

УДК 629.735.083.02/.03: 620.179

## О ВЕДОМСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЯХ ДЕФЕКТΟΣКОПОВ ТИПА МД-М ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ БАЗЫ МАГНИТОПОРОШКОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Ю.В. БАЙКОВ, А.А. БОГОЯВЛЕНСКИЙ

**Статья представлена доктором технических наук, профессором Шапкиным В.С.**

В статье изложены основные результаты ведомственных испытаний портативных модульных дефектоскопов типа МД-М для модернизации инструментальной базы магнитопорошкового неразрушающего контроля на предприятиях воздушного транспорта и аэрокосмической отрасли.

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль, магнитопорошковый дефектоскоп, метрологическое обслуживание, калибровка, специальное средство измерений.

На воздушном транспорте и аэрокосмической отрасли России до настоящего времени массово применяются переносные магнитопорошковые дефектоскопы отечественного производства типов МПД-1 (з-д № 408 ГА, Москва) и ПМД-70 (з-д "Электроточприбор", Кишинев), разработанные и изготовленные в 70-х – 80-х годах прошлого века.

Очевидна необходимость модернизации инструментальной базы магнитопорошкового неразрушающего контроля (НК) на предприятиях воздушного транспорта (ВТ) и аэрокосмической отрасли России.

Для решения названной задачи совместно отделом метрологии и отделом исследований методов и средств НК авиационной техники ФГУП ГосНИИ ГА проведены ведомственные испытания магнитопорошкового переносного модульного дефектоскопа типа МД-М. Дефектоскоп разработан и изготовлен российским ООО "НВП "Кропус" (г. Ногинск Московской области) с применением новых технологий и использованием современной элементной базы.

Основными этапами проведения испытаний дефектоскопов типа МД-М являлись следующие:

- 1) метрологическая экспертиза эксплуатационной документации и установление ее соответствия требованиям стандартов Единой системы конструкторской документации;
- 2) разработка и апробация методики метрологического обслуживания (калибровки);
- 3) исследование устойчивости к воздействию на работоспособность МД-М климатических и механических факторов;
- 4) проверка выявляемости дефектов на стандартных образцах и на реальных узлах и деталях или элементах конструкций ВС;
- 5) обработка и анализ результатов, полученных при проведении экспериментальных исследований; установление возможности применения дефектоскопов типа МД-М для решения задач неразрушающего контроля ферромагнитных деталей (как демонтированных, так и находящихся в конструкции ВС) при ТОиР авиационной техники (АТ) на предприятиях ВТ и аэрокосмической отрасли;
- 6) оформление доказательной документации и представление в Федеральное агентство ВТ для регистрации дефектоскопов типа МД-М в Перечне специальных средств измерений гражданской авиации РФ.

В рамках проведения ведомственных испытаний специалистами отдела метрологии ФГУП ГосНИИ ГА в соответствии РМГ 63–2003 [1] и ОСТ 54-3-156.66-94 [2] проведена метрологическая экспертиза Руководства по эксплуатации [3] и Технических условий [4]. Выявленные по результатам замечания устранены разработчиком в процессе проведения испытаний.

При проведении метрологической экспертизы установлено также, что эксплуатационная документация дефектоскопов МД-М соответствует требованиям ГОСТ 2.601-2006 [5] и ГОСТ 2.610-2006 [6].

Методика метрологического обслуживания (калибровки), включенная в качестве самостоятельного раздела в Руководство по эксплуатации [3], разработана специалистами ФГУП ГосНИИ ГА в соответствии с Рекомендациями [7]. В методике определена номенклатура метрологических характеристик, периодическая проверка которых обеспечит поддержание дефектоскопов типа МД-М в исправном состоянии, разработаны методы их измерений и установлены предельно допускаемые числовые значения, несоответствие которым считается неисправностью и может привести к снижению чувствительности и невыявлению (пропуску) дефектов при проведении НК.

Апробация методики калибровки проведена при нормальных климатических условиях на дефектоскопах типа МД-М (зав. № 009, № 010 и № 011), выпущенных из производства в 2010 г.

Допускаемые значения метрологических характеристик, регламентированные в методике калибровки дефектоскопов МД-М, представлены в табл. 1.

Таблица 1

№	Наименование метрологических характеристик МД-М	Допускаемые значения
1.	Амплитуда тока модуля МД-И через намагничивающие кабели при длине 4 м	не менее 2500 А, 3500 А и 4500 А при сечениях кабеля 4 мм <sup>2</sup> , 10 мм <sup>2</sup> и 16 мм <sup>2</sup> соответственно
2.	Длительность импульса намагничивающего тока, протекающего по кабелю модуля МД-И	(1±0,5) мс
3.	Частота следования импульсов тока по кабелю модуля МД-И в режиме приложенного поля	(1,2±0,5) Гц
4.	Относительные погрешности измерения тока модулей МД-И, МД-С и МД-Э	± 10 %
5.	Длительность автоматического процесса размагничивания с применением модулей МД-И и МД-С	30, 60, 120 с при допуске отклонении ±10 %.
6.	Амплитуда тока в соленоиде, модуль МД-С	не менее 2,5 А
7.	Длительность протекания тока в соленоиде	1-20 периодов (регулируется)
8.	Длительность тока и паузы в режиме "Ток – Пауза" в модуле МД-С	1–10 / 1–10 (регулируется)
9.	Максимальный намагничивающий ток электромагнита модуля МД-Э	не более 5 А
10.	Выходные напряжения блоков питания (преобразователи)	(24±2,4) В

При проведении апробации методики калибровки в качестве рабочих эталонов применялись следующие средства измерений, прошедшие поверку в территориальных органах Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, и имевшие действующие свидетельства:

1) шунты постоянного тока класса точности 0,5: 75ШСМ (зав. № 005075) диапазон 750 А, 75 мВ и 75ШС (зав. № 037171), диапазон 30 А, 75 мВ;

2) осциллограф TDS1012 (зав. № СО34598), полоса пропускания 0–100 МГц, вертикальная чувствительность 2 мВ/дел – 5 мВ/дел с погрешностью  $\pm 3\%$ ; горизонтальная развертка 5 нс/дел – 50 с/дел с погрешностью  $\pm 50 \cdot 10^{-6}$ ;

3) мультиметр APPA 80 (зав. № 85301573), U пост. 0,1 мВ–1000 В, U пер. 1 мВ – 750 В (40 – 500 Гц), I пост./пер. 0,1 мкА–10 А (40 – 500 Гц); базовая погрешность  $\pm 0,5\%$ ;

4) вольтметр универсальный В7-40 (зав. № 442288), U пер 0,2; 2; 20; 200; 700 В с погрешностью  $\pm 0,6\%$ ; U пост. 0,2; 20; 200; 1000 В с погрешностью  $\pm 0,04\%$ ;

5) частотомер ЧЗ-54 (зав. № 30823) диапазон 0,1 Гц – 120 МГц, погрешность  $\pm[(\delta_0+1)/(f_{изм} \times t_{сч})]$ .

Установлено, что все измеренные значения метрологических характеристик дефектоскопов типа МД-М (зав. № 009, № 010 и № 011) в процессе апробации методики калибровки не превышали допусковых пределов, представленных в табл. 1. Таким образом, методика калибровки апробирована с положительными результатами, а подвергавшиеся испытаниям дефектоскопы типа МД-М – в части показателей точности и обеспечения единства измерений – подтвердили соответствие требованиям Руководства по эксплуатации [3] и Технических условий [4], что позволило продолжить дальнейшее проведение испытаний.

В процессе ведомственных испытаний исследована устойчивость дефектоскопов типа МД-М к воздействию:

– климатических факторов – с применением камеры тепла и холода КТХ-0,4-004. Испытывавшиеся экземпляры МД-М (зав. № 009, № 010 и № 011) показали свою работоспособность при температурах от  $-25^{\circ}\text{C}$  до  $+55^{\circ}\text{C}$ , что с запасом охватывает регламентированный в Руководстве по эксплуатации [3] и Технических условиях [4] рабочий температурный диапазон, составляющий от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ ;

– механических факторов – с применением стенда вибрационного 12МВ–100/196. Испытывавшиеся экземпляры МД-М показали свою работоспособность после воздействия виброперегрузок с частотой  $(25 \pm 1)$  Гц и амплитудой смещения до 0,1 мм.

До начала работ применявшееся испытательное оборудование – камера КТХ-0,4-004 и стенд 12МВ–100/196 – предварительно прошло метрологическую аттестацию в соответствии с ГОСТ Р 8.568-97 [8] и ОСТ 54–3–1572.80-2001 [9] с целью подтверждения достоверности задания и поддержания требуемых режимов испытаний.

При этом, критерием работоспособности являлось нахождение фактических значений относительной погрешности измерений тока модулей МД-И, МД-С и МД-Э в допусковых пределах  $\pm 10\%$ .

Таким образом, подвергнутые испытаниям дефектоскопы типа МД-М показали устойчивость к воздействию климатических и механических факторов.

Проведена проверка выявляющей способности дефектоскопов типа МД-М на отраслевом стандартном образце ОСО-МД-157 (свидетельство № 66нк-07), в материале которого имелся искусственный дефект, имеющий протяженность 14 мм, ширину раскрытия 1,1 мкм и глубину 0,25 мм. Для выявления дефектов использовалась суспензия, в состав которой входил магнитный порошок по ТУ6–36–05800165–1009–97. Суспензия с концентрацией порошка  $(25 \pm 5)$  г/л наносилась с применением магнитного индикатора дефектов (МИД) в аэрозольной упаковке.

Выявляющая способность дефектоскопов типа МД-М № 009, № 010 и № 011 с использованием модулей МД-И (кабель сечением 10 мм<sup>2</sup>), МД-С (соленоид переменного тока), МД-Э (электромагнит постоянного тока) по результатам измерений отложений магнитного порошка на дефекте находилась в допусковых пределах  $(14 \pm 0,5)$  мм, регламентированных в Руководстве [10].

Продемонстрированная в процессе испытаний выявляющая способность при обнаружении дефектов в материале стандартного образца ОСО-МД-157 позволяет сделать вывод об уверенном обнаружении дефектов в материале при выполнении магнитопорошкового контроля с ис-

пользованием намагничивающих устройств модулей, входящих в комплект поставки дефектоскопов типа МД-М.

С использованием модулей МД-И, МД-С и МД-Э дефектоскопов типа МД-М № 009, № 010 и № 011 проведены испытания по выявлению дефектов в деталях авиационной техники. Внешний вид дефектоскопа МД-М (блок МД-И) с намагничивающим кабелем, подготовленного к контролю стойки основного шасси самолета, показан на рис. 1.



**Рис. 1.** Внешний вид дефектоскопа МД-М (блок МД-И) с намагничивающим кабелем, подготовленного к контролю стойки основного шасси самолета

В проведении экспериментальных исследований принимали участие специалисты ОАО "Туполев" и ЗАО АТБ "Домодедово", а также разработчики дефектоскопов МД-М.

При этом, для оценки возможности применения намагничивающих устройств модулей дефектоскопов типа МД-М на конструкциях с различной геометрической конфигурацией испытания проведены на элементах (деталях) конструкций ВС – имеющих априори скрытые дефекты материала (табл. 2).

**Таблица 2**

№	Наименование элемента или детали конструкции ВС	Вид (описание) дефекта
1.	Фрагмент стойки основного шасси самолета Як-40	Дефект в сварном шве в зоне приварки шипа
2.	Болт шасси самолета Ту-134 с дефектами материала	Шлифовочные трещины на наружной поверхности
3.	Фрагмент оси колес стойки основного шасси самолёта Ан-24	Шлифовочные трещины под слоем хрома толщиной до 80 мкм
4.	Наружная обойма подшипника	Шлифовочные трещины
5.	Валик привода генератора	Усталостная трещина
6.	Шестерня редуктора вертолета	Усталостная трещина

Намагничивание деталей проводилось в соответствии с нормами Руководства [10] с использованием гибких намагничивающих кабелей различного сечения, соленоида переменного тока и электромагнита постоянного тока. Внешний вид шестерни редуктора вертолета и фрагмента стойки основного шасси самолета Як-40 с усталостными трещинами до и после намагничивания при помощи дефектоскопа МД-М (блок МД-И с намагничивающим кабелем) представлен на рис. 2, 3 соответственно.



**Рис. 2.** Внешний вид шестерни редуктора вертолета с усталостной трещиной до и после проведения магнитопорошкового контроля при помощи дефектоскопа МД-М



**Рис. 3.** Внешний вид фрагмента стойки основного шасси самолета Як-40 с усталостной трещиной до и после проведения магнитопорошкового контроля при помощи дефектоскопа МД-М

В результате испытаний дефекты материала были выявлены на всех элементах (деталях) конструкций ВС, перечисленных в табл. 2, что подтвердило возможность применения намагничивающих устройств модулей МД-И, МД-С и МД-Э дефектоскопов МД-М на конструкциях с различной геометрической конфигурацией.

### Основные результаты ведомственных испытаний

1. При проведении метрологической экспертизы эксплуатационной документации дефектоскопов типа МД-М установлено, что она отвечает требованиям РМГ 63-2003 [1] и ОСТ 54-3-156.66-94 [2], а также соответствует стандартам Единой системы конструкторской документации.

2. В рамках проведения ведомственных испытаний разработана и с положительными результатами апробирована методика метрологического обслуживания (калибровки) дефектоскопов типа МД-М, которая введена в виде самостоятельного раздела в Руководство по эксплуатации [3].

3. Вопросы метрологического обеспечения дефектоскопов типа МД-М решены в полном объеме, в том числе, с учетом особенностей организаций по ТООР АТ на ВТ и предприятий аэрокосмической отрасли.

4. Периодическое метрологическое обслуживание (калибровка) дефектоскопов МД-М может осуществляться метрологическими службами организаций ВТ и аэрокосмической отрасли при условии подтверждения их технической компетентности в области калибровки специальных средств измерений согласно РД 54-3-152.51-97 [11]. Периодичность метрологического обслуживания – один раз в год.

5. Исследование устойчивости к воздействию на работоспособность МД-М климатических и механических факторов подтвердило возможность его применения при температуре окружающего воздуха от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  и после воздействия виброперегрузок с частотой  $(25\pm 1)$  Гц и амплитудой смещения до 0,1 мм.

6. В результате испытаний дефекты материала были выявлены на всех стандартных образцах и на всех реальных узлах и деталях или элементах конструкций ВС с различной геометрической конфигурацией, что подтвердило возможность применения намагничивающих устройств всех трех модулей МД-И, МД-С и МД-Э дефектоскопов типа МД-М для задач магнитопорошкового НК.

7. Особенностью дефектоскопов МД-М является их модульная конструкция (три портативных модуля), что позволяет проводить намагничивание деталей по ГОСТ 21105-87 [12] – как способом остаточной намагниченности, так и способом приложенного поля – в труднодоступных зонах конструкций ВС.

8. Управление работой каждого из модулей выведено на переднюю панель МД-М, имеющую цифровую индикацию и меню: выбора режимов контроля и намагничивания, установки значений тока в намагничивающих устройствах и его тестирования (проверки назначенной величины), управления включением тока в намагничивающих устройствах, что упрощает работу дефектоскопистов.

9. Универсальность электропитания модулей позволяет подключать дефектоскопы МД-М как к сети переменного тока 220 В ± 10 %, так и непосредственно к бортовой сети ВС.

10. По результатам проведенных испытаний дефектоскопы типа МД-М внесены Федеральным агентством ВТ в Перечень специальных средств измерений гражданской авиации РФ (Регистрационное удостоверение № 234-12-2010 от 28.12.2010 г.).

## Выводы

1. Состояние метрологического обеспечения дефектоскопов МД-М – как типа специального средства измерений – соответствует требованиям нормативных документов государственной и отраслевой систем обеспечения единства измерений.

2. Дефектоскопы типа МД-М соответствуют требованиям Технических условий [4] и техническим характеристикам, приведённым в Руководстве по эксплуатации [3].

3. Дефектоскопы типа МД-М позволяют проводить контроль ферромагнитных деталей в условиях организаций по ТОиР АТ и обеспечивают выявление поверхностных дефектов, ориентированных в материалах контролируемых деталей разнонаправленно. При этом, намагничивающие устройства модулей МД-И, МД-С и МД-Э приспособлены к различной геометрии деталей и конструкций ВС.

4. Результаты испытаний позволяют сделать вывод о возможности применения дефектоскопов магнитопорошковых переносных модульных типа МД-М для модернизации инструментальной базы магнитопорошкового НК – взамен морально устаревших дефектоскопов МПД-1 и ПМД-70.

5. По метрологическим и техническим характеристикам дефектоскопы типа МД-М соответствуют уровню аналогичных по назначению дефектоскопов фирм "ITW Tiede Non-destructive-testing GmbH" и "Helling GmbH" (Германия) – ведущих в области магнитопорошкового НК, а по возможности пропускания намагничивающих токов в кабеле величиной до 4500 А и наличию регулировки тока в намагничивающих устройствах – превосходят их.

## ЛИТЕРАТУРА

1. РМГ 63–2003 ГСИ. Метрологическая экспертиза технической документации.
2. ОСТ 54–3–156.66–94. Отраслевая система обеспечения единства измерений. Метрологическая экспертиза нормативной и технической документации.
3. МД–М.00.00.00.00 РЭ. Руководство по эксплуатации магнитопорошкового переносного модульного дефектоскопа МД-М.
4. ТУ 4276–018–33044610–09. Технические условия. Дефектоскоп магнитопорошковый переносной модульный МД-М.
5. ГОСТ 2.601–2006 ЕСКД. Эксплуатационные документы.
6. ГОСТ 2.610–2006 ЕСКД. Правила выполнения эксплуатационных документов.
7. Р РСК 002–06. Рекомендации РСК. Основные требования к методикам калибровки, применяемым в Российской системе калибровки. - М.: ФГУП ВНИИМС, 2006.
8. ГОСТ Р 8.568–97 ГСИ. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения.

9. ОСТ 54–3–1572–2001. Отраслевая система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Порядок проведения.

10. Руководство по применению магнитопорошкового метода неразрушающего контроля изделий авиационной техники гражданской авиации. - М.: Воздушный транспорт, 1982.

11. РД 54–3–152.51–97. Отраслевая система обеспечения единства измерений. Порядок аккредитации метрологических служб предприятий гражданской авиации на право калибровки специальных средств измерений.

12. ГОСТ 21105–87. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод.

## ON DEPARTMENTAL TEST FLAW DETECTORS TYPE MD-M FOR MODERNIZING INSTRUMENTAL BASIS MAGNETIC–POWDERED NONDESTRUCTIVE TESTING

Baykov Y.V., Bogoyavlenskiy A.A.

In article covers basic result departmental test portable modular flaw detectors type MD-M for modernizing of instrumental basis magnetic-powdered nondestructive testing at the enterprise air transport and aerospace branch.

**Key words:** nondestructive testing, magnetic-powdered flaw detector, metrological maintenance, calibration, means measuring special.

### Сведения об авторах

**Байков Юрий Вячеславович**, 1970 г.р., окончил МГАТУ им. К.Э. Циолковского (1997), ведущий инженер отдела исследований методов и средств неразрушающего контроля авиационной техники ГосНИИ ГА, область научных интересов – прикладные вопросы применения неразрушающих методов контроля на воздушном транспорте и предприятиях аэрокосмической отрасли.

**Богоявленский Анатолий Александрович**, 1958 г.р., окончил МИИГА (1981), кандидат технических наук, старший научный сотрудник, главный метролог ГосНИИ ГА – начальник отдела метрологии, автор более 70 научных работ, область научных интересов – исследование законодательных и прикладных проблем метрологического обеспечения производственной деятельности ГА.