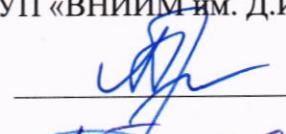


Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева»
ФГУП «ВНИИМ им Д. И. Менделеева»

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

 А. Н. Пронин

2023 г.



Государственная система обеспечения единства измерений

Установки аэродинамические измерительные малых скоростей ТЭМС 300

МП 2550-0408-2023

Методика поверки

Руководитель отдела
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

 К. В. Попов

Санкт-Петербург
2023

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Настоящая методика поверки распространяется на Установки аэродинамические измерительные малых скоростей ТЭМС 300 (далее – ТЭМС 300), и устанавливает методику их первичной и периодической поверки.

Методикой поверки обеспечивается прослеживаемость ТЭМС 300 к государственным первичным эталонам:

- ГПСЭ единицы скорости воздушного потока ГЭТ 150-2012 в соответствии с ГПС, утвержденной Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 ноября 2019 года №2815 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений скорости воздушного потока»;

- ГПЭ единицы плоского угла ГЭТ 22-2014 в соответствии с ГПС, утвержденной Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 ноября 2018 года №2482 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений плоского угла».

Методика поверки предусматривает проведения поверки отдельных измерительных каналов и отдельных автономных блоков из состава средства измерений, для меньшего числа измеряемых величин и на меньшем числе поддиапазонов измерений.

Методика поверки реализуется методом непосредственного сличения поверяемого СИ с эталонами той же величины.

2. ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

2.1. При проведении поверки должны быть выполнены операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1- Перечень операций поверки

Наименование операции	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер пункта методики поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр средства измерений	да	да	7
Проверка идентификационных данных программного обеспечения	да	да	9
Определение метрологических характеристик средства измерений:	да	да	9
Определение диапазона измеряемых скоростей	да	да	9.1
Определение нестабильности поддержания скорости	да	нет	9.2
Определение неравномерности поля скоростей в выходном сечении сопла	да	нет	9.3
Определение абсолютной погрешности воспроизведения скорости воздушного потока.	да	да	9.4
Определение диапазона и абсолютной погрешности измерения направления воздушного потока и подтверждение соответствия средства измерений обязательным метрологическим требованиям	да	да	9.5 и 9.6

2.2. Если при проведении той или иной операции поверки получен отрицательный результат, дальнейшая поверка может быть продолжена только на основании заявки Собственника о поверки в сокращенном объеме без канала или поддиапазона с выявленным метрологическим

отказом.

3. ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

3.1 При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

температура окружающего воздуха, °C

20 ± 5 ;

относительная влажность воздуха, %

от 30 до 90;

атмосферное давление, кПа

от 84 до 106,7

Время выдержки приборов во включенном состоянии до проведения поверки должно быть не менее 15 минут.

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 ТЭМС 300 должны допускаться лица, один из которых аттестован в качестве поверителя, изучил эксплуатационную документацию поверяемой ТЭМС 300 и средств поверки и имеет навыки эксплуатации средств поверки.

4.3 При проведении поверки допускается участие оператора, обслуживающего установку по месту эксплуатации.

5. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

5.1 При проведении поверки применяют нижеперечисленные средства поверки и вспомогательное оборудование:

Таблица 2 – Перечень средств поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п. 8 Контроль условий поверки	Средства измерений температуры окружающей среды в диапазоне измерений от 15 до 25 °C с абсолютной погрешностью не более ± 1 °C; Средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 20 до 90 % с погрешностью не более ± 5 %; Средства измерений атмосферного давления в диапазоне от 80 до 106 кПа, с абсолютной погрешностью не более $\pm 0,5$ кПа;	Прибор комбинированный Testo 605-H1, рег.№ 17740-12 Барометр-анероид метеорологический БАММ-1, рег.№ 5738-76
п. 9 Определение метрологических характеристик	- Эталон единицы скорости воздушного потока, соответствующий требованиям к эталонам не ниже вторичного по государственной поверочной схеме для средств измерений скорости воздушного потока, утвержденной приказом федерального агентства по техническому регулированию и	ГЭТ 150-2012 ГПСЭ единицы скорости воздушного потока

	метрологии от 25 ноября 2019 г. № 2815, в диапазоне значений от 0,05 до 100 м/с	
	Средства измерений плоского угла, пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 5'$	Угломеры серии 187 с цифровым отсчетом, рег.№ 78907-20

5.2 Все эталоны и средства измерений (рабочие эталоны) должны иметь действующие аттестаты или свидетельства о поверке, сведения о поверке размещены в ФИФ.

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

6. ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

6.1 При поверке необходимо соблюдать требования:

- правил ТБ при эксплуатации электроустановок;
- требований безопасности при эксплуатации применяемых средств измерений, приведенных в эксплуатационной документации.

6.2 К средствам поверки и используемому при поверке оборудованию обеспечивают свободный доступ.

7. ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 Внешний осмотр

При проведении внешнего осмотра должно быть установлено соответствие ТЭМС 300 следующим требованиям:

- СИ и устройства, входящие в состав ТЭМС 300, не должны иметь механических дефектов, способных повлиять на результаты поверки и препятствующих чтению надписей, маркировки, показаний;
- отсутствие видимых механических повреждений соединительных кабелей;
- органы управления (если таковые имеются) должны перемещаться без заеданий.

7.2 По результатам внешнего осмотра принимается решение о проведении дальнейшей поверки или ее прекращении до устранения выявленных недостатков.

8. ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ОБЯЗАТЕЛЬНЫМ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

8.1 Подготовка к поверке

Перед проведением поверки должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

- проверить наличие формуляра на ТЭМС 300;
- проверить соблюдение требований п.3.1;
- проверить соответствие маркировки, заводского (серийного) номера и комплектности СИ и устройств, входящие в состав ТЭМС 300, данным формуляра.

8.2 Опробование

При опробовании ТЭМС 300 устанавливается работоспособность устройств и СИ, входящих в состав, в соответствии с эксплуатационной документацией на них.

8.3 Идентификация ПО осуществляется по номеру версии. Визуализация идентификационных данных осуществляется в заголовке рабочего окна ПО при запуске и работе ПО, а также в свойствах исполняемого файла (exe), которые можно просмотреть стандартными средствами операционной системы (Windows) и должен быть не ниже 1.x.x.

9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ОБЯЗАТЕЛЬНЫМ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ.

9.1 Определение диапазона скоростей воздушного потока

Определение минимальной воспроизводимой скорости проводится на трубе ТЭМС 300.

На трубе аэродинамической ТЭМС 300 задают скорость 0,1 м/с, контролируя по показаниям эталона. При необходимости нужно уменьшить либо увеличить частоту вращения вентилятора до достижения необходимой скорости (0,1 м/с).

Определение максимальной воспроизводимой скорости проводится на трубе ТЭМС 300.

На трубе аэродинамической ТЭМС 300 задают скорость максимального значения модификации ТЭМС 300, контролируя по показаниям эталона. При необходимости нужно уменьшить либо увеличить частоту вращения вентилятора до достижения необходимой скорости (максимального значения модификации ТЭМС 300: 100, 75 или 55 м/с).

Результаты определения минимальной и максимальной скоростей представляются в виде протокола №1 (см. приложение А).

9.2 Определение нестабильности поддержания скорости.

Испытания проводятся при трех значениях частоты вращения вентилятора n , соответствующих скоростям: $V = 0,1$, в диапазоне 20 – 40 и в диапазоне 55 – 75 м/с.

Устанавливается заданная частота вращения вентилятора n_1 и в течение 10 мин. производятся отсчеты с интервалом в 1 мин. Такие же испытания проводятся для частоты вращения вентилятора, соответствующей остальным скоростям потока.

Для каждого отсчета при $n=\text{const}$ фиксируются показания скорости V_i , затем рассчитывается средняя скорость

$$V_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i \quad (1)$$

и относительное среднеквадратическое отклонение

$$\bar{S}_v = 100 \cdot \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left(\frac{V_i - V_{cp}}{V_{cp}} \right)^2} \quad (2)$$

где N -число отсчетов

Оценка случайной составляющей относительной погрешности от нестабильности скорости при доверительной вероятности $P = 0,95$ и объеме измерений $n > 10$ представляется в виде:

$$\delta_{ct} = 2\bar{S}_v \quad (3)$$

Результаты определения нестабильности поддержания скорости положительные, если выполняется условие:

$$\delta_{ct} \leq \frac{1}{3} \cdot \frac{(0,015 + 0,015 \times V_{cp})}{V_{cp}} \quad (4)$$

9.3 Определение неравномерности поля скоростей в выходном сечении сопла.

Для определения неравномерности поля скоростей в выходном сечении сопла проводят измерения местных скоростей в точках, расположенных на горизонтальной оси симметрии измерительного сопла при скоростях воздушного потока: 10, 20 – 40 и 55 – 75 м/с.

Таблица 3

№	Значения координат		10,0		Значения координат		30,0		Значения координат		55,0	
	X, мм	Z, мм	V, м/с	η_i	X, мм	Z, мм	V, м/с	η_i	X, мм	Z, мм	V, м/с	η_i
1	0	0			0	0			0	0		
2	30	0			30	0			30	0		

3	60	0			60	0			60	0		
4	90	0			90	0			90	0		
5	120	0			120	0			120	0		
6	-30	0			-30	0			-30	0		
7	-60	0			-60	0			-60	0		
8	-90	0			-90	0			-90	0		
9	-120	0			-120	0			-120	0		
10	0	30			0	30			0	30		
11	0	60			0	60			0	60		
12	0	90			0	90			0	90		
13	0	120			0	120			0	120		
14	0	-30			0	-30			0	-30		
15	0	-60			0	-60			0	-60		
16	0	-90			0	-90			0	-90		
17	0	-120			0	-120			0	-120		
V _{ср.}			V _{ср.}			V _{ср.}						
S _p			S _p			S _p						
δ _p			δ _p			δ _p						

Для каждой i-ой точки и V=const рассчитывается местный коэффициент скоростного напора μ_i по следующим соотношениям (3.1 либо 3.2):

$$\mu_i = \frac{\Delta P_{\vartheta i} K_{\vartheta}}{\Delta P_{cp}}, \quad (5)$$

где:

$\Delta P_{\vartheta i}$ – местный скоростной напор, определенный с помощью трубки Пито (Па);

K_{ϑ} - коэффициент трубки Пито по давлению;

ΔP_{cp} – среднее значение скоростного напора, определенное с помощью трубки Пито по всем точкам (Па).

Затем для каждой скорости рассчитывается средний коэффициент μ_{cp} ,

$$\mu_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mu_i \quad (6)$$

где N-число точек в сечении

а также для каждой точки параметр η_i

$$\eta_i = \frac{\mu_i}{\mu_{cp}} \quad (7)$$

и его среднеквадратическое отклонение S_{η}

$$S_{\eta} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\mu_i}{\mu_{cp}} - 1 \right)^2} \quad (8)$$

Оценка случайной составляющей погрешности определения параметра η при доверительной вероятности $P = 0,95$ и объеме выборки $N > 10$ представляется соотношением $\delta_{\eta} = 2S_{\eta}$.

Требования к неравномерности поля скоростных напоров формируются в виде соотношения

$$1,01 \geq \frac{\mu_i}{\mu_{cp}} \geq 0,99 \quad (9)$$

Неравномерность поля скоростных напоров будет допустимой, если $\delta_{\eta} \leq 0,01$.

9.4 Определение погрешности воспроизведения скорости воздушного потока

Исследование метрологических характеристик измерителей скорости воздушного потока, входящих в состав эталона.

9.4.1 Исследование метрологических характеристик приемника полного и статического давления ТЭМС ПИТО (напорной трубы).

Напорную трубку устанавливают в рабочую зону аэродинамической установки из состава ГЭТ 150-2012. Задают значения скорости (не менее 5), равномерно распределенные в диапазоне от 5,0 до максимального значения модификации ТЭМС 300 м/с, включая крайние точки диапазона:

При каждом значении скорости снимают по 10 синхронных отсчетов с интервалом не менее 30 с по эталону и исследуемой трубки.

Определяют коэффициент преобразования исследуемой напорной трубы по формулам:

$$K_{T_j} = \frac{\bar{P}_{\varTheta_j}}{\bar{P}_{T_j}} \cdot K_{\varTheta} \quad (10)$$

$$\bar{P}_{\varTheta_j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{\varTheta_j i} \quad (11)$$

$$\bar{P}_{T_j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{T_j i} \quad (12)$$

где:

K_{\varTheta} - коэффициент преобразования эталонного ППСД;

$P_{T_j i}$ – значения давления с исследуемой трубкой, мм.вод.ст (Па);

$P_{\varTheta_j i}$ - значения давления с эталонного ППСД, мм.вод.ст (Па).

По результатам исследований для каждого номинального значения заданной скорости определяется погрешность измерений скорости ΔV , м/с, в соответствии с формулами (13-14)

$$\Delta V = \delta V \cdot V / 100 \quad (13)$$

$$\delta V = 1,1 \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta K_T}{2}\right)^2 + \left(\frac{\delta P_M}{2}\right)^2} \quad (14)$$

где:

δK_T - погрешность осреднения коэффициента преобразования исследуемой трубы, %;

δP_M – пределы допускаемой относительной погрешности при измерении давления определяют по формуле 15.

$$\delta P_M = \frac{\Delta P}{P} \cdot 100, \% \quad (15)$$

где:

ΔP – основная абсолютная погрешность датчика дифференциального давления, Па.

Абсолютная погрешность при измерении скорости воздушного потока в каждой точке не должна превышать следующего значения:

$$\Delta V = \pm(0,015 + 0,015V) \quad (16)$$

9.4.2 Исследование метрологических характеристик эталона.

Задают значения скорости (не менее 5), равномерно распределенные в диапазоне от 0,1 до 5,0 м/с, включая крайние точки диапазона:

При каждом значении скорости снимают по 10 синхронных отсчетов с интервалом не менее 30 с по эталонному анемометру из состава ГЭТ-150-2012 и поверяемому эталону.

Определяют разность показаний между анемометром и поверяемым эталоном по формуле:

$$\Delta V = V_e - V_a \quad (17)$$

где:

ΔV – разность показаний поверяемого эталона и анемометра, м/с;

V_3 – значение скорости по поверяемому эталону, м/с;

V_a – значение скорости по анемометру, м/с.

По результатам исследований для каждого номинального значения заданной скорости определяется погрешность анемометра ($\overline{\Delta V_j}$):

$$\overline{\Delta V_j} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \Delta V_{ij}}{10} \quad (18)$$

Эталон считают прошедшим испытания, если абсолютная погрешность при воспроизведении скорости воздушного потока в каждой точке не превышает следующего значения:

$$\Delta V = \pm(0,015 + 0,015V) \quad (19)$$

9.4.5 При выполнении условий п.п. 9.3.1-9.3.4 абсолютная погрешность ТЭМС 300 при воспроизведении скорости воздушного потока составляет:

$\Delta v = \pm(0,015 + 0,015V)$ – в диапазоне от 0,1 до максимального значения модификации ТЭМС 300.

9.5 Определение диапазона измерений и абсолютной погрешности измерений направления воздушного потока:

Государственный рабочий эталон 1 разряда единицы плоского угла (далее – эталон) установите на координатный стол из состава ТЭМС 300 таким образом, чтобы начальные значения отсчета соответствовали нулю градусов.

Проведите измерения плоского угла координатного стола, задавая угол поворота стола по показаниям лимба с дискретностью 15 градусов. Пройдите полный оборот в 360 градусов.

На каждом измеренном значении фиксируйте показания координатного стола $\alpha_{изм}$, с лимба, эталонные значения $\alpha_{эт}$, фиксируйте с эталона.

Вычислите абсолютную погрешность измерения угла поворота по формуле:

$$\Delta\alpha = \alpha_{изм} - \alpha_{эт} \quad (20)$$

Результаты считаются положительными, если абсолютная погрешность измерения угла поворота во всех точках не превышает:

$$\Delta\alpha \leq \pm 0,5 \text{ градуса.} \quad (21)$$

9.6 Подтверждение соответствия средства измерений обязательным метрологическим требованиям.

СИ соответствует метрологическим требованиям, если его характеристики соответствуют приведенным в таблице 4.

Таблица 4 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Диапазон воспроизведения скорости воздушного потока, м/с	от 0,1 до 55...100*
Пределы допускаемой абсолютной погрешности воспроизведения скорости воздушного потока, м/с	$\pm(0,015 + 0,015V)**$
Диапазон измерений направления воздушного потока	от 0° до 360°
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений направления воздушного потока	$\pm 0,5^\circ$

*В зависимости от модификации ТЭМС

**V – значение скорости воздушного потока, м/с

Требования к установкам аэродинамическим измерительным, применяемых в качестве рабочего эталона, приведены в таблице 1 Государственной поверочной схемой для средств измерений скорости воздушного потока: пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений Δ , м/с определены как $(0,0006-0,2)+(0,005-0,04)V$.

При соответствии пределов абсолютной погрешности измерений ТЭМС этим требованиям она признается прошедшей поверку по данному пункту.

10. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

10.1. Результаты поверки оформляются протоколом (рекомендуемая форма приведена в Приложении А).

10.2. При отрицательных результатах периодической поверки ТЭМС бракуют с выдачей извещения о непригодности установленного образца.

10.3. Информация о поверке ТЭМС передается в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в установленном порядке.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(рекомендуемое)

Протокол поверки установки аэродинамической измерительной малых скоростей ТЭМС 300

Заводской номер _____

Год выпуска _____

Принадлежит _____

Вид поверки _____

Средства поверки _____

Эталонное оборудование _____

	Данные при измерениях	
	$V_{\min}, \text{м/с}$	$V_{\max}, \text{м/с}$
V		
\bar{S}_v		
δ'_v		

Определение стабильности поддержания скорости

$V, \text{м/с}$	$t, \text{мин}$	V_i	V_{cp}	δ_{ct}
	0			
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			

Определение погрешности воспроизведения скорости воздушного потока

$N_0 N_0$	$V_0, \text{м/с}$	$V_a, \text{м/с}$	$V_0, \text{м/с}$	$V_a, \text{м/с}$	$V_0, \text{м/с}$	$V_a, \text{м/с}$
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
$V_{cp}, \text{м/с}$						
$\Delta V_{cp}, \text{м/с}$						
Допуск, м/с						

Определение неравномерности поля скоростей в выходном сечении сопла

№ №	Значения координат		10,0		Значения координат		30,0		Значения координат		55	
	X, мм	Z, мм	V, м/с	η_i	X, мм	Z, мм	V, м/с	η_i	X, мм	Z, мм	V, м/с	η_i
1	0	0			0	0			0	0		
2	30	0			30	0			30	0		
3	60	0			60	0			60	0		
4	90	0			90	0			90	0		
5	120	0			120	0			120	0		
6	-30	0			-30	0			-30	0		
7	-60	0			-60	0			-60	0		
8	-90	0			-90	0			-90	0		
9	-120	0			-120	0			-120	0		
10	0	30			0	30			0	30		
11	0	60			0	60			0	60		
12	0	90			0	90			0	90		
13	0	120			0	120			0	120		
14	0	-30			0	-30			0	-30		
15	0	-60			0	-60			0	-60		
16	0	-90			0	-90			0	-90		
17	0	-120			0	-120			0	-120		
V _{ср.}					V _{ср.}				V _{ср.}			
S _p					S _p				S _p			
δ_p					δ_p				δ_p			

Установка аэродинамическая измерительная малых скоростей
ТЭМС 300- признана _____ к эксплуатации.
(годен, не годен)

Дата поверки "___" 20__ г.

Поверитель _____ / _____ /
(подпись) (Ф.И.О.)