

СОГЛАСОВАНО
Заместитель генерального директора по
метрологии
ФБУ «УРАЛТЕСТ»


М.п. Д. Г. Дедков

« 19 » декабря 2024 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

Меры напряженности постоянного и переменного магнитного поля

М-303.1

Методика поверки

МП 4201/0401-2024

Екатеринбург
2024

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика поверки устанавливает методы и средства первичной и периодической поверки мер напряженности постоянного и переменного магнитного поля М-303.1 (далее – мера или М-303.1).

1.2 При проведении поверки обеспечивается прослеживаемость поверяемых мер к ГЭТ 12-2021 Государственному первичному эталону единиц магнитной индукции, магнитного потока, магнитного момента и градиента магнитной индукции в соответствии с ГОСТ 8.030-2013 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений для средств измерений магнитной индукции, магнитного потока, магнитного момента и градиента магнитной индукции» и ГЭТ 1-2022 Государственный первичный эталон единиц времени, частоты и национальной шкалы времени в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений времени и частоты, утвержденной Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 2360 от 26.09.2022.

1.3 Методика поверки реализуется методом косвенных измерений.

1.4 В результате поверки должны быть подтверждены следующие метрологические требования, приведенные в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Метрологические требования к мерам

Наименование характеристики	Значение характеристики
Коэффициент преобразования (постоянная) меры, $\text{м}^{-1} (\text{мТл/А})^{1)}$	от 6000 до 8000 (от 7,55 до 10,05)
Доверительная граница допускаемой относительной погрешности воспроизведения коэффициента преобразования (постоянной) меры (при $P=0,95$), δ_K , %	0,2
Неоднородность напряжённости (магнитной индукции) магнитного поля в рабочем объёме меры (шар диаметром 10 мм), δ_H , %, не более	0,05
Максимальное значение ²⁾ силы постоянного электрического тока, протекающего по обмотке меры, А	4,5
Рабочий диапазон частот, Гц	от 0 до 2000
Типовые ³⁾ значения резонансных частот воспроизведения среднеквадратических значений напряжённости (магнитной индукции) переменного магнитного поля, Гц	300 ⁴⁾ 500 ⁴⁾ 700 ⁴⁾
Отклонение действительных значений резонансных частот меры от их номинальных значений, %, не более	± 10
Примечания ¹⁾ Действительное значение коэффициента преобразования (постоянной) меры определяется при её первичной (периодической) поверке и указывается в её формуляре (записи поверки); ²⁾ Среднеквадратическое значение для переменного электрического тока; ³⁾ По согласованию с потребителем допускается изготовление мер с другими резонансными частотами в диапазоне от 60 до 2000 Гц; ⁴⁾ Действительные значения резонансных частот меры определяются при её первичной (периодической) поверке и указывается в её формуляре (записи поверки);	

Продолжение таблицы 1.1

Наименование характеристики	Значение характеристики
5) Доверительная граница относительной погрешности воспроизведения напряжённости (магнитной индукции) магнитного поля (при $P=0,95$) вычисляется по формуле $\delta_B = 1,1 \cdot \sqrt{\delta_K^2 + \delta_H^2 + \delta_I^2 + \delta_O^2},$ где δ_I – погрешность задания или измерения силы тока в обмотках меры, %; δ_O – относительная величина внешнего магнитного поля в рабочем объёме меры, % (определяется отношением величины компоненты внешнего магнитного поля (поле Земли, фон сетевой частоты и т.п.), совпадающей по направлению с осью обмоток меры, к величине магнитного поля, воспроизводимого мерой); 6) Для обеспечения воспроизведения мерой напряжённости (магнитной индукции) постоянного магнитного поля во всём диапазоне необходимо для питания меры применять источник постоянного тока с пределами регулирования выходного напряжения до 40 В, силы тока – до 4,5 А; 7) Для обеспечения воспроизведения мерой напряжённости (магнитной индукции) переменного магнитного поля во всём диапазоне необходимо для питания меры применять источник переменного тока с пределами регулирования выходного напряжения до 100 В, силы тока – до 4,5 А (среднеквадратическое значение).	

2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

2.1 При проведении поверки мер должны выполняться операции, указанные в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Операции поверки

Наименование операции	Номер раздела (пункта) методики поверки	Проведение операции при	
		первичной поверке	периодической поверке
Внешний осмотр средства измерений	7	да	да
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	8	да	да
Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	9	-	-
Определение резонансных частот воспроизведения среднеквадратических значений напряжённости (магнитной индукции) переменного магнитного поля, проверка максимального значения силы переменного тока меры	9.1	да	да
Определение коэффициента преобразования (постоянной) меры	9.2	да	да

2.2 Не допускается поверка меры для меньшего числа измеряемых величин или на меньшем числе поддиапазонов измерений.

2.3 При получении отрицательных результатов при выполнении любой из операций поверка прекращается, меру бракуют.

3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающей среды: от плюс 15 до плюс 25 °С;
- относительная влажность окружающего воздуха: не более 80 %;
- атмосферное давление: от 84 до 106 кПа.

4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ

К проведению поверки допускаются лица, изучившие эксплуатационную документацию на меру, эталоны, средства измерений, применяемые при поверке, имеющие необходимую квалификацию, аттестованные в качестве поверителей.

5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

5.1 При проведении поверки должны применяться средства поверки, приведенные в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Средства поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
Основные средства поверки		
8.1.1	Средства измерений температуры окружающей среды в диапазоне от +15 до +25 °С с пределами абсолютной погрешности не более ± 1 °С, средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 30 до 80 % с пределами абсолютной погрешности не более ± 3 %, средства измерений абсолютного давления в диапазоне от 840 до 1060 гПа с пределами абсолютной погрешности не более ± 3 гПа	Прибор комбинированный для контроля параметров окружающей среды MeteoSmart, регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (ФИФ ОЕИ) 76455-19
9.2	Эталоны единицы магнитной индукции постоянного поля, соответствующие требованиям, предъявляемым к рабочим эталонам не ниже 1 разряда в соответствии с ГОСТ 8.030-2013, в диапазоне измерений от 25 до 40 мТл с доверительной границей относительной погрешности измерений при $P=0,95$ не более $\pm 0,02$ %	Государственный рабочий эталон единицы магнитной индукции постоянного поля 1 разряда в диапазоне значений от 25 до 2000 мТл, рег. № 3.1.ZCE.1554.2022 (далее – эталон рег. № 3.1.ZCE.1554.2022)
9.1 9.2	Эталоны единицы электрического сопротивления постоянного или переменного тока, соответствующие требованиям, предъявляемым к рабочим эталонам не ниже 3 разряда в соответствии с Приказом Росстандарта № 3456 от 30.12.2019, номинального значения 0,01 Ом с нестабильностью сопротивления за межповерочный интервал на постоянном токе не более $\pm 0,03$ %	Мера сопротивления переменного тока МС-01/1, регистрационный номер в ФИФ ОЕИ 34165-07, номинальное значение 0,01 Ом (далее – мера МС-01/1)

Продолжение таблицы 5.1

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
9.2	Эталоны единицы постоянного напряжения, соответствующие требованиям, предъявляемым к рабочим эталонам не ниже 3 разряда в соответствии с Приказом Росстандарта № 1520 от 28.07.2023, в диапазоне значений от 20 до 60 мВ с пределами допускаемой относительной погрешности измерений не более $\pm 0,05$ %	Мультиметр цифровой Agilent 34410A, регистрационный номер в ФИФ ОЕИ 33921-07
8.2 9.2	Средства измерений магнитной индукции в диапазоне измерений от 0,01 до 40 мТл с пределами допускаемой относительной погрешности измерений магнитной индукции постоянного магнитного поля не более ± 3 %	Миллитесламетр портативный универсальный ТПУ, регистрационный номер в ФИФ ОЕИ 28134-04 (далее – миллитесламетр)
9.1	Средства измерений переменного электрического напряжения в диапазоне измерений от 10 до 50 мВ с пределами допускаемой относительной погрешности не более ± 1 %	Мультиметр цифровой Agilent 34410A, регистрационный номер в ФИФ ОЕИ 33921-07
9.1	Средства воспроизведения синусоидального сигнала в диапазоне частот от 60 до 2000 Гц с пределами допускаемой относительной погрешности установки частоты выходного сигнала не более $\pm 2 \cdot 10^{-5}$, диапазоном установки среднеквадратических значений выходного напряжения до 2 В	Генератор сигналов произвольной формы 33220A, регистрационный номер в ФИФ ОЕИ 32993-06 (далее – генератор сигналов)
Вспомогательные средства поверки		
9.1	Средство усиления синусоидального сигнала со среднеквадратическим значением выходного напряжения, регулируемым в диапазоне до 100 В при токе нагрузки до 4,5 А для частот от 60 до 2000 Гц	Усилитель мощности MNA3000

5.2 Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, испытательное и вспомогательное оборудование, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице 5.1.

6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

При проведении поверки необходимо соблюдать требования по безопасности, приведенные в эксплуатационной документации меры и используемых средств поверки.

7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 При проведении внешнего осмотра мер следует убедиться в отсутствии механических повреждений мер, влияющих на их метрологические характеристики.

7.2 Устанавливают наличие маркировочной таблички в соответствии с описанием типа.

7.3 Комплектность меры должна соответствовать формуляру.

7.4 Меру считают годной по разделу 7, если она соответствует требованиям пунктов 7.1 –

7.3.

8 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 Подготовка к поверке

8.1.1 Проверяют соблюдение условий в соответствии с разделом 3.

8.1.2 Подготавливают к работе средства поверки в соответствии с их эксплуатационной и технической документацией.

8.2 Опробование

8.2.1 Опробование проводят в переменном поле на наименьшей резонансной частоте. Собрать схему в соответствии с рисунком 1, используя входные клеммы поверяемой меры, предназначенные для воспроизведения напряжённости магнитного поля с наименьшей номинальной частотой. Измерительный зонд «М» миллитесламетра поместить в рабочий объем меры таким образом, чтобы центр преобразователя Холла находился в геометрическом центре рабочего объема меры, а ось чувствительности преобразователя Холла была параллельна вектору напряжённости магнитного поля меры

8.2.2 Плавно увеличивая силу тока в обмотке поверяемой меры наблюдать увеличение показаний миллитесламетра.

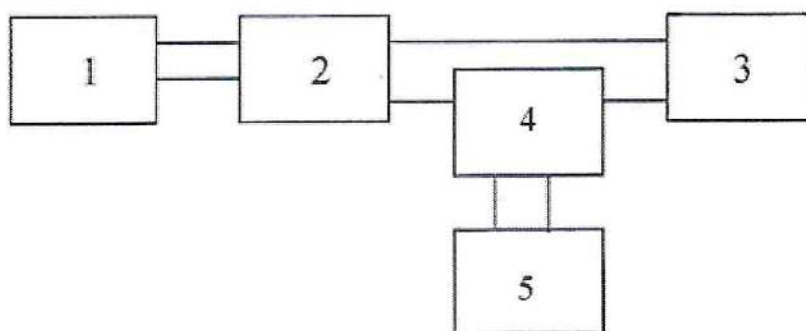
8.2.3 Допускается совмещать процедуру опробования с выполнением операций по пункту 9.1.

8.2.4 Меру считают годной по пункту 8.2, если она соответствует требованиям пункта 8.2.2.

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

9.1 Определение резонансных частот воспроизведения среднеквадратических значений напряжённости (магнитной индукции) переменного магнитного поля, проверка максимального значения силы переменного тока меры

9.1.1 Собрать схему в соответствии с рисунком 1, используя входные клеммы поверяемой меры, предназначенные для воспроизведения напряжённости магнитного поля с номинальной частотой 300 Гц¹⁾.



1 – генератор сигналов;
 2 – усилитель мощности MNA3000;
 3 – М-303.1;
 4 – мера МС-01/1;
 5 – мультиметр в режиме измерения переменного электрического напряжения

Рисунок 1

¹⁾ для мер с набором резонансных частот, отличающимся от типового (300; 500; 700 Гц), проверку начинать с наименьшей частоты

9.1.2 Установить с помощью генератора сигналов и усилителя мощности MNA3000 среднеквадратическое значение силы тока в обмотке меры в диапазоне от 1 до 2 А.

9.1.3 Плавно изменяя частоту тока в обмотке меры с помощью генератора сигналов на $\pm 10\%$ от установленного ранее значения, найти такое значение частоты, при котором показания мультиметра будут наибольшими. Найденное значение частоты является действительным значением резонансной частоты меры.

9.1.4 Не изменяя значение частоты генератора сигналов, установить среднеквадратическое значение силы тока в обмотке меры, равное 4,5 А, затем уменьшить силу тока до нуля.

9.1.5 Рассчитать отклонение действительного значения резонансных частот меры от номинального δ_f , %, по формуле

$$\delta_f = 100 \cdot \frac{f_{\text{действ}} - f_{\text{ном}}}{f_{\text{ном}}}, \quad (1)$$

где $f_{\text{действ}}$ – действительное значение резонансной частоты, Гц;

$f_{\text{ном}}$ – номинальное значение резонансной частоты, Гц.

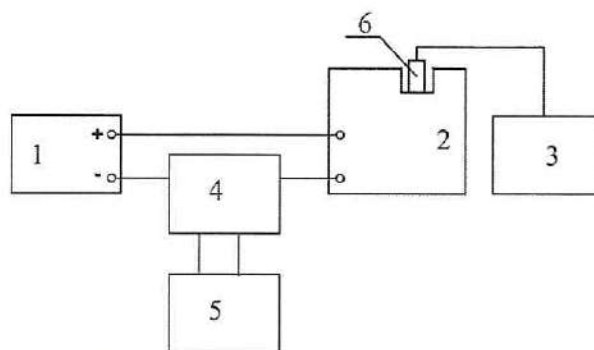
9.1.6 Повторить операции по пунктам 9.1.1-9.1.5 для остальных резонансных частот меры.

9.1.7 Результаты измерений и расчетов занести в протокол поверки.

9.1.8 Результаты поверки по пункту 9.1 считают положительными, если отклонение действительных значений резонансных частот от номинальных соответствует указанным в таблице 1.1.

9.2 Определение коэффициента преобразования (постоянной) меры

9.2.1 Собрать схему в соответствии с рисунком 2. Измерительный зонд «М» миллитесламетра поместить в рабочий объем меры таким образом, чтобы центр преобразователя Холла находился в геометрическом центре рабочего объема меры, а ось чувствительности преобразователя Холла была параллельна вектору напряженности магнитного поля меры.



1 – источник питания постоянного тока;

2 – М-303.1;

3 – ЯМР магнитометр (миллитесламетр);

4 – мера МС-01;

5 – мультиметр в режиме измерения постоянного электрического напряжения;

6 – датчик ЯМР магнитометра (измерительный зонд «М» миллитесламетра)

Рисунок 2

9.2.2 Регулируя силу тока, протекающего по обмотке меры, источником питания постоянного тока АКИП-1135А-100-30 из состава эталона рег. № 3.1.ZCE.1554.2022 получить показания миллитесламетра $B_{\text{пр}}$, равные 37,7 мТл.

9.2.3 Рассчитать приблизительное значение коэффициента преобразования (постоянной) М-303.1 $K_{B_{\text{пр}}}$, мТл/А по формуле

$$K_{B_{\text{пр}}} = \frac{B_{\text{пр}}}{I_{\text{пр}}}, \quad (2)$$

где $I_{\text{пр}}$ – сила тока в обмотках меры, установленная на источнике питания постоянного тока, А.

9.2.4 Заменить измерительный зонд «М» миллитесламетра на датчик №1 ЯМР магнитометра «Сибирь-1» из состава эталона 3.1.ZCE.1554.2022 (далее – ЯМР магнитометр) так, чтобы геометрические центры обмотки М-303.1 и чувствительного элемента датчика совпали.

9.2.5 Подать в обмотку меры ток $I_{\text{ном}i}$, А, значение силы тока рассчитать по формуле

$$I_{\text{ном}i} = \frac{B_{\text{ном}i}}{K_{B\text{пр}}}, \quad (3)$$

где $B_{\text{ном}i}$ – значение магнитной индукции, равное 25,1 мТл.

При выполнении периодической поверки пункты 9.2.2-9.2.3 не выполнять, в качестве $K_{B\text{пр}}$ использовать значение коэффициента преобразования (постоянной) меры из записи (протокола) предыдущей поверки.

9.2.6 Измерить ЯМР магнитометром индукцию постоянного магнитного поля B_{i+} , мТл. Измерить мультиметром напряжение на выходных клеммах меры МС-01 U_{i+} , В.

9.2.7 Рассчитать действительное значение силы тока в обмотках меры I_{i+} , А, по формуле

$$I_{i+} = \frac{U_{i+}}{R}, \quad (4)$$

где R – действительное значение сопротивления меры МС-01/1, Ом.

9.2.8 Рассчитать значение коэффициента преобразования (постоянной) меры $K_{B_{i+}}$, мТл/А, по формуле

$$K_{B_{i+}} = \frac{B_{i+}}{I_{i+}}. \quad (5)$$

9.2.9 Повторить операции по пунктам 9.2.5-9.2.8, изменив направление тока в обмотке меры. Использовать соответствующие обозначения со знаком «-»: I_{i-} , B_{i-} , K_{i-} .

9.2.10 Повторить операции по пунктам 9.2.5-9.2.9 для значений силы тока $I_{\text{ном}i}$, А, соответствующих значениям магнитной индукции, равным 31,4 и 37,7 мТл. Не изменять положение меры во время проведения измерений.

9.2.11 Для каждого индекса i (полученных значений коэффициентов преобразования (постоянной) с одинаковым индексом i) вычислить среднее арифметическое значение K_{B_i} , мТл/А, по формуле

$$K_{B_i} = \frac{K_{B_{i+}} + K_{B_{i-}}}{2}, \quad (6)$$

где $K_{B_{i+}}$, $K_{B_{i-}}$ – значения коэффициентов преобразования (постоянной) меры, вычисленные по формуле (5) для каждого направления тока, мТл/А.

9.2.12 Вычислить среднее арифметическое значение коэффициента преобразования (постоянной) меры $\bar{K}_B$, мТл/А, по формуле

$$\bar{K}_B = \frac{\sum_{i=1}^n K_{B_i}}{n}, \quad (7)$$

где $n = 3$ – число полученных значений K_{B_i} .

Рассчитать значение коэффициента преобразования (постоянной) меры $\bar{K}_H$, м⁻¹, по формуле

$$\bar{K}_H = 10^{-3} \cdot \frac{\bar{K}_B}{\mu_0}. \quad (8)$$

где μ_0 – магнитная постоянная равная $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м (π – математическая постоянная, равная отношению длины окружности к её диаметру (использовать не менее 5 значащих цифр)).

9.2.13 При соблюдении требований настоящей методики поверки значение доверительной границы относительной погрешности определения коэффициента преобразования (постоянной) меры не превышает 0,1 %.

9.2.14 Неоднородность напряжённости магнитного поля в рабочем объёме меры не превышает 0,05 %, если удастся произвести измерения магнитной индукции ЯМР магнитометром.

9.2.15 Результаты измерений и расчетов занести в протокол поверки.

9.2.16 Результаты первичной поверки по пункту 9.2 считают положительными, если удастся произвести измерения магнитной индукции ЯМР магнитометром и коэффициент преобразования (постоянная) меры соответствует диапазону значений, указанных в таблице 1.1.

9.2.17 Результаты периодической поверки по пункту 9.2 считают положительными, если разность между полученным и приведённым в записи (протоколе) предыдущей поверки значениями коэффициента преобразования (постоянной) меры не превышает $\pm 0,2$ %.

10 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

10.1 По результатам поверки меры оформляют протокол поверки в произвольной форме.

10.2 Положительные результаты поверки меры оформляют в виде электронной записи, передаваемой в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений и, по заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, выдается свидетельство о поверке.

10.3 Отрицательные результаты поверки меры оформляют в виде электронной записи, передаваемой в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений и, по заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, выдается извещение о непригодности.