

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

2022 г.



Государственная система обеспечения единства измерений

Установка аэродинамическая АИУ-80

МП 2550-0393-2022

Методика поверки

Руководитель отдела

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

К. В. Попов

Санкт-Петербург
2022

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Настоящая методика поверки распространяется на Установка аэродинамическая АИУ-80 (далее – установка), и устанавливает методику их первичной и периодической поверки.

Методикой поверки обеспечивается прослеживаемость установки к 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».

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	да	да	7
Опробование	да	да	8
Проверка идентификационных данных программного обеспечения	да	да	9
Определение метрологических характеристик:	да	да	10
Определение диапазона измеряемых скоростей	да	да	10.1
Определение стабильности поддержания скорости	да	нет	10.2
Определение неравномерности поля скоростей в выходном сечении сопла	да	нет	10.3
Определение погрешности воспроизведения скорости воздушного потока	да	да	10.4
Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	да	да	11
Оформление результатов поверки	да	да	12

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, °С	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.

3.2 Параметры электропитания – в соответствии с эксплуатационной документацией установки и средств поверки.

4. ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ

4.1 Управление оборудованием установки 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, имеющие необходимую квалификацию.

4.3 При проведении поверки допускается участие оператора, обслуживающего установку по месту эксплуатации. Участие оператора ограничивается управлением оборудованием установки по указаниям поверителя, остальные операции выполняются поверителем.

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. 3.1 Контроль условий поверки	Средства измерений температуры окружающей среды в диапазоне измерений от 15 до 25 °С с абсолютной погрешностью не более 1 °С; 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-N1, рег.№ 17740-12 Барометр-анероид метеорологический БАММ-1, рег.№ 5738-76
п. 10 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 80 м/с	
Допускается применение других средств поверки, обеспечивающих определение (контроль) метрологических характеристик поверяемых СИ с требуемой точностью.		

5.2 Все эталоны и средства измерений (рабочие эталоны) должны иметь действующие аттестаты и свидетельства о поверке, сведения о поверке размещены в ФИФ. 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;
- требованиями безопасности при эксплуатации применяемых средств измерений, приведенными 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 препятствующие 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 установку;
- проверить соответствие маркировки, заводского (серийного) номера и комплектности СИ и устройств, входящие в состав установки, 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. ПРОВЕРКА ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ ДАННЫХ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ (ПО)

Идентификация ПО осуществляется по наименованию и номеру версии в заголовке окне программы.

Идентификационные данные ПО должны соответствовать данным приведенным в

таблице 3.

Таблица 3 – Идентификационные данные ПО

Идентификационные данные (признаки) ПО	Значение
Идентификационное наименование ПО	Tube Manager
Номер версии (идентификационный номер) ПО:*	1.0
*не ниже	

Результат проверки считается положительным, если идентификационные данные ПО соответствуют указанным в таблице 3.

10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Средства измерений из состава установки, микроанометр МКВ-250 и измеритель давления цифровой ИДЦ-2) должны иметь действующие свидетельства о поверке.

10.1 Определение диапазона измеряемых скоростей.

Определение минимальной воспроизводимой скорости проводится на трубе АТБ-2 с помощью измерителя комбинированного АМ-30 (термоанемометр) из состава установки.

На трубе аэродинамической АТБ-2 задают скорость 0,05 м/с, контролируя по показаниям АМ-30. При необходимости нужно уменьшить либо увеличить частоту вращения вентилятора до достижения необходимой скорости (0,05 м/с).

Определение максимальной воспроизводимой скорости проводится на трубе АТМ-1 с помощью трубки Пито из состава установки.

На трубе аэродинамической АТМ-1 задают скорость 80 м/с, контролируя по показаниям измерителя давления ИДЦ-2, подключенному к трубке Пито. При необходимости нужно уменьшить либо увеличить частоту вращения вентилятора до достижения необходимой скорости (80 м/с).

10.2 Определение стабильности поддержания скорости.

При определении стабильности поддержания скорости используют измеритель комбинированный АМ-30 (для скоростей до 5 м/с) и трубку Пито (для скоростей выше 5 м/с) из состава установки.

Измерения проводятся:

- на трубе аэродинамической АТМ-1 при трех значениях частоты вращения вентилятора n_1 , n_2 и n_3 , соответствующих скоростям: $V = 10$ м/с, 40 м/с и 70 м/с.
- на трубе аэродинамической АТБ-2 при трех значениях частоты вращения вентилятора n_1 , n_2 и n_3 , соответствующих скоростям: $V = 0,5$ м/с, 20 м/с и 50 м/с.

Устанавливается заданная частота вращения вентилятора n_1 и в течение 10 мин. производятся отсчеты с интервалом в 1 мин. Такие же измерения проводятся для частоты вращения вентилятора n_2 и n_3 .

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

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

, где N-число отсчетов

Оценка случайной составляющей относительной погрешности от нестабильности скорости при доверительной вероятности $P = 0,95$ и объеме измерений > 10 представляется в виде $\delta_{cm} = 2\bar{S}_v$.

Результат поверки положительный, если выполняется условие $\delta_{cm} \leq 1,0 \%$.

10.3 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:

- для трубы аэродинамической АТМ-1: 10 м/с, 40 м/с и 70 м/с.
- для трубы аэродинамической АТБ-2: 0,5 м/с, 20 м/с и 50 м/с.

На скорости до 5 м/с в качестве измерителя используется измеритель комбинированный АМ-30 (термоанемометр), на скоростях выше 5 м/с трубка Пито из состава установки.

Таблица 4

АТМ-1	Ось У (по вертикали), мм	0	+15	+30
	Ось Z (по горизонтали), мм	0	-15	-30
АТБ-2	Ось У (по вертикали), мм	0	+30	+70
	Ось Z (по горизонтали), мм	0	-30	-70

Для каждой *i*-ой точки и $V=\text{const}$ рассчитывается местный коэффициент скоростного напора μ_i по следующим соотношениям:

$$\mu_i = \frac{\Delta P_{эi} K_{э}}{\Delta P_{cp}}, \quad (3)$$

, где

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

$K_{э}$ - коэффициент трубки Пито по давлению;

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

Рассчитанные величины местных коэффициентов скоростного напора в исследованных точках поля рабочей части аэродинамических труб при заданных скоростях приводятся в таблицах, форма которых указана ниже.

Таблица 5а - Труба АТМ-1

Значения координат		Значения местного коэффициента скоростного напора (допускается знач. местной скорости)		
X, мм	Y, мм	V=10 м/с	V=40 м/с	V=70 м/с
+30	+30			
+15	+15			
0	0			
-15	-15			
-30	-30			

Таблица 5б - Труба АТБ-2

Значения координат		Значения местного коэффициента скоростного напора (допускается знач. местной скорости)		
X, мм	Y, мм	V=0,5 м/с	V=20 м/с	V=50 м/с
+70	+70			
+30	+30			
0	0			
-30	-30			
-70	-70			

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

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

где N-число точек в сечении
а также для каждой точки параметр η_i

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

и его среднеквадратическое отклонение S_η

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

Оценка случайной составляющей погрешности определения параметра η при доверительной вероятности $P = 0,95$ и объеме выборки $N = 30$ представляется соотношением $\delta\eta = 2S_\eta$.

Требования к неравномерности поля скоростных напоров формируются в виде соотношения

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

Неравномерность поля скоростных напоров будет допустимой, если $\delta\eta \leq 0,10$.

10.4 Определение погрешности воспроизведения скорости воздушного потока

Исследование метрологических характеристик измерителей скорости воздушного потока, входящих в состав установки

10.4.1 Исследование метрологических характеристик Измерителя комбинированного АМ-30 (далее - анемометр).

Анемометр устанавливают в рабочую зону аэродинамической установки из состава ГЭТ 150-2012. Задают значения скорости (не менее 5), равномерно распределенные в диапазоне от 0,05 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 эталону и исследуемому анемометру.

Определяют разность показаний между эталоном и исследуемым анемометром по формуле:

$$\Delta V = V_a - V_э \quad (8)$$

где:

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

$V_э$ – значение скорости по эталону, м/с;

V_a – значение скорости по анемометру, м/с.

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

$$\overline{\Delta V}_j = \frac{\sum_{i=1}^{10} \Delta V_{ij}}{10} \quad (9)$$

Анемометр считают прошедшим испытания, если абсолютная погрешность анемометра при измерении скорости воздушного потока в каждой точке не превышает следующего значения:

$$\Delta V = \pm(0,05 + 0,02V) \quad (10)$$

10.4.2 Исследование метрологических характеристик трубки Пито (напорной трубки)

Напорную трубку устанавливают в рабочую зону аэродинамической установки из состава ГЭТ 150-2012, подключают к системе СИПП из состава ГЭТ. Задают значения

скорости (не менее 5), равномерно распределенные в диапазоне от 5,0 до 80,0 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 трубке.

Определяют коэффициент преобразования исследуемой напорной трубки по формулам:

$$K_{Tj} = \frac{\bar{P}_{\Delta j}}{\bar{P}_{Tj}} \cdot K_{\Delta} \quad (11)$$

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

$$\bar{P}_{Tj} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{Tji} \quad (13)$$

где:

K_{Δ} - коэффициент преобразования эталонного ППСД;

P_{Tji} – значения давления с исследуемой трубки, мм вод.ст (Па);

$P_{\Delta ji}$ - 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 (14-15)

$$\Delta V = \delta V \cdot V/100 \quad (14)$$

$$\delta V = 1,1 \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta_{K_T}}{2}\right)^2 + \left(\frac{\gamma \cdot P_H}{2 \cdot \Delta P}\right)^2} \quad (15)$$

где:

δ_{K_T} - погрешность осреднения коэффициента преобразования исследуемой трубки, %;

γ – пределы допускаемой приведенной погрешности дифференциального манометра (для микроманометра МКВ-250 P_H составляет 250 мм вод.ст, $\gamma = 0,02$, для Измерителя давления цифрового ИДЦ-2 P_H составляет 20,0 кПа, $\gamma = 0,05$).

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

$$\Delta V = \pm(0,05 + 0,02V) \quad (16)$$

10.5 При выполнении условий п. п. 10.1-10.4 абсолютная погрешность установки при измерении скорости воздушного потока составляет: $\Delta v = \pm(0,05 + 0,02V)$ – в диапазоне от 0,05 до 80 м/с.

11. ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

Установка считается прошедшей поверку при положительных результатах проверки по п. 7, 8, 9, 10:

- При проведении внешнего осмотра установлено соответствие установки требованиям п. 7.1;
- При опробовании установки установлена работоспособность устройств и СИ, входящих в состав установки, в соответствии с эксплуатационной документацией на них.
- Идентификационные данные ПО соответствуют указанным в таблице 3;
- Диапазон воспроизводимых скоростей соответствует значениям от 0,05 до 80 м/с;

- При определении стабильности поддержания скорости выполняется условие $\delta_{cm} \leq 1,0\%$;
- Неравномерность поля скоростных напоров соответствует условию: $\delta\eta \leq 0,10$;
- Абсолютная погрешность при измерении скорости воздушного потока не превышает следующего значения: $\Delta V = \pm(0,05 + 0,02V)$.

По результатам поверки подтверждаются требования, предъявляемые к рабочим эталонам в соответствии с ГПС для средств измерений скорости воздушного потока.

12. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

12.1 Результаты поверки вносят 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 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.

12.4 При отрицательных результатах периодической поверки установку 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 установки аэродинамической АИУ-80

Заводской номер _____

Год выпуска _____

Принадлежит _____

Вид поверки _____

Эталонное оборудование _____

Протокол поверки №1

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

Протокол поверки №2

V , м/с	t , мин	V_i	$V_{\text{ср}}$	$\delta_{\text{ст}}$
0,5 м/с	0			
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
20 м/с	0			
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
50 м/с	0			
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
10				

$V, \text{ м/с}$	$t, \text{ МИН}$	V_i	$V_{\text{ср}}$	$\delta_{\text{ср}}$
10 м/с	0			
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
40 м/с	0			
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
70 м/с	0			
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			

Протокол поверки №3

$V = 0,5 \text{ м/с}$	$\mu_{\text{ср}}$	
	S_{η}	
	δ_{η}	
$V = 20 \text{ м/с}$	$\mu_{\text{ср}}$	
	S_{η}	
	δ_{η}	
$V = 50 \text{ м/с}$	$\mu_{\text{ср}}$	
	S_{η}	
	δ_{η}	

$V = 10 \text{ м/с}$	$\mu_{\text{ср}}$	
	S_{η}	
	δ_{η}	
$V = 40 \text{ м/с}$	$\mu_{\text{ср}}$	
	S_{η}	
	δ_{η}	
	$\mu_{\text{ср}}$	

V = 70 м/с	S _η	
	δ _η	

Установка аэродинамическая АИУ-80 признана _____ к эксплуатации.
(годен, не годен)

Дата поверки " ____ " _____ 20__ г.

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