

**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» июля 2022 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

Установки непосредственного нагружения силовоспроизводящие МС-ПН

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

МП 2301-0337-2022

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

 И.Ю. Шмигельский

Инженер 1 категории

 Д.В. Андреев

г. Санкт-Петербург
2022 г.

1 Общие положения

Настоящая методика поверки распространяется на установки непереслуженного «МД/В» и устанавливает методику их первичной и периодической поверки. В результате поверки должны быть подтверждены следующие метрологические требования, приведенные в таблице 1.

Таблица 1

Обозначение установки	Диапазон измерений силы, кН	Дискретность, кН	Предельная допускаемая относительная погрешность, %
МС-51Н-1	от 0,05 до 5,0	0,05	±0,01
МС-51Н-2	от 0,001 до 0,5	0,001	
МС-101Н-1	от 0,05 до 10,0	0,05	
МС-101Н-2	от 0,001 до 0,5	0,001	
МС-201Н-1	от 0,1 до 20,0	0,1	
МС-201Н-2	от 0,001 до 0,5	0,001	
МС-301Н-1	от 0,2 до 30,0	0,2	
МС-301Н-2	от 0,001 до 0,5	0,001	
МС-501Н-1	от 0,5 до 50,0	0,5	
МС-501Н-2	от 0,001 до 0,5	0,001	
МС-501Н-1	от 0,5 до 50,0	0,5	
МС-501Н-2	от 0,5 до 50,0	0,5	

Методика поверки должна обеспечивать прослеживаемость поверяемых установок к Государственному первичному эталону единицы силы ГСИ 32-2011 по Государственной поверочной схеме для средств измерений силы, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22.10.2019 № 2498.

Методы, обеспечивающие реализацию методики поверки: сравнение поверяемой установки с эталоном с помощью компаратора.

Методикой поверки предусмотрена возможность проведения поверки на меньшем числе поддиапазонов измерений.

При использовании настоящей методики поверки целесообразно проводить действия с образцовыми документами по соответствующим указателям стандартов, составленным по состоянию на 1 января текущего года и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году.

Если образцовый документ заменен (изменен), то при использовании настоящей методики следует руководствоваться заменяющим (изменяющим) документом. Если ссылающийся документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей ссылку.

2 Перечень операций поверки средства измерения

Таблица 2 – Перечень операций поверки

Наименование операции	Первичная поверка	Периодическая поверка	Поверка при поверке
	Поверка	Поверка	Поверка
Внешний осмотр	Да	Да	Да
Опробование	Да	Да	Да
Поверка программного обеспечения	Да	Да	Да
Определение диапазона и относительной погрешности измерений силы	Да	Да	Да
Подтверждение соответствия средства измерения метрологическим требованиям	Да	Да	Да

3 Требования к условиям проведения поверки

3.1 Операции по всем пунктам настоящей методики проводить при следующих условиях испытаний:

- температура окружающего воздуха, °C от +18 до +22
- относительная влажность воздуха, % от 40 до 80

4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

Сотрудники, проводящие поверку, должны иметь высшее или среднее техническое образование и опыт работы в соответствующей области измерений, должны изучить правила работы с поверяемым средством измерений и обладать соответствующей квалификацией для работы со средствами поверки и вспомогательным оборудованием.

5 Метрологические и технические требования к средствам поверки

Таблица 3 – 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 Подготовка к поверке и опробование средства измерений п.10 Определение метрологических характеристик	Средства измерений температуры окружающей среды в диапазоне измерений от +18 до +22 °C с абсолютной погрешностью не более 1 °C; Средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 40 до 80 % с погрешностью не более 2%; Эталоны массы 3-го разряда в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений массы. Государственный первичный эталон единицы силы ГЭТ 32-2011.	Термогигрометры ИВА-6, рег. № 46434-11; Гири классов точности E1, E2, F1, F2, M1 рег. № 81850-21; Компараторы массы ССЕ, рег. № 33294-09; ГПЭ единицы силы ГЭТ 32-2011 ($S \leq 5 \cdot 10^{-6}$, $\theta \leq 1 \cdot 10^{-5}$, $W_A \leq 5 \cdot 10^{-6}$, $W_B \leq 6 \cdot 10^{-6}$) (Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 05.05.2012 г. N 299)

Примечание – Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.
– ГЭТ 32-2011 применяется при поверке установок, в соответствии с требованиями Государственной поверочной схемы для средств измерений силы.

6 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

При проведении поверки соблюдают требования безопасности, указанные в эксплуатационной документации на поверяемые установки, а также на используемые средства поверки и вспомогательное оборудование.

7 Внешний осмотр средства измерений

При внешнем осмотре должно быть установлено:

- соответствие внешнего вида описанию типа СИ;
- наличие знака утверждения типа в месте, указанном в описании типа;
- контроль соблюдения требований по защите установок от несанкционированного доступа, указанных в описании типа установок;
- отсутствие видимых повреждений установки;
- наличие и сохранность всех надписей маркировки.

Результаты внешнего осмотра признают положительными, если внешний вид соответствует описанию типа.

8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

8.1 Проверяют соответствие условий испытаний требованиям п.3.1.

8.2 Перед проведением измерений проверяют правильность прохождения теста при включении.

8.3 При опробовании проверяют правильность функционирования установки.

9 Проверка программного обеспечения

9.1 Перед определением метрологических характеристик, при поверке, необходимо проверить идентификационные данные ПО.

Идентификация программы: для проверки и идентификации номера версии необходимо выбрать в главном меню программы вкладку «Справка», затем, «Версия ПО». Отобразится версия и идентификационные признаки ПО. Идентификационные данные программного обеспечения должны совпадать с указанными в таблице 4.

Таблица 4 - Идентификационные данные (признаки) программного обеспечения

Идентификационные данные (признаки)	Значения
Идентификационное наименование программного обеспечения	DFM
Номер версии (идентификационный номер) программного обеспечения*	17.06.2022.1
Цифровой идентификатор программного обеспечения**	137503e9 (CRC-32)
* Номер версии программного обеспечения должен быть не ниже указанного	
** Цифровой идентификатор программного обеспечения приведен для указанной в таблице версии ПО	

10 Определение метрологических характеристик

10.1 Определение диапазона и относительной погрешности измерений силы для установки с комплектом мер силы тяжести ручного нагружения.

Массу каждого груза из состава установки определяют методом прямого сличения с эталонными гирями 3-го разряда.

Испытуемый груз должен быть сличен с одной или более (до 3-х штук) эталонной гирей. При каждом сличении номинальные массы испытуемого груза и эталонных гирь должны быть максимально равны.

Каждое сличение проводят методом замещения, выполняя один цикл измерений АВА. Допускается также проводить сличения нескольких испытуемых грузов с одинаковой номинальной массой с одной эталонной гирей (цикл АВ₁...В_nА), где n – число испытуемых грузов, не более 5.

Масса груза m_j в кг вычисляется по формуле (1):

$$m_j = m_3 + (\alpha_1 + \alpha_2)/2 \quad (1)$$

где m_3 – масса эталонной гири в кг;

α_i – разность показаний компаратора при установке эталонной гири (эталонных гирь) и груза в кг рассчитанная по формуле (2)

$$\alpha_i = I_r - I_{3i} \quad (2)$$

где I_r – показания после установки груза в кг;

I_{3i} – показания после установки эталонной гири в кг.

Определение относительной погрешности измерений силы проводится по результатам:

- определения действительных значений воспроизводимой грузами силы тяжести в Ньютонах по формуле (3):

$$F_j = m_j \cdot g_{\text{мест.}} \cdot \left(1 - \frac{\rho_{\text{возд.}}}{\rho_{\text{мет.}}} \right) \quad (3)$$

где F_j - действительное значение в Н j-го груза;

m_j - значение условной массы j – го груза в кг, полученное по результатам взвешивания;

$g_{\text{мест.}}$ - ускорение свободного падения на месте эксплуатации грузов, определенное с погрешностью не более 0,0003 м/с². Значение ускорения свободного падения может быть рассчитано по формуле нормального распределения значения ускорения свободного падения,

принятой на 14 Генеральной ассамблее Международного геодезического и геофизического союза, что обеспечивает необходимую точность;

$\rho_{\text{возд.}}$ - плотность воздуха;

$\rho_{\text{мет.}}$ - плотность материала груза;

- относительную погрешность измерений силы рассчитывают по формуле (4):

$$\delta_{\varepsilon_j} = \left(\frac{|\Delta F_j| + U_{\delta F_j}}{F_i} \right) \cdot 100\% \quad (4)$$

где $U_{\delta F_i}$ - неопределённость результатов измерений массы грузов в Н, рассчитанная по п С.6 ГОСТ OIML R 111-1-2009;

ΔF_j – отклонение рассчитанных значений силы в Н, от номинальных значений силы F_i ;, рассчитанного по формуле (5)

$$\Delta F_j = F_j - F_i \quad (5)$$

10.2 Определение относительной погрешности измерений силы.

Определение относительной погрешности измерений силы проводят только для режима сжатия.

Определение относительной погрешности измерений силы проводят в два этапа:

– определяют метрологические характеристики динамометров-компараторов на ГЭТ 32-2011.

– определяют метрологические характеристики испытуемой установки методом прямых измерений с применением динамометров-компараторов.

Динамометры-компараторы должны охватывать весь диапазон измерений силы, воспроизводимый установкой. Рабочий диапазон каждого динамометра-компаратора должен начинаться со значений не ниже, чем 10 % его максимальной возможности. Диапазон измерений каждого динамометра-компаратора выбирают из условия, что СКО результата измерений S_{ki} в каждой ступени нагружения не превышает $5 \cdot 10^{-5}$ при шести независимых измерениях.

10.2.1 Этап 1.

Устанавливают динамометр-компаратор в рабочий участок ГЭТ 32-2011. Для надежного выравнивания температур динамометр-компаратор включают в сеть электропитания и прогревают в течение 2 часов.

Проводят предварительное обжатие динамометра-компаратора силой равной его верхнему пределу нагружения F_{max} .

Обжатие заключается в:

– выдержке динамометра-компаратора под максимальной нагрузкой в течение 20-30 минут;

– нагружении динамометра-компаратора равными ступенями от 0 до F_{max} через $0,1F_{\text{max}}$ (т.е. 10 ступеней) с выдержкой на каждой ступени в течение 1-2 минуты и последующим разгрузением такими же ступенями до нуля;

– выдержке динамометра-компаратора без нагрузки 3-5 минут.

Показания вторичного измерительного преобразователя динамометра-компаратора при обжатии не записываются.

Проводят контрольные измерения. Нагружают динамометр-компаратор равными ступенями нагружения от 0 до F_{max} через $0,1F_{\text{max}}$ (т.е. 10 ступеней) с выдержкой на каждой ступени в течение 1-2 минуты. Записывают показания динамометра-компаратора на каждой ступени нагружения I_i ($i = 1$ до 10). При этом на каждой ступени нагружения добавляют дополнительную нагрузку близкую к значению 0,02 % от F_{max} . Записывают показание динамометра-компаратора на каждой ступени нагружения с дополнительной нагрузкой I_{im} ($i = 1$ до 10). Повторяют эти операции при разгрузении динамометра-компаратора от F_{max} до 0 через $0,1F_{\text{max}}$. Дополнительная нагрузка добавляется с целью определения коэффициента чувствительности s , необходимого для перевода в единицы силы (Ньютон), полученных в мВ/В отклонений установки от ГЭТ 32-2011.

Измерения проводят шесть раз (т.е. шесть рядов измерений $j=1$ до 6) при повороте динамометра-компаратора вокруг оси приложения силы через 120° .

По полученным результатам измерений рассчитывают:

– среднее значение показаний динамометра-компаратора без дополнительных нагрузок по формуле (6)

$$\bar{I}_i = \frac{\sum_{j=1}^n I_{ij}}{n} \quad (6)$$

где n – количество разных положений динамометра-компаратора относительно оси приложения силы ($n=6$),

– дисперсию средних показаний динамометра-компаратора без дополнительных нагрузок по формуле (7)

$$D_{\bar{I}_i} = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{j=1}^n (I_{ij} - \bar{I}_i)^2 \quad (7)$$

– СКО результатов измерений по формуле (8)

$$S_{k_i} = \frac{1}{\bar{I}_i} \sqrt{D_{\bar{I}_i}} \quad (8)$$

– среднее значение показаний динамометра-компаратора с дополнительными нагрузками по формуле (9)

$$\bar{I}_{im} = \frac{\sum_{j=1}^n I_{ijm}}{n} \quad (9)$$

где n – количество разных положений динамометра-компаратора относительно оси приложения силы ($n=6$),

– дисперсию средних показаний динамометра-компаратора с дополнительными нагрузками по формуле (10)

$$D_{\bar{I}_{im}} = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{j=1}^n (I_{ijm} - \bar{I}_{im})^2 \quad (10)$$

– разницу между средними значениями показаний динамометра-компаратора без дополнительных нагрузок и показаний динамометра-компаратора с дополнительными нагрузками по формуле (11)

$$\Delta \bar{I}_i = \bar{I}_{im} - \bar{I}_i \quad (11)$$

– коэффициент чувствительности для каждой ступени нагружения по формуле (12)

$$c_i = \frac{m_i g}{\Delta \bar{I}_i} \quad (12)$$

где m_i – масса дополнительной нагрузки в кг;

g – значение ускорения свободного падения на месте эксплуатации ГЭТ ($g=9,8193 \text{ м/с}^2$).

– дисперсию коэффициента чувствительности c_i как производную c_i (принимая m_i и g константами) по формуле (13)

$$D_{c_i} = \frac{1}{\Delta \bar{I}_i^4} (D_{\bar{I}_i} + D_{\bar{I}_{im}}) \quad (13)$$

10.2.2 Этап 2.

Устанавливают динамометр-компаратор в рабочий участок поверяемой установки. В случае необходимости, выдерживают динамометр-компаратор при постоянной температуре окружающей среды для надежного выравнивания температуры. Оборудование в соответствии с эксплуатационной документацией включают в сеть электропитания и прогревают.

Проводят предварительное обжатие динамометра-компаратора силой равной его верхнему пределу нагружения $F_{\max}$.

Обжатие заключается в:

- выдержке динамометра-компаратора под максимальной нагрузкой в течение 20-30 минут;
- нагружении динамометра-компаратора равными ступенями нагружения от 0 до $F_{\max}$ через $0,1F_{\max}$ (т.е. 10 ступеней) с выдержкой на каждой ступени в течение 1-2 минут и последующим разгрузением такими же ступенями до нуля;
- выдержке динамометра-компаратора без нагрузки 3-5 минут.

Показания вторичного измерительного преобразователя динамометра-компаратора при обжатии не записываются.

Производят контрольные измерения. По показаниям поверяемой установки нагружают динамометр-компаратор равными ступенями нагружения от 0 до $F_{\max}$ через $0,1F_{\max}$ (т.е. 10 ступеней) с выдержкой на каждой ступени в течение 1-2 минут. Записывают показание динамометра-компаратора на каждой ступени нагружения X_i ($i = 1$ до 10). Повторяют эти операции при разгрузении динамометра-компаратора от $F_{\max}$ до 0 через $0,1F_{\max}$.

Измерения проводят шесть раз (т.е. шесть рядов измерений $j = 1$ до 6) при повороте динамометра-компаратора вокруг оси приложения силы через 120° .

По измеренным значениям рассчитывают:

- среднее значение $\overline{X}_i$, полученное по результатам шести измеренных значений X_{ij} (с первого по шестой ряд) для каждой ступени нагружения по формуле (14)

$$\overline{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^n X_{ij}}{n} \quad (14)$$

где n – количество разных положений динамометра-компаратора относительно оси приложения силы.

- дисперсию средних показаний $\overline{X}_i$ динамометра-компаратора по формуле (15)

$$D_{\overline{X}_i} = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \overline{X}_i)^2 \quad (15)$$

- отклонение значений силы в Ньютонах, полученные на поверяемой установке от значений силы в Ньютонах, полученные на ГЭТ 32-2011 по формуле (16)

$$\Delta F_i = c_i (\overline{X}_i - \overline{I}_i) \quad (16)$$

- дисперсию отклонений ΔF_i как сумму частных производных ΔF_i по формуле (17)

$$D_{\Delta F_i} = (\overline{X}_i - \overline{I}_i)^2 D_{c_i} + c_i^2 D_{\overline{I}_i} + c_i^2 D_{\overline{X}_i} \quad (17)$$

где $D_{c_i} = (\overline{X}_i - \overline{I}_i)^2$ – частная производная по ∂c_i ;

$c_i^2 D_{\overline{I}_i}$ – частная производная по $\partial \overline{I}_i$;

$c_i^2 D_{\overline{X}_i}$ – частная производная по $\partial \overline{X}_i$.

- дисперсию воспроизведения эталонного значения нагрузки ГЭТ 32-2011, которая определяется по формуле (18)

12.4 Знак поправки на установку не наносится.

численно единства измерений.

12.3 Отрицательные результаты поверки подтверждаются сведениями о результатах поверки средств измерений, включенными в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. По заявке заказчика, положительные результаты поверки можно дополнительно оформлять выдачей свидетельства о поверке.

12.2 Положительные результаты поверки подтверждаются сведениями о результатах поверки средств измерений, включенными в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. По заявке заказчика, положительные результаты поверки можно дополнительно оформлять выдачей свидетельства о поверке.

12.1 При поверке установок в качестве эталона 1 разряда по Государственной поверочной схеме для средств измерений силы, обязательно оформляется протокол поверки.

12 Оформление результатов поверки

Установка соответствует метрологическим требованиям, установленным в описании типа, если полученные значения относительной погрешности не превышают $\pm 0,01\%$. Установка соответствует требованиям к эталонам 1 разряда по Государственной поверочной схеме для средств измерений силы, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22.10.2019 № 2498, если полученные значения относительной погрешности не превышают $\pm 0,01\%$.

вв

11 Подтверждение соответствия средств измерений метрологическим требованиям

$$\delta_{\gamma} = \left(\frac{|\Delta F_i| + U_{\delta_{F_i}}}{F_i} \right) \cdot 100\% \quad (21)$$

формуле (21)

– относительную погрешность измерений силы на каждой ступени нагружения по формуле (21)

$$U_{\delta_{F_i}} = k U_{\delta_{F_i}} \quad (20)$$

– расширенную неопределенность относительного отклонения δ_{F_i} по формуле (20)

$$U_{\delta_{F_i}} = \sqrt{D_{N_{F_i}} + D_{F_i}} \quad (19)$$

– суммарная стандартная неопределенность относительного отклонения δ_{F_i} значения силы с учетом неопределенности ГСИ 32-2011 как произвольную по формуле (19)

$\sqrt{3}$ – параметр равномерного распределения;

F_1 – эталонное значение силы в Н;

где w_1 – относительная стандартная неопределенность ГСИ 32-2011 ($w_1 = 2,4 \cdot 10^{-5}$);

$$D_{F_i} = \left(\frac{w_1 F_i}{\sqrt{3}} \right)^2 \quad (18)$$