

происходить следующим образом :

$$\alpha_{Ni} (V) = \frac{V_{ci}}{S},$$

где  $\alpha_{CH}$  – расчетный угол поворота фланца СН с закрепленной на нем НА оптического дистанционного зондирования;  $V_{CH}$  – величина кодового сигнала датчиков углов поворота СН, регистрируемая при повороте ее фланца.

Разрабатываемый комплекс будет введен в эксплуатацию до конца текущего года в составе Центра коллективного пользования, размещенного в НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ и будет использоваться для калибровки различных электронно-механических систем, оснащенных датчиками угловых положений.

1. Летная отработка исследовательской аппаратуры «Фотоспектральная система» на борту Российского сегмента МКС / Б.И. Беляев [и др.] // Космическая техника и технологии. – 2014. – № 1(4). С.22-28.
2. Видеоспектральная система для мониторинга земной поверхности с борта МКС / Б.И. Беляев и др. // Шестой Белорусский космический конгресс: Материалы конгресса. В 2 т. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси. – 2014. – Т.1. – С. 211-214.
3. Бортовая система автоматической ориентации видеоспектральной аппаратуры для МКС / Б.И. Беляев и др. // Приборы и методы измерений. – 2015. – № 1. – С. 26-30.

УДК 621.317.4; 621.317

## ЭТАЛОННАЯ УСТАНОВКА И СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ

**Брановицкий И.И. , Скурту И.Т. , Размыслович Г.И. , Ерошенко А.С.**

*Институт прикладной физики НАН Беларуси*

*Минск, Республика Беларусь*

Республика Беларусь является крупным потребителем наиболее востребованного в народном хозяйстве магнитомягкого материала – электро-технической стали (ЭТС) – десятки тысяч тонн в год. В связи с тем, что магнитные характеристики изготавливаемых из ЭТС магнитопроводов являются одним из основных факторов, определяющих технический уровень генерирующих, преобразующих и трансформирующих электрическую энергию систем (генераторов, электродвигателей, трансформаторов и т.д.), в развитых странах существует четкая система аттестации ЭТС по магнитным характеристикам (удельные магнитные потери и магнитная индукция) на стадии выходного (производителя) и входного (потребители стали) контроля. В 1998 г. с целью восстановления единых правил аттестации ЭТС Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (в том числе Госстандарты России, Беларуси, Украины – всего 9 стран СНГ) принята система межгосударственных стандартов (ГОСТ 12119.(0-8)-98) [1-3], устанавливающих порядок определения магнитных и электрических свойств ЭТС. Однако до настоящего времени в Республике Беларусь не были сформированы в полном объеме условия для реализации указанных выше технических нормативных правовых актов. Действительно, названные межгосударственные стандарты определяют основные требования к процедурам измерения магнитных характеристик ЭТС рабочими средствами. В Институте прикладной физики созданы первые в Республике

Беларусь и одни из первых в странах СНГ современные рабочие средства измерения удельных магнитных потерь и магнитной индукции в ЭТС – магнито-измерительные установки УМ-ИМПИ и УМЦ, предназначенные для входного контроля магнитных свойств ЭТС. Работа установок методически и технически соответствует установленным международным процедурам и указанным выше межгосударственным стандартам и они сертифицированы в РБ, а УМ-ИМПИ и в РФ. В тоже время эталонная база для разработки методик и аттестации таких средств до настоящего времени в РБ отсутствовала.

В 2013-2015 г.г. в течение двух с половиной лет в ИПФ НАН Беларуси проводилась НИОКР с целью восполнить этот пробел. Работа велась в рамках подпрограммы “Эталоны Беларуси” ГНТП “Эталоны и научные приборы” по заданию 2.19 “Создать эталонную установку и стандартные образцы для воспроизведения, хранения и передачи размера единиц удельных магнитных потерь и магнитной индукции в электро-технической стали”. К работе по заданию были привлечены также специалисты БелГИМ. В результате выполнения задания была создана и аттестована эталонная установка (ЭУ) (см. рис. 1), а также изготовлены, исследованы и сертифицированы 4 стандартных образца (СО) для хранения и передачи рабочим средствам размера единиц удельных магнитных потерь и магнитной индукции в электротехнической стали. СО созданы в виде пакетов пластин 280x30 мм (эпштейновская проба) из анизотропной и изотропной ЭТС, в

виде отдельного листа 250x500 мм и кольца – оба из анизотропной ЭТС.



Рисунок 1 – Общий вид ЭУ для измерения магнитных свойств электротехнической стали.

В основе работы созданной ЭУ лежит индукционный метод измерений. Метод базируется на аналого-цифровом преобразовании мгновенных значений сигналов, пропорциональных напряженности магнитного поля на поверхности стандартного образца и производной по времени средней по сечению образца магнитной индукции, в цифровые коды с последующим вычислением магнитных характеристик образца. При этом программным путем реализована одна из разновидностей индукционного метода измерений удельной мощности магнитных потерь в магнитомягких материалах – феррометрический метод измерения.

Разработанная ЭУ измеряет динамические магнитные характеристики СО из магнитомягких материалов типа электро-техническая сталь в синусоидальном режиме перемагничивания на частоте 50 Гц. Индукционный метод измерения использует аналого-цифровое преобразование мгновенных значений напряжения на измерительной обмотке стандартного образца и напряжения на измерительном резисторе в намагничивающей цепи в цифровые коды. Персональный компьютер, входящий в состав магнито-измерительной установки, работает по измерительной программе, разработанной для данной установки на языке высокого уровня и управляет программируемым генератором, вхо-

дящим в состав блока намагничивания и состоящим из цифроаналогового преобразователя и усилителя мощности, задавая синусоидальный режим перемагничивания испытуемого образца, обеспечивает измерение электрических сигналов, пропорциональных напряженности магнитного поля и скорости изменения магнитной индукции в образце, рассчитывает необходимые магнитные характеристики. Использование компьютера позволяет автоматизировать процесс измерения и расширить функциональные возможности установки в части измерения дополнительных магнитных характеристик, таких как остаточная индукция, коэрцитивная сила, магнитная проницаемость и др.

Основные характеристики: диапазон воспроизведения единицы удельных магнитных потерь – 0,3 – 10,0 Вт/кг; диапазон воспроизведения единицы магнитной индукции – 0,1 – 1,95 Тл; доверительные границы суммарной погрешности воспроизведения единицы удельных магнитных потерь при доверительной вероятности  $P=0.99$  и числе измерений  $n=10$  не более: при измерении на СО в виде пакета пластин и в виде кольца – 0,8%; при измерении на СО в виде листа – 1%; доверительные границы суммарной погрешности воспроизведения единицы магнитной индукции при доверительной вероятности  $P=0.99$  и числе измерений  $n=10$  не более: при измерении на СО в виде пакета пластин и в виде кольца – 0,5%; при измерении на СО в виде листа – 1%.

1. ГОСТ 12119.0–98 Сталь электро-техническая. Методы определения магнитных и электрических свойств. Общие требования. Мн., 1999 г.
2. ГОСТ 12119.4–98 Сталь электро-техническая. Методы определения магнитных и электрических свойств. Метод измерения удельных магнитных потерь и действующего значения напряженности магнитного поля. Мн., 1999 г.
3. ГОСТ 12119.5–98 Сталь электро-техническая. Методы определения магнитных и электрических свойств. Метод измерения амплитуд магнитной индукции и напряженности магнитного поля. Мн., 1999 г.