

Уральский научно исследовательский институт метрологии – филиал  
Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский  
научно-исследовательский институт метрологии им.Д.И.Менделеева

(УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»)

СОГЛАСОВАНО

И.о. директора УНИИМ – филиала  
ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева



  
Е.П. Собина

«  » 2021 г.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА  
ИЗМЕРЕНИЙ

Гистерезисграф автоматический АМТ-4

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

МП 126-261-2020

Екатеринбург  
2021

## ПРЕДИСЛОВИЕ

### 1 РАЗРАБОТАНА

Уральским научно-исследовательским институтом метрологии – филиалом Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева» (УНИИМ – филиалом ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»).

### 2 ИСПОЛНИТЕЛИ

И.о. зав. лаб. 261

С.н.с. лаборатории 261

Старший инженер лаб.261

И.С. Цай

Т.И. Маслова

Е.С. Никова

### 3 СОГЛАСОВАНО

И.о. директора УНИИМ – филиала ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»

### 4 ВВЕДЕНА ВПЕРВЫЕ

## СОДЕРЖАНИЕ

1	Общие положения .....	4
2	Нормативные ссылки .....	4
3	Перечень операций поверки средств измерений.....	4
4	Требования к условиям проведения поверки .....	5
5	Требования к специалистам, осуществляющим поверку .....	5
6	Метрологические и технические требования к средствам поверки .....	5
7	Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки .....	7
8	Внешний осмотр средства измерений .....	8
9	Подготовка к поверке и опробование средства измерений .....	8
10	Проверка программного обеспечения средства измерений.....	9
11	Определение метрологических характеристик средства измерений.....	9
12	Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям .....	11
13	Оформление результатов поверки.....	16

**Государственная система обеспечения единства измерений.  
Гистерезисграф автоматический АМТ-4  
Методика поверки**

МП 126– 261 – 2020

Дата введения в действие «08» июня 2021 г.

## 1 Общие положения

1.1 Настоящая методика поверки (далее – МП) распространяется на гистерезисграф автоматический АМТ-4, зав. № А5055/Д5055 (далее - гистерезисграф), изготовленный фирмой Mianyang Shuangji Electronic Co. LTD, Китай, и устанавливает процедуру его первичной и периодической поверок. Поверка гистерезисграфа должна производиться в соответствии с требованиями настоящей методики.

1.2 При проведении поверки должна обеспечиваться прослеживаемость гистерезисграфа по единицам индукции постоянного магнитного поля и магнитного потока ГЭТ 198-2017 «Государственному первичному эталону единиц мощности магнитных потерь, магнитной индукции постоянного магнитного поля в диапазоне от 0,1 до 2,5 Тл и магнитного потока в диапазоне от  $1 \cdot 10^{-5}$  до  $3 \cdot 10^{-2}$  Вб», согласно поверочной схемы, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 2816 от 29.12.2018 г.

1.3 Интервал между поверками – 1 год.

## 2 Нормативные ссылки

В настоящей МП использованы ссылки на следующие документы:

ГОСТ 12.2.007.0-75	ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.
Приказ Росстандарта №2816 от 29.12.2018 г.	Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений мощности магнитных потерь магнитомягких материалов и магнитных характеристик магнитотвердых материалов
Приказ Минпромторга России от 31.07.2020 № 2510	Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельств о поверке
Приказ Минтруда и Соцзащиты от 15.12.2020 №903н	Об утверждении правил по охране труда при эксплуатации электроустановок

## 3 Перечень операций поверки средств измерений

3.1 При поверке гистерезисграфа выполняют операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Операции поверки

Наименование операции	Номер пункта МП	Проведение операций при	
		первичной поверке	периодической поверке
1	2	3	4
Внешний осмотр средства измерений	8	Да	Да
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	9	Да	Да



Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Проверка программного обеспечения средства измерений	10	Да	Да
Определение метрологических характеристик средства измерений	11		
Определение относительной погрешности измерения магнитного потока	11.1	Да	Нет
Проверка максимального значения напряженности постоянного магнитного поля в зазоре электромагнита	11.2	Да	Нет
Определение относительной погрешности установки напряженности постоянного магнитного поля в зазоре электромагнита	11.3	Да	Нет
Проверка относительной погрешности и СКО случайной составляющей относительной погрешности измерений магнитных характеристик образцов МТМ	11.4	Да	Да
Определение значения постоянной калибровочных катушек	11.4	Да	Да

3.2 Если при выполнении той или иной операции выявлено несоответствие установленным требованиям, поверку приостанавливают, выясняют и устраняют причины несоответствия, после этого повторяют поверку по операции, по которой выявлено несоответствие. В случае повторного невыполнения требований поверка прекращается, гистерезисграф бракуется и выполняются операции по п. 13 настоящей МП.

3.3 При периодической поверке в соответствии с заявлением владельца гистерезисграфа допускается проведение поверки отдельных измерительных каналов (измерительных катушек) из состава гистерезисграфа с обязательным указанием в свидетельстве о поверке (в сведениях о поверке, передаваемых в федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений) идентификационных данных измерительных катушек, с которыми была проведена поверка.

#### **4 Требования к условиям проведения поверки**

4.1 При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающей среды, °С от 15 до 25;
- относительная влажность, %, не более 80.

Вибрация и тряска должны отсутствовать.

#### **5 Требования к специалистам, осуществляющим поверку**

5.1 К проведению работ по поверке допускаются лица из числа специалистов, допущенных к поверке, работающих в организации, аккредитованной на право поверки средств магнитных измерений.

5.2 К поверке допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности при работе с электроустановками, изучившие ИЭ на гистерезисграф, эксплуатационную документацию на средства поверки и настоящую МП.

#### **6 Метрологические и технические требования к средствам поверки**

6.1 При проведении поверки применяют средства поверки согласно таблице 2.

Таблица 2 – Средства поверки

Наименование	Метрологические и технические требования
1	2
Катушка взаимной индуктивности (Рабочий эталон единицы магнитного потока 2-го разряда по ГОСТ 8.030-2013 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений магнитной индукции, магнитного потока, магнитного момента и градиента магнитной индукции)	Номинальное значение воспроизведения коэффициента взаимной индуктивности 0,01 Вб/А (0,1 Гн/м) Доверительная граница погрешности результата измерений при P=0,95 составляет 0,034 %
Катушка электрического сопротивления измерительная (Рабочий эталон электрического сопротивления 3-го разряда по поверочной схеме, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30.12.2019 г. №3456)	Номинальные значения воспроизведения электрического сопротивления 0,01; 0,1; и 1 Ом Доверительная граница погрешности результата измерений при P=0,95 составляет 0,001 %
Вольтметр универсальный цифровой GDM-8246 (рег. №34295-07)	Диапазон измерения напряжения постоянного напряжения до 1000 В. Погрешность измерения в диапазоне до 500 мВ $\pm(0,0002X+4k)$ , свыше 500 мВ $\pm(0,0002X+2k)$ , где X-измеренное значение, k -значение единицы младшего разряда на пределе измерения
Измеритель напряженности магнитного поля Gauss-/ Teslameter FH 54 (рег. № 67445-17)	Диапазон измерений (в режиме DC) напряженности постоянного магнитного поля от 2,4 до 1600,0 кА/м, диапазон измерений магнитной индукции постоянного магнитного поля от 0,003 до 2,0 Тл. Пределы допускаемой относительной погрешности измерений магнитной индукции, напряженности поля в режиме DC $\pm 1,5 \%$
Флюксметр электронный EF-5 (рег. № 60133-15)	Диапазон измерений магнитного потока от $1 \cdot 10^{-3}$ до 0,1 Вб. Пределы допускаемой относительной погрешности измерений магнитного потока $\pm 0,2 \%$
Стандартные образцы магнитных свойств магнитотвердых материалов на основе сплава NdFeB (набор МС NdFeB) ГСО 11059- 2018 / ГСО 11062- 2018	Интервал допускаемых значений остаточной намагниченности от 715,0 до 1200,0 кА/м, границы допускаемых значений относительной погрешности $\pm 2,0 \%$ Интервал допускаемых значений максимального энергетического произведения от 150,0 до 400,0 кДж/м <sup>3</sup> , границы допускаемых значений относительной погрешности $\pm 4,0 \%$ Интервал допускаемых значений остаточной магнитной индукции от 0,9 до 1,5 Тл, границы допускаемых значений относительной погрешности $\pm 2,0 \%$ Интервал допускаемых значений коэрцитивной силы по индукции от 680 до 990 кА/м, границы допускаемых значений относительной погрешности $\pm 3,0 \%$



Окончание таблицы 2

1	2
	Интервал допускаемых значений коэрцитивной силы по намагниченности от 800 до 3500 кА/м, границы допускаемых значений относительной погрешности $\pm 3,0\%$
Стандартные образцы магнитных свойств магнитотвердых материалов на основе сплава SmCo (набор SmCo) ГСО 11148-2018 / ГСО 11151-2018	Интервал допускаемых значений остаточной намагниченности от 1,0 до 2000,0 кА/м, границы допускаемых значений относительной погрешности $\pm 2,0\%$ Интервал допускаемых значений максимального энергетического произведения от 0,8 до 510,0 кДж/м <sup>3</sup> , границы допускаемых значений относительной погрешности $\pm 4,0\%$ Интервал допускаемых значений остаточной магнитной индукции от 0,1 до 2,5 Тл, границы допускаемых значений относительной погрешности $\pm 2,0\%$ Интервал допускаемых значений коэрцитивной силы по индукции от 80 до 1890 кА/м, границы допускаемых значений относительной погрешности $\pm 3,0\%$ Интервал допускаемых значений коэрцитивной силы по намагниченности от 80 до 1890 кА/м, границы допускаемых значений относительной погрешности $\pm 3,0\%$
Термогигрометр	Диапазоны измерений температуры и относительной влажности не менее требуемых по п. 4
Программируемый источник питания TDK-Lambda GEN 125 – 120 – MD – 3P400	Максимальное выходное напряжение 125 В. Максимальный выходной ток 120 А.
Катушка измерительная круглая	Высота катушки не более 3,5 мм. Внешний диаметр обмотки не более 30 мм.
Электромагнит № 1	Диапазон создаваемых значений индукции магнитного поля от 0,1 до 2,0 Тл.
Образцы МТМ, изготовленные на основе сплавов NdFeB, AlNiCo и SmCo	Диаметр не более 60 мм. Длина не более 48 мм, ширина не более 30 мм

6.2 Эталоны, применяемые для поверки, должны быть поверены (аттестованы), средства измерений должны быть поверены. Стандартные образцы должны иметь действующие паспорта.

6.3 При проведении поверки допускается применение не указанных в п. 6.1 средств поверки, обеспечивающих определение метрологических характеристик гистерезисграфа с требуемой точностью.

## 7 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

7.1 При проведении поверки должны быть соблюдены требования Приказа Минтруда и Соцзащиты от 15.12.2020 № 903н, требования ГОСТ 12.2.007.0, а также требования безопасности и меры предосторожности, указанные в Инструкции по эксплуатации гистерезисграфа автоматического АМТ-4. КРПГ.25803.00103 (далее – ИЭ) и эксплуатационной документации

(далее – ЭД) на применяемые средства поверки.

## 8 Внешний осмотр средства измерений

8.1 При внешнем осмотре устанавливают:

- соответствие внешнего вида и комплектности гистерезисграфа сведениям, приведенным в описании типа;
- отсутствие видимых дефектов, способных оказать влияние на безопасность проведения поверки или результаты поверки;
- наличие заземления;
- четкость обозначений и маркировки.

8.2 В случае, если при внешнем осмотре гистерезисграфа выявлены повреждения или дефекты, способные оказать влияние на безопасность проведения поверки или результаты поверки, поверка может быть продолжена только после устранения этих повреждений или дефектов.

## 9 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

9.1 Подготовка измерительной катушки

9.1.1 Обмотку измерительной катушки присоединить непосредственно ко входу флюксметра электронного EF 5.

9.1.2 С помощью источника питания в межполюсном пространстве электромагнита № 1 установить постоянное магнитное поле. Измерить значение магнитной индукции ( $B_{эмi}$ , Тл) в зазоре электромагнита измерителем напряженности магнитного поля Gauss-/Teslameter FH 54 (далее – измеритель магнитного поля).

9.1.3 Измерительную катушку поместить соосно в геометрический центр межполюсного пространства электромагнита № 1, так чтобы геометрический центр катушки совпал с геометрическим центром межполюсного пространства электромагнита № 1.

9.1.4 Сбросить магнитный поток, показываемый флюксметром. Извлечь измерительную катушку из межполюсного пространства на расстояние не менее чем 30 см. Не изменяя скорости, повернуть её на  $180^\circ$  и так же медленно возвратить в межполюсное пространство электромагнита № 1. Записать значение магнитного потока ( $\Phi_{2\Pi i}$ , Вб).

9.1.5 Рассчитать постоянную измерительной катушки ( $K_{swi}$ , Вб/Тл) по формуле

$$K_{swi} = \frac{\Phi_{2\Pi i}}{2 \cdot B_{эмi}}, \quad (1)$$

где  $\Phi_{2\Pi}$  – магнитный поток, измеренный флюксметром, Вб;

$B_{эм}$  – магнитная индукция постоянного магнитного поля, измеренная измерителем магнитного поля, Тл.

9.1.6 Повторить операции 9.1.2 – 9.1.5 для трех значений магнитной индукции постоянного магнитного поля в зазоре электромагнита №1.

9.1.7 За значение постоянной измерительной катушки ( $K_{sw}$ , Вб/Тл) принимают среднее арифметическое значение результатов измерений.

9.2 Подготовка гистерезисграфа

9.2.1 Перед проведением поверки к одному встроенному веберметру гистерезисграфа подключают измерительную катушку, а к другому – датчик Холла. Включают гистерезисграф, запускают ПО и подают питание с помощью красного выключателя.



9.2.2 Выдерживают гистерезисграф во включенном состоянии не менее 10 минут.

9.3 Опробование

9.4 Перед проведением поверки гистерезисграф выдерживают во включенном состоянии не менее 10 минут и проводят работы согласно п.3 ИЭ.

9.5 Опробование проводят с помощью контрольного образца AlNiCo (далее – КО), входящего в комплект гистерезисграфа. Измерение КО выполняют согласно п. 4 ИЭ.

9.6 При отсутствии показаний гистерезисграф признают непригодным к применению, дальнейшие операции не производятся.

## 10 Проверка программного обеспечения средства измерений

10.1 Идентификационные данные программного обеспечения (далее – ПО) должны соответствовать указанным в таблице 3.

Таблица 3 – Идентификационные данные программного обеспечения

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	ExpO-120824
Номер версии (идентификационный номер) ПО	не ниже 1.0.0.0
Цифровой идентификатор ПО	-

## 11 Определение метрологических характеристик средства измерений

### 11.1 Определение относительной погрешности измерения магнитного потока

11.1.1 Определение относительной погрешности измерения магнитного потока провести для каждого веберметра из состава гистерезисграфа.

11.1.2 Для определения относительной погрешности измерения магнитного потока провести методом прямых измерений значения магнитного потока, создаваемого КВИ при переключении направления тока. Для этого собрать схему в соответствии с рисунком 1.

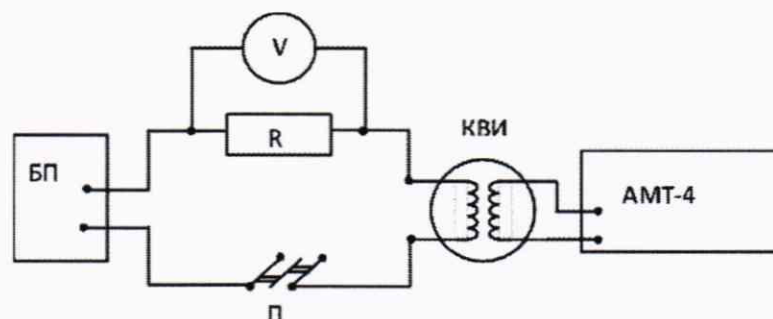


Рисунок 1 – Схема измерений магнитного потока

БП – источник напряжения и тока стабилизированный (далее – блок питания);

V – вольтметр постоянного напряжения;

R – катушка электрического сопротивления P321;

КВИ – катушка взаимной индуктивности;

П – переключатель направления тока;

АМТ-4 – гистерезисграф автоматический АМТ-4

Подключить первичную обмотку КВИ к блоку питания, а вторичную обмотку к разьему гистерезисграфа. Включить блок питания и подать напряжение на первичную обмотку КВИ. Скорректировать дрейф показаний, обнулить показания веберметра и провести измерения потока веберметром при переключении направления тока ( $\Phi_{и+}$ , Вб). Для уменьшения воздействия внешних магнитных полей провести измерения магнитного потока для противоположного направления тока ( $\Phi_{и-}$ , Вб).

11.1.3 Зафиксировать значение напряжения ( $U$ , В). Для каждого значения напряжения провести не менее трех измерений магнитного потока. Значения напряжения выбирают таким образом, чтоб обеспечить проверку магнитного потока во всем диапазоне измерений от 0,001 до 0,1 Вб, но не менее чем в трех точках, равномерно распределенных по диапазону.

## **11.2 Проверка максимального значения напряженности постоянного магнитного поля в зазоре электромагнита**

11.2.1 Проверку максимального значения напряженности постоянного магнитного поля проводят для полюсов диаметром 60 и 110 мм в зазорах 20, 15, 10 и 5 мм.

11.2.2 Установить между полюсами электромагнита зазор. Задать максимальную напряженность постоянного магнитного поля в зазоре электромагнита и зафиксировать значение напряженности постоянного магнитного поля, измеренное установкой ( $H_{\max \text{ уст } i}$ , кА/м).

11.2.3 Обмотку измерительной катушки присоединить ко входу флюксметра электронного ЕФ 5. Измерительную катушку поместить соосно в геометрический центр межполюсного пространства электромагнита и зафиксировать её. Извлечь измерительную катушку из межполюсного пространства на расстояние не менее чем 30 см. Не изменяя скорости, повернуть её на  $180^\circ$  и так же медленно возвратить в межполюсное пространство электромагнита. Снять показания магнитного потока с табло флюксметра ( $\Phi$ , Вб).

11.2.4 Изменить направление магнитного поля в зазоре электромагнита на противоположное, повторить измерение магнитного потока.

## **11.3 Определение относительной погрешности установки напряженности постоянного магнитного поля в зазоре электромагнита**

11.3.1 Определение относительной погрешности установки напряженности постоянного магнитного поля провести для полюсов диаметром 60 мм при зазоре 20 и 10 мм; для полюсов диаметром 110 мм при зазоре 15 и 5 мм.

11.3.2 Определение относительной погрешности установки напряженности постоянного магнитного поля до 1600 кА/м включ.

11.3.2.1 Поместить датчик измерителя напряженности магнитного поля в центр межполюсного пространства электромагнита. Установить в зазоре электромагнита постоянное магнитное поле напряженностью  $H_{\text{уст}}=1591$  кА/м (20,0 кЭ) и выполнить измерение напряженности постоянного магнитного поля измерителем ( $H_{\text{изм}}$ , кА/м).

11.3.2.2 Повторить измерения для следующих значений напряженности магнитного поля: 1194 кА/м (15,0 кЭ), 796 кА/м (10,0 кЭ), 398 кА/м (5,0 кЭ), 79,6 кА/м (1,0 кЭ), 39,8 кА/м (0,5 кЭ). Допускается отклонение установленных значений напряженности постоянного магнитного поля от указанных в пределах  $\pm 20\%$ .

11.3.3 Определение относительной погрешности установки напряженности постоянного магнитного поля свыше 1600 кА/м

11.3.3.1 Установить в зазоре электромагнита постоянное магнитное поле напряженностью  $H_{\text{уст}}=1670$  кА/м (21,0 кЭ). Измерительную катушку, подключенную к флюксметру, поместить соосно в геометрический центр межполюсного пространства электромагнита и зафиксировать её. Извлечь измерительную катушку из межполюсного пространства на рассто-



яние не менее чем 30 см. Не изменяя скорости, повернуть её на  $180^\circ$  и так же медленно вернуть в межполюсное пространство электромагнита. Снять показания магнитного потока с табло флюксметра ( $\Phi$ , Вб).

11.3.3.2 Повторить измерение для следующих значений напряженности магнитного поля: 1989 кА/м (25,0 кЭ), 2228 кА/м (28,0 кЭ), 2500 кА/м (31,4 кЭ). Допускается отклонение установленных значений напряженности постоянного магнитного поля от указанных в пределах  $\pm 20\%$ .

11.3.3 Поменять направление магнитного поля в зазоре электромагнита на противоположное, повторить операции п.п. 11.3.2 – 11.3.3

#### **11.4 Проверка относительной погрешности и СКО случайной составляющей относительной погрешности измерений магнитных характеристик образцов МТМ**

11.4.1 Провести на гистерезисграфе однократные измерения магнитных характеристик (остаточной намагниченности ( $M_r$ , кА/м), остаточной индукции ( $B_r$ , Тл), коэрцитивной силы по индукции ( $H_{CB}$ , кА/м), коэрцитивной силы по намагниченности ( $H_{CM}$ , кА/м), максимального энергетического произведения ( $(BH)_{max}$ , кДж/м<sup>3</sup>)) не менее трех стандартных образцов магнитных свойств магнитотвердых материалов на основе сплава NdFeB (набор МС NdFeB) ГСО 11059-2018 / ГСО 11062-2018 и на основе сплава SmCo (набор SmCo) ГСО 11148-2018 / ГСО 11151-2018 (далее – ГСО)<sup>1</sup>.

11.4.2 Провести на гистерезисграфе не менее пяти измерений магнитных характеристик (остаточной намагниченности ( $M_r$ , кА/м), остаточной индукции ( $B_r$ , Тл), коэрцитивной силы по индукции ( $H_{CB}$ , кА/м), коэрцитивной силы по намагниченности ( $H_{CM}$ , кА/м), максимального энергетического произведения ( $(BH)_{max}$ , кДж/м<sup>3</sup>)) не менее трех образцов МТМ на основе сплавов NdFeB, AlNiCo и SmCo (далее – образец).

#### **11.5 Определение значения постоянной калибровочных катушек**

11.5.3 Калибровочную катушку (далее – катушка) подключить к флюксметру EF 5. С помощью источника питания в межполюсном пространстве электромагнита установить постоянное магнитное поле, равное 1 Тл. Значение магнитной индукции в зазоре электромагнита контролировать с помощью Ш1-9.

11.5.4 Катушку поместить соосно в геометрический центр межполюсного пространства электромагнита, так чтобы геометрический центр катушки совпал с геометрическим центром межполюсного пространства электромагнита.

11.5.5 Сбросить магнитный поток, показываемый флюксметром. Извлечь катушку из межполюсного пространства на расстояние не менее чем 30 см. Не изменяя скорости, повернуть её на  $180^\circ$  и так же медленно вернуть в межполюсное пространство электромагнита. Записать значение магнитного потока ( $\Phi_{2Pi}$ , Вб).

11.5.6 Повторить измерения не менее 6 раз.

## **12 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям**

### **12.1 Определение относительной погрешности измерений магнитного потока**

12.1.1 Для значений магнитного потока, полученных по п. 11.1.2 для противоположных направлений тока, рассчитать среднее из этих значений по формуле

$$\Phi_{и} = \frac{\Phi_{и+} + \Phi_{и-}}{2} \quad (2)$$

<sup>1</sup> Образцы МТМ на основе сплавов NdFeB и SmCo должны быть предварительно намагничены до насыщения



12.1.2 Для значений напряжений по п.11.1.3 рассчитать магнитный поток, создаваемый КВИ, по формуле

$$\Phi_{\text{расч}} = 2 \cdot K_{\Phi} \cdot \frac{U}{R} \quad (3)$$

где  $K_{\Phi}$  – действительное значение взаимной индуктивности КВИ, Вб/А;

$U$  – напряжение тока, В;

$R$  – действительное значение сопротивления катушки электрического сопротивления, Ом.

12.1.3 Для полученных рядов магнитного потока по п. 11.3 вычислить среднее арифметическое значение результатов измерений и среднее квадратическое отклонение результата измерений по формулам 4 и 5 соответственно:

$$\overline{\Phi}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Phi_{ni}, \quad (4)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Phi_{ni} - \overline{\Phi}_n)^2}, \quad (5)$$

где  $\overline{\Phi}_n$  – среднее арифметическое значение измеренного магнитного потока, Вб;

$\Phi_{ni}$  –  $i$ -ое измеренное значение магнитного потока, Вб;

$S$  – оценка среднего квадратического отклонения результата измерений, Вб;

$n$  – число измерений,  $n \geq 3$ .

12.1.4 Вычислить отклонение измеренного магнитного потока от рассчитанного ( $\Delta_{\Phi}$ , %) по формуле

$$\Delta_{\Phi} = \left| \frac{\overline{\Phi}_n - \Phi_{\text{расч}}}{\Phi_{\text{расч}}} \right| \cdot 100 \quad (6)$$

12.1.5 Вычислить неисключенную систематическую составляющую ( $\theta_n$ , Вб) погрешности результата измерений магнитного потока обусловленную используемыми средствами измерений по формуле

$$\theta_n = \frac{\overline{\Phi}_n}{100} \cdot \sqrt{\delta_U^2 + \delta_{\text{КВИ}}^2 + \delta_R^2 + \Delta_{\Phi}^2} \quad (7)$$

где  $\delta_U$  – погрешность измерения напряжения, %;

$\delta_{\text{КВИ}}$  – погрешность действительного значения взаимной индуктивности КВИ, %;

$\delta_R$  – погрешность действительного значения сопротивления катушки электрического сопротивления, %;

$\Delta_{\Phi}$  – отклонение измеренного магнитного потока от рассчитанного, %.

12.1.6 Вычислить величину относительной погрешности измерения магнитного потока ( $\delta_{\Phi}$ , %) для доверительной вероятности 0,95 по формуле

$$\delta_{\Phi} = 2 \cdot \sqrt{\frac{S^2}{n} + \frac{\theta_n^2}{3}} \cdot \frac{100}{\overline{\Phi}_n} \quad (8)$$

12.1.7 Относительная погрешности измерения магнитного потока должна быть в пределах  $\pm 1,0$  %.

## 12.2 Проверка максимального значения напряженности постоянного магнитного поля в зазоре электромагнита

12.2.1 Для рядов значений магнитного потока по п. 11.2 рассчитать измеренное значение напряженности постоянного магнитного поля ( $H_p$ , кА/м) в зазоре электромагнита для противоположных направлений магнитного поля по формуле

$$H_p = \frac{\Phi}{1000 \cdot \mu_0 \cdot K_{sw}}, \quad (9)$$

где  $\Phi$  – магнитный поток, измеренный флюксметром, Вб;

$\mu_0$  – магнитная постоянная, равная  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Тл·м/А =  $12,5664 \cdot 10^{-7}$  Тл·м/А [согласно «CODATA recommended values of the fundamental physical constants: 2014»];

$K_{sw}$  – постоянная измерительной катушки, определенная в соответствии с п.9.1, Вб/Тл.

12.2.2 За максимальное значение напряженности постоянного магнитного поля ( $H_{max}$ , кА/м). принять значение, рассчитанное по формуле

$$H_{max} = \frac{|H_{p+}| + |H_{p-}|}{2}, \quad (10)$$

где  $|H_{p+}|, |H_{p-}|$  – абсолютные значения напряженности магнитного поля для противоположных направлений магнитного поля, кА/м.

12.2.3 Максимальное значение напряженности постоянного магнитного поля в зазоре электромагнита должно быть не менее значений, указанных в таблице 4.

Таблица 4 – Максимальное значение напряженности постоянного магнитного поля в зазоре электромагнита

Диаметр полюсов 60 мм		Диаметр полюсов 110 мм	
Зазор, мм	$H_{max}$ , кА/м	Зазор, мм	$H_{max}$ , кА/м
20	2343	20	2100
15	2400	15	2200
10	2488	10	2300
5	2500	5	2410

## 12.3 Определение относительной погрешности установки напряженности постоянного магнитного поля в зазоре электромагнита

12.3.1 Для рядов значений п.11.3 вычислить отклонение установленного значения напряженности магнитного поля от измеренного значения ( $\delta_{отк}$ , %) по формуле

$$\delta_{отк} = \left| \frac{H_{уст} - H_{изм}}{H_{изм}} \right| \cdot 100, \quad (11)$$

где  $H_{уст}$  – значение напряженности постоянного магнитного поля, создаваемого в зазоре электромагнита гистерезисграфа, кА/м;

$H_{изм}$  – измеренное значение напряженности постоянного магнитного поля, кА/м.

12.3.2 Рассчитать относительную погрешность установки напряженности постоянного магнитного поля в зазоре электромагнита в относительном виде ( $\delta_H$ , %)

для значений напряженности постоянного магнитного поля до 1600 кА/м включ

$$\delta_H = |\delta_{FH}| + |\delta_{отк}|, \quad (12)$$

где  $\delta_{FH}$  – относительная погрешность измерителя напряженности магнитного поля, %;



$\delta_{\text{отк}}$  – отклонение устанавливаемого значения напряженности магнитного поля от измеренного, %.

для значений напряженности постоянного магнитного поля свыше 1600 кА/м

$$\delta_H = 1,1 \cdot \sqrt{2 \cdot \delta_\Phi^2 + \delta_B^2 + \delta_{\text{отк}}^2}, \quad (13)$$

где  $\delta_\Phi$  – относительная погрешность измерения магнитного потока флюксметром, %

$\delta_B$  – относительная погрешность измерения магнитной индукции, %;

$\delta_{\text{отк}}$  – отклонение устанавливаемого значения напряженности магнитного поля от измеренного, %.

12.3.3 Значения относительной погрешности установки напряженности постоянного магнитного поля должны быть в пределах  $\pm 2,0$  %.

#### 12.4 Проверка относительной погрешности и СКО случайной составляющей относительной погрешности измерений магнитных характеристик образцов МТМ

12.4.1 Для рядов значений по п. 11.4.1 рассчитать относительную погрешность измерений магнитных характеристик на каждом ГСО по формуле

$$\delta_{M_i} = \frac{|X_{\text{изм}_i} - X_{\text{ПС}_i}| + |\Delta X_{\text{ПС}}|}{X_{\text{ПС}_i}} \cdot 100, \quad (14)$$

где  $X_{\text{изм}_i}$  – магнитная характеристика  $i$ -го ГСО, измеренная на гистерезисграфе, ( $M_r$ , кА/м), ( $B_r$ , Тл), ( $H_{CB}$ , кА/м), ( $H_{CM}$ , кА/м),  $((BH)_{\text{max}}$ , кДж/м<sup>3</sup>);

$X_{\text{ПС}_i}$  – аттестованное значение магнитной характеристики  $i$ -го ГСО, указанное в паспорте, ( $M_r$ , кА/м), ( $B_r$ , Тл), ( $H_{CB}$ , кА/м), ( $H_{CM}$ , кА/м),  $((BH)_{\text{max}}$ , кДж/м<sup>3</sup>);

$\Delta X_{\text{ПС}}$  – абсолютная погрешность аттестованного значения магнитной характеристики  $i$ -го ГСО, указанное в паспорте, ( $M_r$ , кА/м), ( $B_r$ , Тл), ( $H_{CB}$ , кА/м), ( $H_{CM}$ , кА/м),  $((BH)_{\text{max}}$ , кДж/м<sup>3</sup>).

12.4.2 Значения относительной погрешности измерений магнитных характеристик не должны превышать значений, указанных в таблице 5.

Таблица 5 – Значения относительной погрешности измерений магнитных характеристик, %

Наименование магнитной характеристики	Значение
Остаточная намагниченность образца, $M_r$	$\pm 3,5$
Остаточная индукция, $B_r$	$\pm 3,5$
Коэрцитивная сила по индукции, $H_{CB}$	$\pm 4,5$
Коэрцитивная сила по намагниченности, $H_{CM}$	$\pm 4,5$
Максимальное энергетическое произведение, $(BH)_{\text{max}}$	$\pm 5,5$

12.4.3 Для рядов значений магнитных характеристик по п. 11.4.2 для каждого образца вычислить среднее арифметическое значение результата измерений и СКО случайной составляющей относительной погрешности по формулам:

$$\bar{X}_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ij_i}, \quad (15)$$

$$S_{X_{ij}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{ij_i} - \bar{X}_{ij})^2}{(n-1)}} \cdot \frac{100}{\bar{X}_{ij}}, \quad (16)$$



где  $\overline{X}_{Иj}$  – среднее арифметическое значение результата измерений магнитной характеристик  $j$ -го образца, ( $M_r$ , кА/м), ( $B_r$ , Тл), ( $H_{CB}$ , кА/м), ( $H_{CM}$ , кА/м),  $((BH)_{max}$ , кДж/м<sup>3</sup>);  
 $X_{Иj}$  – магнитная характеристика  $j$ -го образца, измеренная на гистерезисграфе, ( $M_r$ , кА/м), ( $B_r$ , Тл), ( $H_{CB}$ , кА/м), ( $H_{CM}$ , кА/м),  $((BH)_{max}$ , кДж/м<sup>3</sup>);  
 $S_{X_{Иj}}$  – СКО случайной составляющей относительной погрешности измерений магнитной характеристик  $j$ -го образца, %;  
 $n$  – число измерений,  $n \geq 5$ .

12.4.4 Значения СКО случайной составляющей относительной погрешности измерений магнитных характеристик не должны превышать значений, указанных в таблице 6.

Таблица 6 – Значения СКО случайной составляющей относительной погрешности измерений магнитных характеристик, %

Наименование магнитной характеристики	Значение
Остаточная намагниченность образца, $M_r$	1,0
Остаточная индукция, $B_r$	1,0
Коэрцитивная сила по индукции, $H_{CB}$	1,5
Коэрцитивная сила по намагниченности, $H_{CM}$	1,5
Максимальное энергетическое произведение, $(BH)_{max}$	2,0

## 12.5 Определение значения постоянной калибровочных катушек

12.5.1 Для рядов значений п.11.5 рассчитать значение постоянной катушки ( $K_{sw}$ , Вб/Тл) по формуле

$$K_{swi} = \frac{\Phi_{2\Pi i}}{2 \cdot B_{эм i}} \quad (17)$$

где  $\Phi_{2\Pi}$  – магнитный поток, измеренный флюксметром, Вб;

$B_{эм}$  – магнитная индукция постоянного магнитного поля, измеренная Ш1-9, Тл.

12.5.2 Вычислить среднее арифметическое результатов расчета постоянной измерительной катушки по формуле

$$\overline{K_{sw}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_{swi}, \quad (18)$$

где  $K_{swi}$  –  $i$ -ый результат расчета значения постоянной катушки, Вб/Тл;

$n$  – число измерений,  $n \geq 6$ .

12.5.3 Относительную погрешность постоянной катушки ( $\delta_{K_{sw}}$ , %) вычислить по формуле

$$\delta_{K_{sw}} = 2 \cdot \sqrt{S_{K_{sw}}^2 + \frac{\theta_k^2}{3 \cdot 1,1^2}} \cdot 100, \quad (19)$$

$S_{K_{sw}}$  – оценка отклонения среднего квадратического отклонения среднего значения, рассчитанная по формуле, %

$$S_{K_{sw}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_{swi} - \overline{K_{sw}})^2}{n \cdot (n-1)}} \cdot \frac{100}{\overline{K_{sw}}} \quad (20)$$

$\theta_k$  – относительная неисключенная систематическая составляющая погрешности расчета постоянной катушки, %, рассчитанная по формуле

$$\theta_k = 1,1 \cdot \sqrt{(\delta_\phi)^2 + 2 \cdot (\delta_B)^2} \quad (21)$$

### 13 Оформление результатов поверки

13.1 Результаты поверки оформляют протоколом, форма протокола произвольная.


13.2 При положительных результатах поверки гистерезисграф признают пригодным к применению и оформляют результаты поверки в соответствии с Приказом Минпромторга России от 31 июля 2020 г. № 2510 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке» или в соответствии с порядком, действующим на момент проведения поверки» или действующими на момент проведения поверки нормативно-правовыми актами в области обеспечения единства измерений. Знак поверки на гистерезисграф не наносится.

13.3 При отрицательных результатах поверки гистерезисграф признают непригодным к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений и оформляют результаты в соответствии с Приказом Минпромторга России от 31 июля 2020 г. № 2510 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке» или действующими на момент проведения поверки нормативно-правовыми актами в области обеспечения единства измерений.

13.4 Сведения о результатах поверки передают в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в соответствии с Приказом Минпромторга России от 28.08.2020 г. № 2906 «Об утверждении порядка создания и ведения Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений, передачи сведений в него и внесения изменений в данные сведения, предоставления содержащихся в нем документов и сведений».

Разработчики:

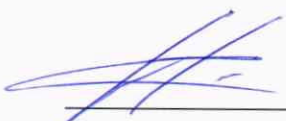
И.о. зав. лаб. 261 УНИИМ – филиала  
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева»

 И.С. Цай

С.н.с. лаб. 261 УНИИМ – филиала  
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева»

 Т.И. Маслова

Ст. инженер. лаб. 261 УНИИМ – филиала  
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева»

 Е.С. Никова