

виде таблиц, занесенных в экспертную карту (фрагмент приведен в таблице 2).

Оценка комплексных характеристик проводится группой экспертов коллегиально. Исходными данными для оценки являются результаты оценки единичных характеристик качества и соответствия требованиям. Оценка (число в интервале  $[0,1 \div 1]$ ) проставляется в правой колонке соответствующей строки формы, частично заполненной на предыдущем этапе.

В случае если при обсуждении эксперты смогут установить весовые коэффициенты, комплексные показатели получают расчетным методом весовой свертки. В противном случае, оценку (число в интервале  $[0,1 \div 1]$ ) выставляют в результате обсуждения. Расчет интегрального показателя качества выполняется по формуле весовой свертки после уточнения группой экспертов весовых коэффициентов (значимости) комплексных характеристик качества.

Таблица 2

Метрика	Оценочный элемент	Оценка
Средства восстановления при ошибках на входе (0,4)	Полнота обработки ошибочных ситуаций	0,8
	Наличие тестов для проверки допустимых значений входных данных	0,6
	Наличие средств контроля корректности входных данных	0,9
	Наличие обработки граничных результатов	0,9

Правила оценки соответствия нормативно-техническим документам по комплексным и интегральному показателям: если хотя бы одна единичная характеристика данного комплексного показателя имеет оценку «Не соответствует», такую же оценку получает комплексный показатель; если хотя бы один комплексный показатель имеет

оценку «Не соответствует», такую же оценку получает интегральный показатель. Полученные оценки заносят в итоговую таблицу результатов оценки. По результатам выполнения данного и последующих этапов испытаний оформляется протокол с подписями всех участвовавших экспертов.

Все сотрудники должны осуществлять свою деятельность в соответствии с должностными инструкциями. Специалисты руководствуются в своей работе методикой оценки программного обеспечения, руководством по качеству, должностными инструкциями и требованиями, предъявляемыми к специалистам.

В результате проведенного анализа были получены следующие оценки факторов качества встроенного программного обеспечения:

- надежность  $K_n^\phi = 0,79$ ;
- сопровождаемость  $K_c^\phi = 0,81$ ;
- удобство применения  $K_y^\phi = 0,55$ ;
- эффективность  $K_\varepsilon^\phi = 0,9$ ;
- универсальность  $K_{yn}^\phi = 0,75$ ;
- корректность  $K_k^\phi = 0,84$ .

Все показатели принимают значения в пределах требуемой нормы в соответствии с ГОСТ 28195-89. Итоговая оценка качества ПО -0,77, что является хорошим результатом.

#### Литература

1. ГОСТ 28806–90 Качество программных средств. Термины и определения.
2. ГОСТ 28195–99 Оценка качества программных средств. Общие положения.
3. IATF 16949:2016 Фундаментальные требования к системе менеджмента качества для производств автомобильной промышленности и организаций, производящих соответствующие сервисные части.

УДК 621.179.14; 621.317.44

### МЕРА ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ФЕРРОЗОНДОВЫХ ГРАДИЕНТОМЕТРОВ С НЕСООСНЫМ (ПОПЕРЕЧНЫМ) РАСПОЛОЖЕНИЕМ ПОЛУЗОНДОВ

Кулагин В.Н., Осипов А.А., Пиунов В.Д.

Государственное научное учреждение «Институт прикладной физики НАН Беларуси»  
Минск, Республика Беларусь

Для обеспечения единства и требуемой точности измерений необходимо, чтобы измерительные преобразователи имели метрологическое обеспечение. Это важно и для преобразователей с намагничивающей системой, использующих в качестве измерительного элемента феррозондовый градиентометр. Для дифференциальных феррозондовых градиентометров с соосным расположением сердечников полузондов разработаны теоретические основы [1] и меры градиента магнитного поля, содержащие в простейшем случае систему

из двух встречно включенных круглых катушек с током (градиентная пара Максвелла). В их центре вдоль оси (рис. 1) в области требуемой максимальной однородности градиента при калибровке и поверке устанавливается феррозондовый преобразователь. Кольца лежат соосно в параллельных плоскостях ( $X$  и  $Y$ ) на расстоянии  $\Delta Z_{11'} = 3^{1/2} R$ , где  $R$  – радиус колец.

Значение градиента напряжённости магнитного поля  $G$  в рабочем объёме меры пропорционально значению тока  $I$  в обмотке меры:  $G = K \cdot I$ .

Коэффициент пропорциональности  $K$  называется коэффициентом преобразования меры.

Пример [2] исполнения меры, использующийся на практике для поверки приборов типа ИМА [3], измеряющих градиент магнитного поля остаточной намагниченности, показан на рис. 2.

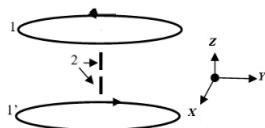


Рисунок 1 – Схематическое изображение классических токовых колец (1 и 1') с указанным направлением токов и расположением полузондов калибруемого градиентометра (2) на расстоянии  $\Delta Z_{11'}$ .

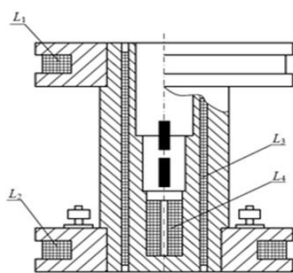


Рисунок 2 – Мера градиента магнитного поля МГП-2:  $L_1, L_2$  – градиентная пара,  $L_3$  – соленоид,  $L_4$  – дополнительный соленоид, в центре по оси расположен стандартный феррозонд, состоящий из двух соосных полузондов

Для обеспечения единства измерений разработан единый межгосударственный эталон градиента магнитного поля [4, 5] и поверочная схема [6].

Однако, вышеуказанные меры градиента магнитного поля в силу геометрической направленности градиента (рис. 1 и 2) по оси  $Z$  в их рабочей области между катушками не могут быть использованы для калибровки градиентометрических преобразователей с параллельным, но не с соосным, а поперечным расположением полузондов, т.е. использующих недиагональный [4] компонент тензора градиента магнитной индукции.

В некоторых случаях целесообразно установить кольца (катушки) не соосно, а напротив друг друга с параллельно расположенными осями. При этом сердечники полузондов феррозонда находятся параллельно друг другу в центре между этими кольцами перпендикулярно плоскости витков (рис. 3) по оси  $Z$ .

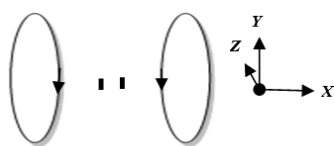


Рисунок 3 – Пример расположения токовых катушек для преобразователей с поперечным расположением полузондов для меры М-101

Такой принцип реализован в катушках меры М-101, внесенной в Госреестр России под номером №44867-10. Воспроизводимая величина – составляющая градиента напряжённости магнитного поля  $dH_z/dx$ . Направление оси  $X$  соответствует ширине меры, ось  $Z$  направлена по ее высоте (рис. 3). Рабочим объемом меры М-101 при относительной погрешности 3 % является куб с размерами сторон всего 10 мм.

Поэтому возникают сложности при её использовании, когда феррозонд помещен в преобразователь с намагничивающей системой значительных размеров, что нередко применяется в магнитной структурографии, например, для поверки приборов на основе локального импульсного намагничивания [3]. Преобразователь этих приборов, совмещенный с феррозондом с несоосным расположением полузондов, имеет значительные размеры. Он не может быть расположен в рабочей области такой меры в центре симметрии между её градиентометрических катушек.

Для создания меры, обеспечивающей возможность калибровки и поверки таких феррозондовых преобразователей, предлагается конструкция, содержащая 2 пары градиентометрических катушек (колец) с указанными стрелками направлениями тока в них, как это представлено на рис. 4.

При этом пара колец 3 и 4 лежит в плоскости, расположенной на расстоянии  $\Delta Z_{13} = \Delta Z_{24}$  от параллельной ей плоскости, в которой лежит другая пара колец 1 и 2 (рис. 4).

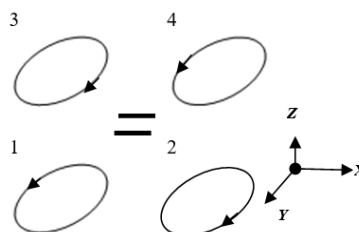


Рисунок 4 – Расположение токовых колец (катушек) для габаритных преобразователей с поперечным расположением полузондов

Для создания реально работающей конструкции такой меры требуется расчёт, причем основное требование для рабочей области меры – достаточная однородность магнитного градиента в ней, как и в вышеуказанных более простых конструкциях.

Интересующая нас величина, воспроизводимая мерой, – это составляющая градиента напряжённости магнитного поля  $dH_x/dz$ . Оси  $X$  и  $Y$  расположены в горизонтальной плоскости, ось  $Z$  направлена по высоте меры. При расчетах использовался закон Био-Савара-Лапласа. Форма катушек использовалась прямоугольная, толщина намотки по всем размерам была выбрана одинаковой и равной 10 мм, то есть рассмотрен вариант относительно тонких катушек. Длина полузондов

( $L_1 = L_2$ ) и поперечное расстояние ( $\Delta Z$ ) между ними 15 мм.

Один из реализованных расчетных вариантов меры приведен на рис. 5 и имеет рабочий объем в форме куба с размерами сторон 40 мм при уровне погрешности от смещения преобразователя на расстояние  $\Delta$  менее 0,5 %. Из рис. 5 также видно, что в ряде случаев погрешность может не превышать 0,1 % при смещениях преобразователя относительно центра рабочего объема меры вплоть до 15 мм и более.

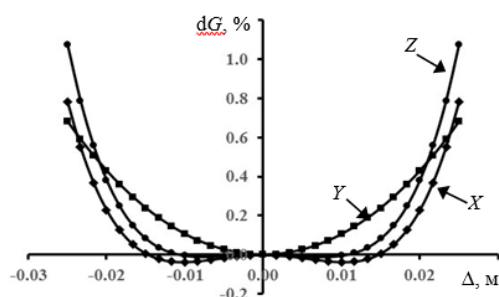


Рисунок 5

Таким образом, показана и реализована возможность создания меры для габаритных преобразователей приборов импульсно-локального типа, в которых используются градиентометры с несоосным расположением полупроводников. При сопоставимых размерах рассмотренных выше градиентометрических катушек и катушек меры М-101 в новой мере создаётся приемлемый объём для размещения преобразователей гораздо большего размера.

УДК 621.396.67

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ АНАЛИЗА СИСТЕМЫ АНТЕННА-ОБТЕКАТЕЛЬ

Будай А.Г., Гринчук А.П., Громыко А.В.

Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» БГУ  
Минск, Республика Беларусь.

Современные антенны для радиолокационных систем представляют собой весьма сложные и дорогостоящие изделия. Для защиты их от внешних воздействий, в первую очередь метеофакторов, используют различного рода радиопрозрачные укрытия. Особый класс таких укрытий представляют носовые обтекатели летательных аппаратов. Обтекатели выполняют двойную функцию – обеспечивают необходимую аэродинамику летательного аппарата (самолета, ракеты) и защищают антенну от внешних воздействий. Следует отметить, что, как правило, обтекатель не делается сам по себе, а в комплексе с антенной, устанавливаемой под обтекатель. В этой связи целесообразно рассматривать систему антенна-обтекатель. Поскольку внешние обводы обкателя и выбор материала его стенок определяется

Подобные расчеты и осуществленное моделирование при разумном сочетании конфигурации меры и обоснованном выборе размеров ее элементов позволяет осуществить и другие оптимальные варианты градиентометрических мер для вновь разрабатываемых габаритных преобразователей в магнитной структурографии.

### Литература

- 1 Афанасьев, Ю.В. Средства измерений параметров магнитного поля. / Ю.В Афанасьев, Н.В. Студенцов, В.Н. Хорев – Л.: Энергия, 1979. – 320 с.
- 2 Мельгуй, М.А. Метрологическое обеспечение импульсно-локального магнитного метода контроля / М.А. Мельгуй, В.Д. Пиунов // В кн.: Новые физические методы неразрушающего контроля качества продукции – М.: МДНТП. – 1977. – С. 130–135.
- 3 Счастный, А.С. Механическая анизотропия и параметры петли магнитного гистерезиса листового проката низкоуглеродистых сталей / А.С. Счастный, А.А. Осипов // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2015. – № 3. – С. 15–27.
- 4 Хорев, В.Н. Исходный рабочий эталон единицы градиента магнитной индукции / В.Н. Хорев, В.Я. Шифрин, С.А. Шубин // Измерительная техника. – 2012. – № 2. – С. 45–49.
- 5 Шифрин, В. Я. Государственный первичный эталон единиц магнитной индукции, магнитного потока, магнитного момента и градиента магнитной индукции / В. Я. Шифрин, С.Л. Воронов, В.Н. Калабин // Измерительная техника. – 2012. – № 7. – С. 3–7.
- 6 ГСИ ГОСТ 8.030-2013 Государственная поверочная схема для средств измерений магнитной индукции, магнитного потока, магнитного момента и градиента магнитной индукции. – М.: Стандартинформ, 2014. – 14 с.

аэродинамикой, обеспечение высоких электродинамических характеристик обкателя является довольно сложной задачей. Кроме этапа математического моделирования с использованием стандартных пакетов программ, процесс оптимизации электродинамических параметров обкателей обязательно включает этап физического моделирования, неотъемлемой частью которого является измерение характеристик системы антенна-обтекатель и анализ результатов измерения.

Целью данной работы явилась разработка специальных методов обработки результатов измерения характеристик системы антенна – обтекатель для определения характера влияния параметров обкателя на характеристики антенны и определения механизмов минимизации этого влияния. В основу этих методов положена процедура срав-