

**Федеральное автономное учреждение
«Центральный аэрогидродинамический институт
имени профессора Н.Е. Жуковского»
ФАУ «ЦАГИ»**

СОГЛАСОВАНО

Начальник отделения измерительной
техники и метрологии,
главный метролог ФАУ «ЦАГИ»

 В.В. Петроневич

«29» 08 2023 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

Стенд для калибровки аэродинамических тензометрических весов 6ГС-60

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

МП 4.28.019-2023

г. Жуковский
2023 г.

1 Область применения

Настоящий документ распространяется на стенд для калибровки аэродинамических тензометрических весов 6ГС-60 (заводской номер 2015-01) (далее – стенд) и устанавливает методику его первичной и периодической поверки.

2 Термины и определения

В настоящей методике поверки используются термины с соответствующими определениями, приведенные в Федеральном законе [1].

3 Общие положения

3.1 Настоящая методика поверки применяется для поверки стенда, используемого в качестве рабочего эталона в соответствии с локальной поверочной схемой [2], и передачи ему единицы силы и момента силы методом косвенных измерений. Структурная схема локальной поверочной схемы приведена в приложении А.

3.2 Прослеживаемость стенда обеспечивается к государственному первичному эталону единицы массы ГЭТ 3-2020 [3] и государственному первичному эталону единицы длины ГЭТ 2-2021 [4].

3.3 В результате поверки должны быть подтверждены метрологические требования, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
При измерении силы и момента силы	
Диапазон измерений силы, Н ¹⁾ , на каналах: F _x (+/-) F _y (+) F _y (-) F _z (+/-)	от 60 до 5060 от 4500 до 22500 от 3000 до 18000 от 120 до 5120
Диапазон измерений момента силы, Н·м ¹⁾ , на каналах: M _x (+/-) M _y (+/-) M _z (+/-)	от 430 до 2160 от 330 до 2130 от 1500 до 6000
Пределы допускаемой основной приведенной погрешности измерений при изолированном нагружении ²⁾ , %, на каналах: F _x (+/-) F _y (+/-) F _z (+/-) M _x (+/-) M _y (+/-) M _z (+/-)	± 0,05 ± 0,08 ± 0,05 ± 0,45 ± 0,12 ± 0,30
Пределы допускаемой дополнительной приведенной погрешности измерений при комбинированном нагружении ³⁾ , %, на каналах: F _x (+/-) F _y (+/-) F _z (+/-) M _x (+/-) M _y (+/-) M _z (+/-)	± 0,20 ± 0,04 ± 0,20 ± 0,08 ± 0,50 ± 0,10

Нормирующее значение для определения основной и дополнительной приведенной погрешности измерений: F _x , F _z F _y M _x , M _y M _z	5000 Н 20000 Н 2000 Н·м 6000 Н·м
При измерении электрических сигналов тензометрических датчиков	
Диапазон измерений электрического сигнала, мВ/В	± (от 0,2 до 5,0)
Пределы допускаемой основной приведенной к верхнему пределу измерений погрешности измерений, %	0,0025
¹⁾ Индексы «x», «y», «z» обозначают оси станда, знаки «+» и «-» – положительное и отрицательное направление относительно этих осей ²⁾ Под изолированным понимается нагружение силой или моментом силы на одном канале при отсутствии подгрузки на других каналах; ³⁾ Под комбинированным понимается нагружение силой или моментом силы на одном канале при наличии постоянной подгрузки на каком-либо другом канале	

4 Перечень операций поверки

4.1 При проведении поверки должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Операции при поверке

Наименование операции	Проведение операции поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр	Да	Да	9
Подготовка к поверке и опробование	Да	Да	10
Проверка программного обеспечения средства измерений	Да	Да	11
Определение метрологических характеристик	Да	Да	12
Определение плеч приложения силы при эталонном нагружении	Да	Да	12.1
Определение массы элементов нагружения станда, учитываемой при эталонном нагружении	Да	Да	12.2
Контроль выравнивания осей системы эталонного нагружения	Да	Да	12.3
Определение погрешности измерений силы и момента силы	Да	Да	12.4
Определение погрешности измерений электрического сигнала тензометрических датчиков	Да	Да	12.5
Подтверждение соответствия установки метрологическим и обязательным требованиям	Да	Да	13

4.2 При получении отрицательного результата любой из операций по таблице 1 поверку установки рекомендуется прекратить. Последующие операции поверки проводят, если отрицательный результат предыдущей операции не влияет на достоверность поверки последующего параметра.

5 Требования к условиям проведения поверки

5.1 При выполнении измерений в процессе поверки соблюдают следующие условия:

Температура воздуха, °С	20±2
Изменение температуры в течение 1 часа, °С	0,5, не более
Относительная влажность воздуха, %	58±20
Атмосферное давление, кПа	от 84 до 106
Напряжение сети переменного тока, В	380 ± 38; 220 ± 22
Частота сети, Гц	50 ± 1

5.2 Помещение, в котором установлен стенд и проводятся измерения силы (массы), должно быть оборудовано виброзащитным фундаментом или виброгасящими подушками по периметру опорной плиты стенда.

5.3 Меры массы и гири перед применением должны быть выдержаны в помещении, где будут проводиться измерения, не менее 12 часов. Измерительное оборудование и контрольные СИ с питанием от сети переменного тока после включения должны быть выдержаны не менее 15 минут.

6 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

6.1 В качестве персонала, выполняющего непосредственные измерения при поверке, допускаются лица с высшим образованием или среднетехническим и дополнительным образованием по профилю, соответствующему выполняемым измерениям.

6.2 В качестве персонала, выполняющего обработку результатов измерений и вычисление параметров при поверке, допускаются лица с высшим образованием.

6.3 Персонал, выполняющий поверку, должен иметь опыт определения метрологических характеристик станков для калибровки аэродинамических весов, а также опыт практической работы с эталонами и средствами измерений, указанными в таблице 3, не менее трех лет.

7 Метрологические и технические требования к средствам поверки

7.1 При выполнении поверки по данной методике применяют средства поверки, приведенные в таблице 3 и соответствующие требованиям локальной поверочной схемы [2]. Допускается применять средства поверки с метрологическими и техническими характеристиками, отличные от рекомендуемых, в том случае, если они обеспечивают требуемую точность передачи единиц величин поверяемой установке.

7.2 Эталоны единиц величин, используемые при поверке, должны быть утверждены приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в соответствии с пунктом 6 Положения об эталонах единиц величин [5] и аттестованы. Средства измерений, применяемые в качестве эталонов, должны быть утвержденного типа и поверены в качестве эталонов. Средства измерений должны быть утвержденного типа и поверены.

Таблица 3 – Средства поверки

Метрологические и технические требования к средствам поверки	Рекомендуемые для применения средства поверки	Номер пункта методики поверки
1 Приборы для измерений наружных и внутренних размеров (машины координатные) Диапазон измерений: от 0 до 1200 мм Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений: ±30 мкм, не более	Машина координатная измерительная портативная CimCore5124 INFINITE 2.0 Plus Регистрационный номер 42764-09 Диапазон измерений от 0 до 2400 мм Пределы допускаемой погрешности измерений ± 0,029 мм	12.1

Метрологические и технические требования к средствам поверки	Рекомендуемые для применения средства поверки	Номер пункта методики поверки
<p>2 Весы лабораторные электронные Наибольший предел взвешивания 10 кг, не менее; Наименьший предел взвешивания 5 кг, не более; Пределы допускаемой погрешности в интервале взвешивания от 5 до 10 кг ± 500 мг</p>	<p>Весы лабораторные электронные HJR-22KSCE Регистрационный номер 32254-06 - наибольший предел взвешивания 22 кг; - наименьший предел взвешивания 5 г; - пределы допускаемой погрешности в интервале взвешивания от 5 до 20 кг (от 5000e до 20000e; e = 1000 мг) ± 500 мг</p>	12.2
<p>3 Уровни рамные - цена деления 0,1 мм/м; - допускаемая погрешность $\pm 0,03$ мм/м</p> <p>4 Штангенциркули ШЦ-II Диапазон измерений: 0 – 500 мм Класс точности 2</p> <p>5 Линейки измерительные металлические - предел измерения 300 мм; - отклонение общей длины и расстояния между любым штрихом и началом или концом шкалы не более $\pm 0,1$ мм</p> <p>6 Приборы для измерений наружных и внутренних размеров (машины координатные) Диапазон измерений: от 0,1 до 10 м Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений: ± 30 мкм, не более</p>	<p>Уровень рамный Регистрационный номер 1763-63 - длина рабочей поверхности 200 мм; - цена деления 0,1 мм/м; - допускаемая погрешность $\pm 0,03$ мм/м</p> <p>Штангенциркуль ШЦ-II Регистрационный номер 25387-03 - диапазон измерений от 0 до 500 мм; - цена деления 0,1 мм; - пределы допускаемой погрешности $\pm 0,1$ мм;</p> <p>Линейка измерительная металлическая Регистрационный номер 20048-00 - диапазон измерений от 0 до 300 мм; - допускаемое отклонение $\pm 0,1$ мм</p> <p>Система лазерная координатно-измерительная API Radian Pro; R-50, Регистрационный номер 78542-20 - диапазон измерений: от 0,1 до 50 м; - пределы допускаемой абсолютной погрешности: $\pm(10+5L)$ мкм, где L – расстояние от системы до отражателя</p>	12.3
<p>7 Меры массы номинальной массой 25,5 кг (125 шт.) - пределы допускаемой абсолютной погрешности: $\pm 5 \cdot m \cdot 10^{-2}$ г, где m – воспроизводимая масса, кг</p>	<p>Набор калибровочный НКМ-6ГС-60 Регистрационный номер 81928-21 - диапазон воспроизведения массы: от 25,5 до 4346,5 кг; - пределы допускаемой абсолютной погрешности: $\pm 5 \cdot m \cdot 10^{-2}$ г, где m – воспроизводимая масса, кг</p>	12.4
<p>8 Калибраторы тензометрических сигналов, мосты эталонные - диапазон измерений: ± 5 мВ/В - пределы допускаемой приведенной погрешности $\pm 0,0005$ мВ/В</p>	<p>Мост эталонный переменного тока BN100A Регистрационный номер: 32602-12 - диапазон измерений: ± 100 мВ/В - пределы допускаемой приведенной погрешности $\pm 0,0005$ мВ/В</p>	12.5

8 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

8.1 При проведении поверки в помещении, где располагаются средства измерений, эталоны и другие технические средства, персоналу, надлежит соблюдать требования безопасности, указанные в следующих документах:

- эксплуатационные документы на поверяемое средство измерений и используемые средства поверки;
- инструкции по охране труда при эксплуатации персональных компьютеров и другого оборудования вычислительной техники.

8.2 Персонал должен быть аттестован на право работ с напряжением до 1000 В и иметь действующие квалификационные группы по электробезопасности:

- II для операторов ПЭВМ;
- III для сотрудииков, обслуживающих СИ.

9 Внешний осмотр

9.1 При внешнем осмотре устанавливают соответствие следующим требованиям:

- комплектность и состав стенда должны соответствовать его эксплуатационным документам (формуляр, руководство по эксплуатации);
- форма и маркировка стенда и его составных частей должны соответствовать эксплуатационным документам;
- состав комплекта вспомогательных приспособлений для поверки стенда должен соответствовать его паспорту;
- рабочие поверхности призматических опор качалок и рычагов из комплекта вспомогательных приспособлений не должны иметь сколов, замятий и других повреждений.

9.2 Результаты поверки считают положительными, если выполняются все требования п. 9.1. При обнаружении несоответствий поверку прекращают.

10 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

10.1 При подготовке к поверке стенд, комплект вспомогательных приспособлений и применяемые эталоны и средства измерений подвергают обязательной температурной стабилизации - выдерживают в помещении, где будут производиться измерения, в рабочем положении в течение 24 часов.

10.2 Эталонные меры массы и гири очищают от пыли и жировых загрязнений полотняной салфеткой, смоченной в бензине или этиловом спирте, и протирают чистой сухой салфеткой из хлопчатобумажной ткани.

10.3 При опробовании проверяют включение и выключение систем управления, нагружения и измерений стенда, закрепляют на стенде имитатор аэродинамических весов и задают нагрузку на каждом канале, соответствующую наименьшему пределу измерений. Стенд должен воспроизвести заданные нагрузки в штатном режиме, без сообщений о неисправностях.

10.4 Контролируют условия поверки, указанные в разделе 5 измерителями температуры и влажности, соответствующими требованиям указанного раздела.

11 Проверка программного обеспечения средства измерений

11.1 Устанавливают идентификационные данные программного обеспечения (далее – ПО) стенда, к которым относятся наименование, идентификационный номер (номер версии) и цифровой идентификатор (хэш-сумма) программного обеспечения, указанные в описании типа стенда.

11.2 Проверяют наличие программного обеспечения стенда на жестком диске персонального компьютера, входящего в состав стенда, и соответствие его идентификационного наименования сведениям, указанными в описании типа.

11.3 Нажатием правой клавиши мыши в контекстном меню ехе-файла отображают свойства файла и далее во вкладке «Подробно» сверяют версию программного обеспечения с версией, указанной в описании типа.

11.4 Проверяют цифровые идентификационные признаки с помощью любого программного обеспечения, функции которого подразумевают расчет контрольной суммы в формате SHA1.

11.5 Результаты проверки считают положительными, если полученные идентификационные данные (идентификационное наименование, номер версии и цифровой идентификатор) ПО стенда соответствуют указанным в описании типа.

12 Определение метрологических характеристик средства измерений

12.1 Определение плеч приложения силы при эталонном нагружении

12.1.1 С помощью машины координатной измерительной портативной CimCore5100 измеряют плечи приложения силы, указанные в таблице 4.

Таблица 4

			В миллиметрах
Элемент комплекта вспомогательных приспособлений для поверки стенда	Вид отклонения формы или расположения	Обозначение	Номинальное значение
Градуировочное приспособление	Плечо приложения силы относительно оси X	L_{x1}, L_{x2}	866
	Удвоенное плечо приложения силы относительно оси Y	L_y	600
	Плечо приложения силы относительно оси Z	L_{z1}, L_{z2}	500
		L_{z3}	1000

12.1.2 Измерения размеров плеч приложения силы градуировочного приспособления выполняют с учетом следующих требований:

- за базовую плоскость принимают плоскость крепления градуировочного приспособления к переходному фланцу;
- за базовую ось X принимают ось отверстий диаметром 20 мм, расположенных в центре базовой плоскости и площадки для крепления тяги качалки нагружения по оси X на противоположном торце и задающих горизонтальную ось X градуировочного приспособления;
- за начало координат принимают точку, лежащую на базовой оси X на расстоянии $l_0 = 569$ мм от базовой плоскости
- за ось Z принимают ось, параллельную осям отверстий для крепления штанг нагружения по оси Z, пересекающую базовую ось X в начале координат и перпендикулярную ей;
- за ось Y принимают ось, пересекающую базовую ось X в начале координат и перпендикулярную ей и оси Y;
- за плечо L_{x1}, L_{x2} принимают расстояние между базовой осью X и осью соответствующего отверстия для крепления штанги нагружения по оси Y;
- за плечо L_{y1}, L_{y2} принимают расстояние между осью Y и центром отверстия для крепления соответствующей штанги нагружения по оси Z;

- за плечо Lz_1 , Lz_2 , Lz_3 принимают расстояние между осью Z и центром отверстия для крепления соответствующей штанги нагружения по оси Y .

12.1.3 Результаты измерений регистрируют в протоколах в миллиметрах с точностью до двух (трех) знаков после запятой.

12.2 Определение массы элементов нагружения стенда, учитываемой при эталонном нагружении

12.2.1 Измерения проводят для штанг в сборе с чашками, обеспечивающих нагружение вдоль горизонтальных осей стенда X и Z . Измеряют действительное значение массы элементов нагружения стенда, учитываемой при эталонном нагружении, методом непосредственного измерения на лабораторных весах. Изображение штанг в сборе с чашками приведено в приложении А. Номинальные значения массы измеряемых элементов нагружения указаны в таблице 5.

Таблица 5

Направление нагружения	Вдоль оси X	Вдоль оси Z	
Обозначение элемента нагружения	T_x	T_{z1}	T_{z2}
Номинальная масса, кг	6,13	6,14	6,14

12.2.2 Результаты измерений регистрируют в протоколах в граммах с точностью до одного знака после запятой.

12.3 Контроль выравнивания осей системы эталонного нагружения

12.3.1 Демонтируют систему нагружения стенда в соответствии с указаниями руководства по эксплуатации.

12.3.2 До монтажа на стенд переходного фланца и градуировочного приспособления из комплекта вспомогательных приспособлений для поверки стенда измеряют:

- отклонение от вертикального положения базовой плоскости измерительного фланца (с помощью рамного уровня);

- отклонение от перпендикулярности базовой плоскости измерительного фланца и базовых ручьев опорной плиты в месте установки горизонтальной качалки X на длине 1 м (с помощью лазерной координатно-измерительной системы API Radian Pro).

12.3.3 Монтируют на стенд систему эталонного нагружения из комплекта вспомогательных приспособлений для поверки стенда в соответствии с указаниями руководства по эксплуатации.

12.3.4 Рамным уровнем измеряют отклонение от горизонтального положения каждой тяги Z и X эталонной системы нагружения.

12.3.5 Штангенциркулем измеряют расстояния между каждой тягой Z эталонной системы нагружения и какой-либо из тяг Z системы измерений стенда s_{z1} и s_{z2} в двух удаленных друг от друга на расстоянии 1 м точках и определяют отклонение от параллельности тяги качалки Z и оси Z стенда Δs_z , мм, как разность расстояний s_{z1} и s_{z2} .

12.3.6 С помощью линейки измеряют расстояния s_{x1} и s_{x2} между серединой базового ручья опорной плиты и двумя отвесами, расположенными в двух сечениях тяги качалки, удаленных друг от друга на расстоянии 1 м. Середину паза определяют по специальной вставке, в базовые торцы которой упирают линейку при измерениях. Определяют отклонение от параллельности тяги качалки X и оси X стенда Δs_x , мм, как разность расстояний s_{x1} и s_{x2} .

12.3.7 Рамным уровнем измеряют отклонение от вертикального положения каждой тяги Y эталонной системы нагружения (измерения проводят в натянутом положении штанги).

12.3.8 Результаты измерений регистрируют в протоколах в миллиметрах с точностью до двух (трех) знаков после запятой.

12.3.9 Результаты контроля считают положительными, если измеренные значения не выходят за допускаемые значения, указанные в руководстве по эксплуатации стенда (таблица 6).

Таблица 6

Вид отклонения расположения	Обозначение	Допускаемое значение
Отклонение от вертикального положения базовой плоскости измерительного фланца	$\Delta_{\text{иф}}$	$\pm 0,2$ мм/м
Отклонение от перпендикулярности базовой плоскости измерительного фланца и базовых ручьев опорной плиты в месте установки горизонтальной качалки X на длине 1 м	$EPR_{\text{иф}}$	$\pm 0,1$ мм
Отклонение от горизонтального положения тяг Z и X эталонной системы нагружения	Δ_z и Δ_x	$\pm 0,2$ мм/м
Отклонение от параллельности тяги качалки Z и оси Z стенда на длине 1 м	Δ_{sz}	$\pm 0,2$ мм
Отклонение от параллельности тяги качалки X и оси X стенда на длине 1 м	Δ_{sx}	± 1 мм
Отклонение от вертикального положения тяги Y эталонной системы нагружения	Δ_y	$\pm 0,2$ мм/м

12.4 Определение погрешности измерений силы и момента силы

12.4.1 Нагружение стенда осуществляют навешиванием мер набора калибровочного НКМ-6ГС-60 на соответствующие точки приложения нагрузки комплекта вспомогательных приспособлений для поверки стенда (таблица 7). Схема приложения эталонных нагрузок приведена в руководстве по эксплуатации стенда.

Таблица 7

Канал стенда	Элемент нагружения комплекта вспомогательных приспособлений	Точка приложения нагрузки	Формула для расчета эталонной нагрузки
+ F_x	качалка X	X_o	$F_x = \left(\sum_{i=1}^n m_i + T_x \right) \cdot g$
- F_x	качалка X	X_i	
+ F_z	качалка Z1; качалка Z2	$H1_i; H2_i$	$F_z = \left(\sum_{i=1}^n m_i + T_{H1} + T_{H2} \right) \cdot g$
- F_z	качалка Z1; качалка Z2	$H1_o; H2_o$	
+ F_y	рычаг V1; рычаг V2; рычаг V3	$V1_o; V2_o;$ $V3_o$	$F_y = \left(\sum_{i=1}^n m_i \right) \cdot g$
- F_y	рычаг V1; рычаг V2; рычаг V3	$V1_i; V2_i;$ $V3_i$	$F_y = \left(\sum_{i=1}^n m_i \right) \cdot g$
+ M_x	рычаг V1; рычаг V2	$V1_i; V2_i;$ $V2_o$ (подгрузка)	$M_x = \left(\sum_{j=1}^{r1i} m_{jV1i} \right) \cdot g \cdot L_{x1} + \left(2 \sum_{j=1}^{r2o} m_{jV2o} - \sum_{j=1}^{r2i} m_{jV2i} \right) \cdot g \cdot L_{x2}$
- M_x	рычаг V1; рычаг V2	$V1_i; V2_i;$ $V1_o$ (подгрузка)	$M_x = - \left(\sum_{j=1}^{r2} m_{jV2i} \right) \cdot g \cdot L_{x2} + \left(-2 \sum_{j=1}^{r1o} m_{iV1o} + \sum_{j=1}^{r1i} m_{iV1i} \right) \cdot g \cdot L_{x1}$
+ M_y	качалка Z1; качалка Z2	$H1_o; H2_i$	$M_y = \left(\sum_{j=1}^{k1} m_{jH1o} + T_{H1} + \sum_{j=1}^{k2} m_{jH2i} + T_{H2} \right) \cdot g \cdot \frac{L_y}{2}$

Канал стенда	Элемент нагружения комплекта вспомогательных приспособлений	Точка приложения нагрузки	Формула для расчета эталонной нагрузки
- M_y	качалка Z1; качалка Z2	H1i; H2o	$M_y = - \left(\sum_{j=1}^{k1} m_{jH1i} + T_{H1} + \sum_{j=1}^{k2} m_{jH2o} + T_{H2} \right) \cdot g \cdot L_y$
+ M_z	рычаг V1; рычаг V2; рычаг V3	V1i; V2i; V3o	$M_z = \left(\sum_{j=1}^{r1i} m_{jV1i} \right) \cdot g \cdot L_{z1} + \left(\sum_{j=1}^{r2i} m_{jV2i} \right) \cdot g \cdot L_{z2} + \left(2 \sum_{j=1}^{r3o} m_{jV3o} \right) \cdot g \cdot L_{z3}$
- M_z	рычаг V1; рычаг V2; рычаг V3	V1o; V2o; V3i	$M_z = - \left(2 \sum_{j=1}^{r1o} m_{jV1o} \right) \cdot g \cdot L_{z1} - \left(2 \sum_{j=1}^{r2o} m_{jV2o} \right) \cdot g \cdot L_{z2} - \left(\sum_{j=1}^{r3i} m_{jV3i} \right) \cdot g \cdot L_{z3}$
Примечание – Индексом «о» обозначены точки приложения нагрузки, расположенные с внешней относительно стенда стороны рычага или качалки, индексом «i» - с внутренней стороны.			

12.4.2 При нагружении стенда силами F_y и F_z массу навешиваемых гирь равномерно распределяют между всеми тремя рычагами или двумя качалками.

12.4.3 При нагружении стенда моментами силы массу навешиваемых гирь выбирают таким образом, чтобы воздействие их на соответствующий канал измерений силы было скомпенсировано:

- для нагружения моментом силы M_x подгружают внешнее плечо одного из рычагов V1 или V2 постоянной силой, действующей вверх, а внутренние плечи обоих рычагов V1 и V2 нагружают силой, действующей вниз, при этом номинальная масса эталонных мер на внешнем плече рычага должна быть в два раза меньше суммы номинальных масс эталонных мер на внутренних плечах рычагов для компенсации силы, действующие вдоль оси Y;

- для нагружения моментом силы M_y номинальная суммарная масса эталонных мер на внутреннем плече одной качалки должна быть равна номинальной суммарной массе эталонных мер на внешнем плече другой качалки для компенсации силы, действующие вдоль оси Z;

- для нагружения положительным моментом силы M_z номинальная суммарная масса эталонных мер на всех трех рычагах (два внутренних плеча и одно внешнее) должна быть одинаковой для компенсации силы, действующие вдоль оси Y;

- для нагружения отрицательным моментом силы M_z номинальная суммарная масса эталонных мер на двух внешних плечах должна быть в два раза меньше номинальной суммарной массы на одном внутреннем плече для компенсации силы, действующие вдоль оси Y.

12.4.4 Проводят ступенчатое нагружение стенда силой и моментом силы поочередно на каждом канале. Нагружение осуществляют прямым и обратным ходом. Каждое нагружение должно содержать не менее четырех по возможности равномерно распределенных ступеней нагрузки, включая верхнюю и нижнюю границы диапазона измерений. На каждой ступени регистрируют измеренное стендом значение нагрузки для всех каналов (для оценивания погрешности на нагружаемом канале и его влияния на остальные каналы).

12.4.5 Для каждого режима нагружения рассчитывают заданную эталонную нагрузку на всех каналах в соответствии с таблицей 7. Ускорение свободного падения в месте, где воспроизводится сила, должно быть определено с точностью до четырех знаков после запятой.

12.4.6 Для каждой ступени нагружения для каждого канала рассчитывают приведенную погрешность измерений силы и момента силы $\gamma(F)^{\text{изолир}}$, %, $\gamma(M)^{\text{изолир}}$, %, при изолированных нагружениях по формулам:

$$\gamma_0(F)^{\text{изолир}} = \pm \frac{F_{\text{осн}} - F_{\text{осн}}^{\text{эм}}}{F_{\text{осн}}^{\text{max}}} \cdot 100\% \quad (1)$$

$$\gamma_0(M)^{\text{изолир}} = \pm \frac{M_{\text{осн}} - M_{\text{осн}}^{\text{эм}}}{M_{\text{осн}}^{\text{max}}} \cdot 100\% \quad (2)$$

где $F_{\text{осн}}$ и $M_{\text{осн}}$ – измеренные стендом значения силы, Н, и момента силы, Н·м, соответственно на основном нагружаемом канале;

$F_{осн}^{эт}$ и $M_{осн}^{эт}$ – эталонное значение силы, Н, и момента силы, Н·м, соответственно, заданное на основном нагружаемом канале и рассчитанное в соответствии с таблицей 7;

$F_{осн}^{max}$ и $M_{осн}^{max}$ – нормирующее значение для определения основной и дополнительной приведенной погрешности измерений силы, Н, и момента силы, Н·м, основного нагружаемого канала (таблица 1).

12.4.7 Для каждой ступени нагружения для каждого канала при каждом случае возможной подгрузки другим каналом (за исключением тех случаев, когда подгрузка канала задается нагружением этого же канала: для канала F_z исключают подгрузку M_y ; для канала F_y исключают подгрузку M_x , M_z ; для канала M_x исключают подгрузку F_y , M_z ; для канала M_z исключают подгрузку F_y , M_x ; для канала M_y исключают подгрузку F_z) рассчитывают дополнительную приведенную погрешность измерений силы и момента силы $\gamma(F)^{комб}$, %, $\gamma(M)^{комб}$, %, при комбинированных нагружениях по формулам:

$$\gamma_c(F)^{комб} = \pm \frac{F_{осн/подгр} - F_{осн/подгр}^{эм}}{F_{осн}^{max}} \cdot 100\% \quad (3)$$

$$\gamma_c(M)^{комб} = \pm \frac{M_{осн/подгр} - M_{осн/подгр}^{эм}}{M_{осн}^{max}} \cdot 100\% \quad (4)$$

где $F_{осн/подгр}$ и $M_{осн/подгр}$ – зарегистрированные на основном канале стенда значения силы, Н, и момента силы, Н·м, соответственно, при подгрузении его другим каналом;

$F_{осн/подгр}^{эт}$ и $M_{осн/подгр}^{эт}$ – значение силы, Н, и момента силы, Н·м, соответственно, создающихся на основном канале при нагружении подгружающего канала, рассчитанное для основного канала в соответствии с таблицей 7 (вследствие различия по массе эталонных гирь элементы нагружения подгружающего канала могут задавать одновременно нагрузку и на основном канале, если их действие на основной канал не скомпенсировано).

12.5 Определение погрешности измерений электрического сигнала тензометрических датчиков

12.5.1 С помощью эталонного моста BN100A на вход каждого из шести одноканальных измерительных модулей ML38B измерительного усилителя MGCplus, предназначенного для измерений электрических сигналов поверяемых (калибруемых) аэродинамических тензометрических весов, последовательно подают не менее пяти значений электрического сигнала (коэффициента преобразования, мВ/В), имитирующего сигнал полномостового тензометрического датчика, равномерно распределенных в пределах диапазона измерений модуля и включающих его верхнюю и нижнюю границы.

12.5.2 Заданные эталонным мостом и измеренные модулем усилителя значения сигнала регистрируют в протоколе поверки.

12.5.3 Рассчитывают приведенную погрешность измерений каждого модуля как разность между измеренным и эталонным значениями коэффициента преобразования, отнесенную к верхнему пределу измерений и выраженную в процентах.

13 Порядок поверки в сокращенном объеме

13.1 Допускается проводить периодическую поверку в сокращенном объеме для отдельных каналов. В этом случае поверка проводится в соответствии со всеми положениями данной методики, за исключением тех, которые имеют отношение к определению характеристик каналов, не подвергающихся поверке, при этом в записях о результатах поверки указываются обозначения и (или) номера каналов, для которых осуществлена поверка.

13.2 Поверку в сокращенном объеме проводят на основании письменного заявления владельца средства измерений или лица, представившего средство измерений на поверку, оформленного в произвольной форме.

14 Подтверждение соответствия стенда метрологическим требованиям

14.1 Результаты поверки для каналов измерения силы и момента силы ($F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z$) считают положительными, если основная приведенная погрешность измерений стенда при изолированных нагружениях, рассчитанная по формулам (1) и (2), и дополнительная приведенная погрешность измерений стенда при комбинированных нагружениях, рассчитанная по формулам (3) и (4), не выходят за пределы допускаемой погрешности, указанные в таблице 1 настоящего документа, скорректированные с учетом запаса на погрешность воспроизведения эталонной нагрузки при изолированных и комбинированных нагружениях соответственно:

$$\gamma_0^{\text{изолир}} \leq k^{\text{изолир}} \cdot \gamma_{0\text{доп}}^{\text{изолир}}, \quad (5)$$

$$\gamma_c^{\text{комб}} \leq k^{\text{комб}} \cdot \gamma_{\text{сдоп}}^{\text{комб}}, \quad (6)$$

где $k^{\text{изолир}}$ и $k^{\text{комб}}$ – коэффициенты запаса на погрешность воспроизведения эталонной нагрузки при изолированных и комбинированных нагружениях соответственно (таблица 8).

Таблица 8

Канал	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
$k^{\text{изолир}}$	0,7	0,9	0,7	0,9	0,7	0,9
$k^{\text{комб}}$	0,5	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4

14.2 Результаты поверки для каналов измерения электрических сигналов тензометрических датчиков считают положительными, если приведенная к верхнему пределу измерений погрешность измерений электрического сигнала тензометрических датчиков не выходит за пределы допускаемой приведенной погрешности, указанные в таблице 1 настоящего документа.

14.3 При поверке стенд признается соответствующим установленным метрологическим требованиям и пригодным к дальнейшему применению в качестве эталона, если он соответствует требуемому уровню локальной поверочной схемы, в соответствии с которой его планируется применять для поверки.

14.4 Стенд признается не соответствующим установленным метрологическим требованиям и непригодным к дальнейшему применению, если не выполняются условия по п.п. 14.1 - 14.3.

15 Оформление результатов поверки

15.1 Результаты поверки стенда оформляют установленным порядком.

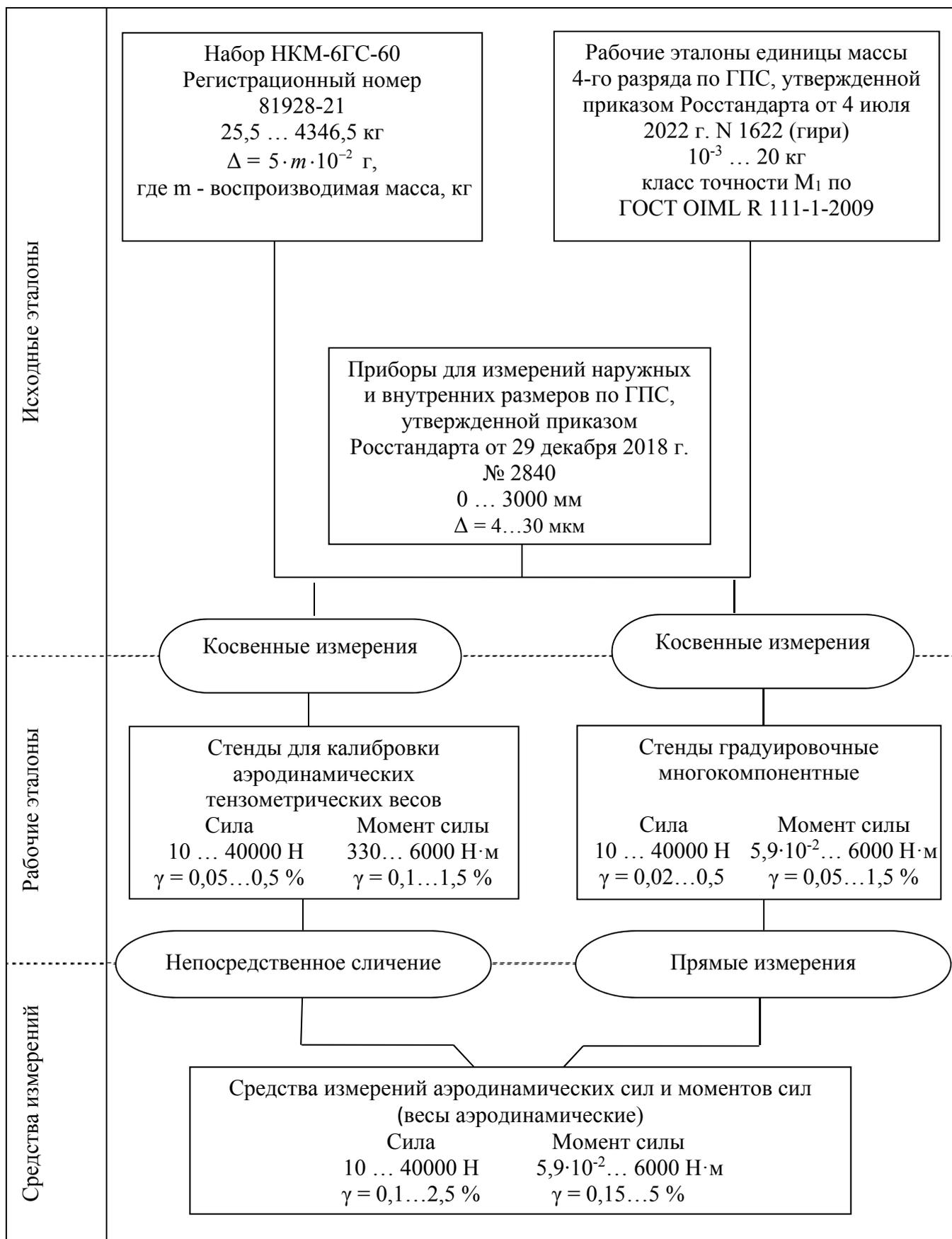
15.2 Протокол поверки оформляют в произвольной форме и включают в него регистрационный номер протокола, дату поверки, сведения об объекте поверки (наименование, заводской номер, регистрационный номер), методике поверки, применяемых эталонах и СИ, результаты поверки, подписи лиц, проводивших поверку.

15.3 При положительных результатах поверки по заявлению владельца оформляют свидетельство о поверке, в котором должно быть приведено подтверждение соответствия обязательным требованиям к эталонам (заключение о соответствии требуемому уровню локальной поверочной схемы), в соответствии с которой стенд планируется применять для поверки; на свидетельство о поверке наносят знак поверки. По заявлению владельца знак поверки наносят в формуляр стенда. Стенд пломбируют в соответствии с указаниями описания типа.

15.4 При отрицательных результатах поверки оформляют извещение о непригодности к применению.

15.5 Результаты поверки установленным порядком передают в Федеральный информационный фонд по обеспечению единств измерений.

Приложение А
(рекомендуемое)
**Структура локальной поверочной схемы для средств измерений
аэродинамических сил и моментов сил**



Библиография

- [1] Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»
- [2] Локальная поверочная схема ФАУ «ЦАГИ» для средств измерений аэродинамических сил и моментов сил, утвержденная ФАУ «ЦАГИ» 05.04.2022
- [3] Приказ Росстандарта от 04 июля 2022 г. № 1622 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений массы»
- [4] Приказ Росстандарта от 29.12.2018 г. № 2840 (с изм. от 15.08.2022) «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений длины в диапазоне от $1 \cdot 10^{-9}$ до 100 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм»
- [5] Положение об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, утвержденное постановлением Правительства Российской Федерации от 23 сентября 2010 г. N 734