_d}{C_d} \cdot 100, \% \quad (6)$$

При наличии в составе измерителя двух пар датчиков произвести вышеуказанные действия для второй пары датчиков.

Результат поверки считают положительным, если полученное значение относительной погрешности при измерении скорости звука для каждой пары датчиков не превысило пределов равных $\pm 0,3$ % и относительное отклонение скоростей звука измеренных каждой парой датчиков между собой не превышает $\pm 0,3$ %.

10.2.2 Проверка стабильности нулевых показаний

Проверку проводят в следующей последовательности:

- закрепить датчики измерителя на фланцах камеры измерительной;
- фиксировать показания измерителя каждую минуту в течение пяти минут.

Результат поверки считают положительным, если показания измерителя в течение пяти минут не превысили значений $\pm 0,05$ м/с.

11 Оформление результатов поверки

11.1 При проведении поверки оформляют протокол результатов поверки. Форма протокола поверки приведена в Приложении В (рекомендуемом).

11.2 Измерители, удовлетворяющие требованиям настоящей методики поверки, признают годными к применению, вносят результаты поверки в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений, по требованию владельца выдают свидетельство о поверке установленной формы.

11.3 При отрицательных результатах поверки вносят результаты поверки в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений, по требованию владельца выдают извещение о непригодности установленной формы, с указанием причин непригодности.

11.4 Нанесение знака поверки на средство измерений не предусмотрено.

Приложение А
(обязательное)

Таблица А.1 – Метрологические характеристики измерителей

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений скорости газового потока, м/с	от 0,05 до 40
Пределы допускаемой приведенной ¹⁾ погрешности в поддиапазоне измерений от 0,05 до 0,3 м/с включ., %	±20
Пределы допускаемой приведенной ¹⁾ погрешности в поддиапазоне измерений св. 0,3 до 4 м/с включ., %	±3
Пределы допускаемой относительной погрешности в поддиапазоне измерений св. 4 до 40 м/с, %	±3
¹⁾ Нормирующее значение – верхний предел поддиапазона измерений, в котором нормированы пределы приведенной погрешности.	

Приложение Б
(обязательное)

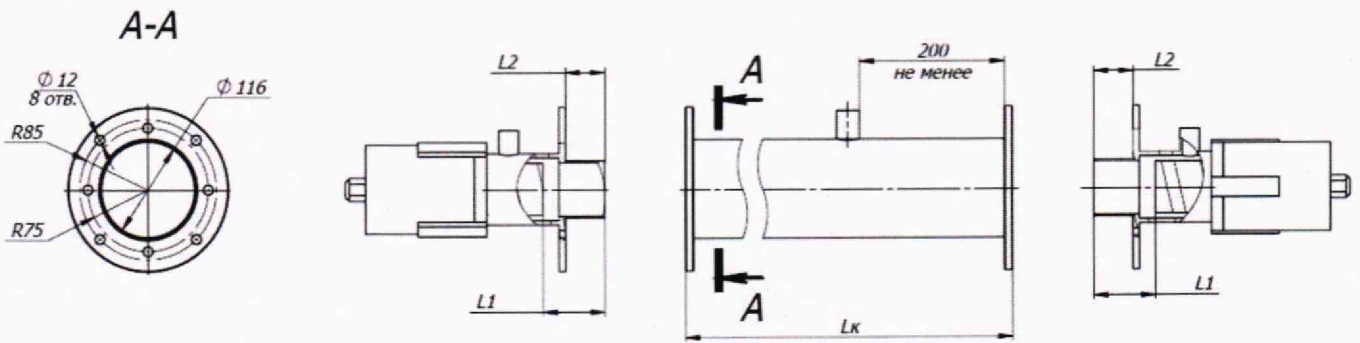


Рисунок Б.1 – Схема определения относительной погрешности при измерении скорости звука и проверки стабильности нулевых показаний (имитационный способ)

- L_k – длина камеры измерительной по внешним сторонам фланцев, м;
- L_1 – длина (глубина) от края датчика до поверхности излучателя, м;
- L_2 – длина от края датчика до поверхности фланца, м.

Расчет скорости звука в воздухе при имитационном способе проверки

Рассчитать скорости звука в воздухе по измеренным значениям температуры и относительной влажности воздуха в камере t , °C и H , % по формуле:

$$C_d = \sqrt{10^3 \frac{RT}{M} \cdot Z \cdot k} \quad (\text{Б.1})$$

где

- R – универсальная газовая постоянная, составляет 8,31451, кДж/кмоль·К
- T – термодинамическая температура воздуха в камере, составляет $T=273,15+t$, К
- Z – фактор сжимаемости, составляет 1,00
- k – показатель адиабаты, составляет 1,4
- M – молярная масса воздуха в камере, г/моль

- рассчитать молярную массу воздуха в камере по формуле:

$$M = M_{\text{воз}} \cdot V_{\text{воз}} + M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot V_{\text{H}_2\text{O}} \quad (\text{Б.2})$$

где

- $M_{\text{воз}}$ – молярная масса сухого воздуха, составляет 28,98, г/моль
- $V_{\text{воз}}$ – объемная доля воздуха, составляет $V_{\text{воз}} = 1 - V_{\text{H}_2\text{O}}$ (безразмерная величина)
- $M_{\text{H}_2\text{O}}$ – молярная масса воды, составляет 18,016, г/моль
- $V_{\text{H}_2\text{O}}$ – объемная доля воды (безразмерная величина)

- рассчитать объемную долю воды в соответствии с Приложением А, Приказа Росстандарта от 15.12.2021 №2885 для измеренных значений температуры и относительной влажности воздуха в камере.

Примечание: рассчитанные значения скорости звука для ряда значений температуры и относительной влажности приведены в Таблице Б.1.

Таблица Б.1 – Значения скорости звука в воздухе, Сд, м/с

Температура, °С	Относительная влажность, %								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
15	340,32	340,42	340,53	340,64	340,75	340,86	340,97	341,08	341,19
16	340,91	341,03	341,14	341,26	341,38	341,49	341,61	341,73	341,84
17	341,51	341,63	341,76	341,88	342,00	342,13	342,25	342,38	342,50
18	342,10	342,24	342,37	342,50	342,63	342,77	342,90	343,03	343,17
19	342,70	342,84	342,98	343,12	343,26	343,41	343,55	343,69	343,83
20	343,30	343,45	343,60	343,75	343,90	344,05	344,20	344,35	344,50
21	343,89	344,05	344,21	344,37	344,53	344,69	344,85	345,01	345,18
22	344,48	344,65	344,83	345,00	345,17	345,34	345,51	345,68	345,85
23	345,08	345,26	345,44	345,62	345,81	345,99	346,17	346,35	346,54
24	345,67	345,86	346,06	346,25	346,45	346,64	346,83	347,03	347,22
25	346,26	346,47	346,68	346,88	347,09	347,29	347,50	347,71	347,92

Приложение В
(рекомендуемое)

Протокол поверки

Наименование СИ: _____

Зав. № _____

Дата выпуска _____

Регистрационный номер: _____

Заказчик: _____

Дата предыдущей поверки: _____

Методика поверки: _____

Основные средства поверки: _____

Условия поверки:

температура окружающей среды °С

относительная влажность воздуха %

атмосферное давление кПа

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОВЕРКИ

1 Результаты внешнего осмотра _____

2 Результаты опробования

2.1 Контроль условий поверки

2.2 Опробование

3 Подтверждение соответствия программного обеспечения _____

4 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

Определение погрешности при измерении скорости газового потока

№ измер.	V_z , м/с	V_n , м/с	δ (γ), %	Пределы допускаемой погрешности, %

Поверитель: _____

Дата поверки: _____