

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

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор



А. Н. Пронин

2023 г.

Заместитель генерального директора
Е. П. Кривцов
доверенность № 54/2021
от 24.12.2021

Государственная система обеспечения единства измерений

Труба аэродинамическая АДТ-01

МП 2550-0394-2023

Методика поверки

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

 К. В. Попов

Санкт-Петербург
2023

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Настоящая методика поверки распространяется на Трубу аэродинамическую АДТ-01 (далее – труба), и устанавливает методику ее первичной и периодической поверки.

Методикой поверки обеспечивается прослеживаемость трубы 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 единиц линейного ускорения и плоского угла при угловом перемещении твердого тела ГЭТ 94-2001 в соответствии с ГОСТ 8.577-2002 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений линейного ускорения и плоского угла при угловом перемещении твердого тела».

Методика поверки не предусматривает проведения поверки отдельных измерительных каналов и (или) отдельных автономных блоков из состава средства измерений, для меньшего числа измеряемых величин или 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
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	да	да	8
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	да	да	9.5
Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	да	да	10
Подтверждение соответствия средства измерений обязательным метрологическим требованиям	да	да	11

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

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 установки должны допускаться лица, один из которых аттестован в качестве поверителя, изучил эксплуатационную документацию поверяемой установки 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 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 метрологии от 25 ноября 2019 г. № 2815, в диапазоне значений от	ГЭТ 150-2012 ГПСЭ единицы скорости воздушного потока

	0,05 до 80 м/с - Государственный рабочий эталон 1 разряда единицы плоского угла при угловом перемещении твердого тела в диапазоне от 0° до 360°	от 0° до 360° Погрешность ±2'
--	--	----------------------------------

5.2 Все эталоны и средства измерений (рабочие эталоны) должны иметь действующие аттестаты и 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 установки следующим требованиям:

- СИ и устройства, входящие в состав установки, 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

8.1 Подготовка к поверке

Перед проведением поверки должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

- проверить наличие паспорта на трубу;

- проверить соблюдение требований п.3.1;

- проверить соответствие маркировки, заводского (серийного) номера и комплектности СИ и устройств, входящие в состав трубы, паспортным данным.

8.2 Опробование

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

9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

9.1 Определение диапазона скоростей воздушного потока

На трубе аэродинамической АДТ-1 задают скорость 0,3 м/с, контролируя по показаниям эталона. При необходимости нужно уменьшить либо увеличить частоту вращения вентилятора до достижения необходимой скорости (0,3 м/с).

Определение максимальной воспроизводимой скорости проводится на трубе АДТ-1.

На трубе аэродинамической АДТ-1 задают скорость 45 м/с, контролируя по показаниям эталона. При необходимости нужно уменьшить либо увеличить частоту вращения вентилятора до

достижения необходимой скорости (45 м/с).

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

9.2 Определение нестабильности поддержания скорости.

Проверку проводят при трех значениях частоты вращения вентилятора n , соответствующих скоростям: $V = 0,3, 15$ и 45 м/с.

Устанавливают частоту вращения вентилятора n_1 и в течение 10 мин. производятся отсчеты с интервалом в 1 мин. Такие же операции проводят для частоты вращения вентилятора, соответствующей остальным скоростям потока.

Для каждого отсчета при $n = \text{const}$ фиксируют показания скорости V_i , затем рассчитывают среднюю скорость

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

и относительное среднеквадратическое отклонение

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

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 $\delta_{cm} = 2\bar{S}_v$.

Результаты определения нестабильности поддержания скорости положительные, если выполняется условие $\delta_{ct} \leq 1,0\%$.

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: 5,0, 15 и 45 м/с.

Таблица 3

№№	Значения координат		5,0		Значения координат		15,0		Значения координат		45,0	
	X, мм	Z, мм	μ	η_i	X, мм	Z, мм	μ	η_i	X, мм	Z, мм	μ	η_i
1	0,0	0			0,0	0			0,0	330		
2	30,0	0			30,0	0			0,0	300		
3	60,0	0			60,0	0			0,0	270		
4	90,0	0			90,0	0			0,0	240		
5	120,0	0			120,0	0			0,0	210		
6	150,0	0			150,0	0			0,0	180		
7	180,0	0			180,0	0			0,0	150		
8	210,0	0			210,0	0			0,0	120		
9	240,0	0			240,0	0			0,0	90		
10	270,0	0			270,0	0			0,0	60		
11	300,0	0			300,0	0			0,0	30		
12	-30,0	0			-30,0	0			0,0	0		
13	-60,0	0			-60,0	0			0,0	-30		
14	-90,0	0			-90,0	0			0,0	-60		
15	-120,0	0			-120,0	0			0,0	-90		
16	-150,0	0			-150,0	0			0,0	-120		
17	-180,0	0			-180,0	0			0,0	-150		

18	-210,0	0			-210,0	0			0,0	-180		
19	-240,0	0			-240,0	0			0,0	-210		
20	-270,0	0			-270,0	0			0,0	-240		
21	-300,0	0			-300,0	0			0,0	-270		
	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 рассчитывают местный коэффициент скоростного напора μ_i по следующим соотношениям:

$$\mu_i = \frac{\Delta P_{\text{з}_i} K_3}{\Delta P_{\text{ср}}} , \quad (3)$$

где:

$\Delta P_{\text{з}_i}$ – местный скоростной напор, определенный с помощью трубы Пито (Па);

K_3 - коэффициент трубы Пито по давлению;

$\Delta P_{\text{ср}}$ – среднее значение скоростного напора, определенное с помощью трубы Пито по всем точкам (Па).

Затем для каждой скорости рассчитывают средний коэффициент $\mu_{\text{ср}}$,

$$\mu_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mu_i \quad (4)$$

, где N-число точек в сечении

а также для каждой точки параметр η_i

$$\eta_i = \frac{\mu_i}{\mu_{\text{ср}}} \quad (5)$$

и его среднеквадратическое отклонение S_η

$$S_\eta = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\mu_i}{\mu_{\text{ср}}} - 1 \right)^2} \quad (6)$$

Оценка случайной составляющей погрешности определения параметра η при доверительной вероятности $P = 0,95$ и объеме выборки $N > 20$ представляется соотношением $\delta_\eta = 2S_\eta$.

Требования к неравномерности поля скоростных напоров формируются в виде соотношения

$$1,1 \geq \frac{\mu_i}{\mu_{\text{ср}}} \geq 0,90 \quad (7)$$

Результаты определения неравномерности поля скоростей признаются положительными, если $\delta_\eta \leq 0,10$.

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 ТрН6 (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 45,0 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:

$$K_{T_j} = \frac{\bar{P}_{\vartheta_j}}{\bar{P}_{T_j}} \cdot K_{\vartheta} \quad (8)$$

$$\bar{P}_{\vartheta_j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{\vartheta_{j_i}} \quad (9)$$

$$\bar{P}_{T_j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{T_{j_i}} \quad (10)$$

где:

K_{ϑ} - 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 (11-12)

$$\Delta V = \delta V \cdot V / 100 \quad (11)$$

$$\delta V = 1,1 \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta K_T}{2}\right)^2 + \left(\frac{\delta P_M}{2}\right)^2} \quad (12)$$

где:

δK_T - погрешность осреднения коэффициента преобразования исследуемой трубы, %;

δP_M – пределы допускаемой относительной погрешности при измерении давления (для манометра дифференциального цифрового ДМЦ-01 определяют по формуле 13), %.

$$\delta P_M = \frac{\Delta P}{P} \cdot 100, \% \quad (13)$$

где:

ΔP – пределы допускаемой абсолютной погрешности ДМЦ-01, Па;

P – измеренное значение разности давлений, Па

$$\Delta P = \pm (1 + 0,005P) \quad (14)$$

Результаты определения абсолютной погрешности при измерении скорости воздушного потока признают положительными, если в каждой точке она не превышает

$$\Delta V = \pm(0,1 + 0,02V) \quad (15)$$

9.4.2 Исследование метрологических характеристик эталона.

Задают значения скорости (не менее 5), равномерно распределенные в диапазоне от 0,3 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 исследуемому эталону.

Определяют разность показаний между анемометром и исследуемым эталоном по формуле:

$$\Delta V = V_{\vartheta} - V_{\vartheta_a} \quad (16)$$

где:

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

V_{ϑ} – значение скорости по исследуемому эталону, м/с;

V_{3a} – значение скорости по анемометру, м/с.

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

$$\overline{\Delta V_j} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \Delta V_{ij}}{10} \quad (17)$$

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

$$\Delta V = \pm(0,1 + 0,02V) \quad (18)$$

9.4.5 При выполнении условий п.п. 4.3.1-4.3.4 абсолютная погрешность АДТ-1 при воспроизведении скорости воздушного потока составляет:

$$\Delta v = \pm(0,1 + 0,02V) – в диапазоне от 0,3 до 45 м/с.$$

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

Государственный рабочий эталон 1 разряда единицы плоского угла при угловом перемещении твердого тела (далее – эталон) устанавливают на координатный стол из состава АДТ-1, обнуляют показания эталона, при соответствующем положении лимба..

Проводят измерения плоского угла координатного стола, задавая угол поворота стола по показаниям лимба с дискретностью 20° . Проводят полный оборот в 360° .

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

Вычисляют абсолютную погрешность измерения угла поворота по формуле:

$$\Delta\alpha = \alpha_{изм} - \alpha_{эт} \quad (19)$$

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

$$\Delta\alpha \leq \pm 1^\circ \quad (20)$$

10. ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ОБЯЗАТЕЛЬНЫМ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

СИ соответствует метрологическим требованиям, указанным в описании типа, если его характеристики соответствуют приведенным в таблице 4

Таблица 4 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Диапазон воспроизведения скорости воздушного потока, м/с	от 0,3 до 45
Пределы допускаемой абсолютной погрешности воспроизведения скорости воздушного потока, м/с	$\pm(0,1 + 0,02V)^*$
Диапазон измерений направления воздушного потока	от 0° до 360°
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений направления воздушного потока	$\pm 1,0^\circ$
<i>*V – значение скорости воздушного потока, м/с</i>	

11. ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ОБЯЗАТЕЛЬНЫМ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

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 установки этим требованиям она признается прошедшей поверку по данному пункту.

12. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

12.1 Результаты поверки внести в протокол, форма которого приведена в приложении А.

12.2 Положительные результаты первичной поверки установки оформляют записью в паспорте, заверенной поверителем (подпись поверителя, расшифровка подписи и дата поверки) и удостоверенной оттиском клейма, и (или) выдают свидетельство о поверке установленного образца.

12.3 Положительные результаты периодической поверки трубы оформляют записью в паспорте, заверенной поверителем (подпись поверителя, расшифровка подписи и дата поверки) и удостоверенной оттиском клейма, и (или) выдают свидетельство о поверке установленного образца.

12.4 При отрицательных результатах периодической поверки трубу бракуют с выдачей извещения о непригодности установленного образца.

12.5 Результаты поверки заносят в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(рекомендуемое)

Протоколы поверки трубы аэrodинамической АДТ-01

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

$\text{№} \text{№}$	$V_{za}, \text{м/с}$	$V_z, \text{м/с}$	$V_{za}, \text{м/с}$	$V_z, \text{м/с}$	$V_{za}, \text{м/с}$	$V_z, \text{м/с}$
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		5,0		Значения координат		15,0		Значения координат		45,0	
	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			0,0	330		
2	30,0	0			30,0	0			0,0	300		
3	60,0	0			60,0	0			0,0	270		
4	90,0	0			90,0	0			0,0	240		
5	120,0	0			120,0	0			0,0	210		
6	150,0	0			150,0	0			0,0	180		
7	180,0	0			180,0	0			0,0	150		
8	210,0	0			210,0	0			0,0	120		
9	240,0	0			240,0	0			0,0	90		
10	270,0	0			270,0	0			0,0	60		
11	300,0	0			300,0	0			0,0	30		
12	-30,0	0			-30,0	0			0,0	0		
13	-60,0	0			-60,0	0			0,0	-30		
14	-90,0	0			-90,0	0			0,0	-60		
15	-120,0	0			-120,0	0			0,0	-90		
16	-150,0	0			-150,0	0			0,0	-120		
17	-180,0	0			-180,0	0			0,0	-150		
18	-210,0	0			-210,0	0			0,0	-180		
19	-240,0	0			-240,0	0			0,0	-210		
20	-270,0	0			-270,0	0			0,0	-240		
21	-300,0	0			-300,0	0			0,0	-270		
	V_{cp}				V_{cp}				V_{cp}			
	S_p				S_p				S_p			
	δ_p				δ_p				δ_p			

Труба аэродинамическая АДТ-01 признана _____ к эксплуатации.
(годен, не годен)

Дата поверки "___" ____ 20__ г.

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