

Метрологическое обеспечение измерений концентрации магнитной суспензии при неразрушающем контроле воздушных судов



Приводятся результаты метрологической аттестации отечественных и зарубежных методик измерений косвенным методом концентрации магнитной суспензии в технологических процессах неразрушающего контроля авиационной техники на воздушном транспорте и в аэрокосмической отрасли. Результаты аттестации подтверждают соответствие методик измерений требованиям ГОСТ Р 8.563 [15] и ОСТ 54-3-154.82 [16]. Выявлены и исследованы составляющие суммарной погрешности измерений, установлены числовые значения суммарных погрешностей измерений концентрации магнитной суспензии.

Магнитопорошковый метод неразрушающего контроля основан [1] на индикации дефектов в результате притяжения частиц магнитного порошка силами неоднородных полей, возникающих над дефектами на поверхности намагниченных деталей, изготовленных из ферромагнитных материалов. При нанесении магнитной суспензии в этих зонах образуются индикаторные рисунки в виде скопления частиц порошка. Чёткость индикаторных рисунков, а следовательно, и надёжность обнаружения дефектов магнитопорошковым методом существенно зависят от концентрации магнитного порошка в суспензии.

При повышенной концентрации происходит образование мешающего фона вследствие интенсивного оседания порошка на проверяемой поверхности детали, что может привести к пропуску дефектов. Наоборот, пониженная концентрация порошка

может послужить причиной невыявления дефектов. Концентрация порошка задаётся в соответствии с методикой неразрушающего контроля конкретного объекта. Оптимальная концентрация порошка находится в пределах 10...50 г/л. В свою очередь, в течение рабочего дня концентрация может значительно изменяться из-за недостаточного перемешивания, прилипания магнитного порошка к поверхностям проверенных деталей и по иным причинам.

Как правило, магнитный порошок подаётся на контролируруемую деталь в составе магнитной суспензии заданной концентрации. Магнитная суспензия может наноситься на поверхность контролируемой детали путём полива объекта или погружения его в ванну с суспензией, а также аэрозольным способом [1].

С целью снижения рисков, обусловленных применением некачественной суспензии, необходимо пе-

А.А. Богоявленский,
кандидат технических наук,
член-корр. Метрологической
академии

К.Е. Матюхин
ФГУП ГосНИИ ГА, Москва

Ключевые слова: авиационная техника; неразрушающий контроль; магнитопорошковый метод; суспензия магнитная; косвенный метод измерений; аттестация метода измерений; воздушное судно; метрологическое обеспечение

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИИ МАГНИТНОЙ СУСПЕНЗИИ

риодически проводить измерения концентрации магнитного порошка; при этом для проверки качества магнитной суспензии, и прежде всего соответствия значений концентрации, используют различные средства и методы измерений: инструментальные (с использованием анализаторов – измерителей) или косвенные. Последние предполагают измерение концентрации по высоте осаждённого столба порошка в специальном устройстве или центробежной колбе.

Требования по применению инструментальных и косвенных методов измерений концентрации магнитной суспензии, рекомендации в части организации работ по неразрушающему контролю авиационной техники в процессе технической эксплуатации гражданских воздушных судов (отечественного и зарубежного производства) на базе эксплуатационных и ремонтных организаций воздушного транспорта при проведении работ изложены в ГОСТ Р 55253 [2] и Руководстве [1].

Магнитную суспензию согласно [1] рекомендуется заменять не реже одного раза в квартал. Сведения о замене суспензии, а также о результатах периодического контроля концентрации порошка в суспензии и проверки чёткости выявления дефектов на стандартном (контрольном) образце записывают в специальный журнал учёта, находящийся при дефектоскопе, с указанием даты и подписью лица, выполнявшего проверку.

Термины и определения

Магнитопорошковый метод – метод магнитного неразрушающего контроля, основанный на использовании в качестве индикатора магнитного порошка (ГОСТ 24450 [3],

ГОСТ Р 53697 [4], ГОСТ Р ИСО 9934-1 [5]);

магнитная суспензия – взвесь магнитного или люминесцентного магнитного порошка в дисперсионной среде, содержащая смачивающие, антикоррозионные и при необходимости антивспенивающие, антикоагулирующие и другие добавки (ГОСТ 24450 [3], ГОСТ Р ИСО 9934-2 [6]);

магнитный порошок – порошок из ферромагнетика, используемый в качестве индикатора магнитных полей рассеяния, возникающих над дефектом при намагничивании деталей из ферромагнитных материалов (ГОСТ 24450 [3], ГОСТ Р ИСО 9934-2 [6]);

люминесцентный магнитный порошок – магнитный порошок, частицы которого покрыты неотслаивающейся плёнкой люминофора (ГОСТ 24450 [3], ГОСТ Р ИСО 9934-2 [6]);

косвенный метод измерений – определение искомого значения физической величины на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной (РМГ 29 [7]);

прямой метод измерений (прямое измерение) – метод измерений, при котором искомое значение физической величины получают непосредственно от средства измерений (РМГ 29 [7] и 102-ФЗ [8]);

специальное средство измерений – средство измерений, контроля и диагностирования, разработанное для конкретного изделия авиационной техники, применяемое при его испытаниях, техническом обслуживании и (или) ремонте, а также для обеспечения авиационной деятельности и деятельности авиационной инфраструктуры и не подлежащее применению

в сфере распространения государственного регулирования обеспечения единства измерений (ГОСТ Р 55253 [1], ГОСТ Р 55867 [9]);

погрешность результата измерения – отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины (РМГ 29 [7]);

дефектоскопический материал – краска, жидкость, порошок, суспензия, паста или другой материал, предназначенный для обнаружения и визуализации дефектов объекта контроля (ГОСТ 24450 [3], ГОСТ Р 53697 [4], ГОСТ Р ИСО 9934-2 [6]);

анализатор концентрации суспензии – прибор для определения концентрации магнитного порошка в магнитной суспензии (ГОСТ 24450 [3], ГОСТ Р ИСО 9934-2 [6], ГОСТ Р 53700 [10]).

Основные требования к составу и свойствам магнитной суспензии

Суспензия для магнитопорошкового контроля представляет собой взвесь магнитного порошка в жидкой дисперсионной среде. При приготовлении магнитных суспензий (табл. 1) в качестве дисперсионной среды могут быть использованы масло (РМ, МК или МС), керосин, смесь масла с керосином и другие смеси при температуре проведения неразрушающего контроля. Суспензия должна: а) обладать повышенными антикоагуляционными свойствами; б) обеспечивать хорошую смачиваемость контролируемых деталей. Суспензия не должна: а) обладать коррозионной активностью по отношению к материалу контролируемых деталей; б) иметь резкий запах и оказывать токсичное воздействие на организм человека. При этом количество и свойства добавок в суспензии не должны ухудшать выявляемость дефектов.

Таблица 1. Составы магнитных суспензий

Суспензия на основе чёрного порошка	
Порошок чёрный магнитный	(20 ± 5) г
Присадка АКОР-1	(0,5 ± 1,5) г
Масло РМ (ГОСТ 15819-85), МК, МС или керосин (ГОСТ 4753-68)	1 л
Суспензия магнитолюминесцентная	
Магнитолюминесцентный порошок	(4±1) г
Присадка АКОР-1	0,5 г
Масло, керосин нелюминесцирующие	1 л

В случаях, отражённых в технической документации (например, при контроле резьбы, лопаток турбины, изделий из материалов со структурной неоднородностью и т. п.) допускается уменьшение концентрации магнитного порошка до 5 г/л.

Измерение концентрации магнитной суспензии с применением средств инструментального контроля

Для инструментального контроля могут применяться анализатор концентрации суспензии АКС-1 с (рис. 1) и его более современный аналог – измеритель концентрации суспензии ИКС-1. Измерения концентрации магнитной суспензии с применением средств инструментального контроля имеют следующие *преимущества*. Время измерения одной пробы не превышает 1 мин. Показания при измерениях концентрации отобранного объёма магнитной суспензии могут индексироваться в граммах на литр (г/л). При измерениях учитываются свойства дисперсионной среды (жидкости). При этом прибор может быть отградуирован на любой тип магнитного порошка, применяемого в магнитопорошковой дефектоскопии; результаты градуировок

сохраняются в памяти прибора. К сожалению, инструментальному методу присуща более высокая стоимость проводимых работ.

Средства измерений концентрации магнитной суспензии в соответствии с Федеральным законом от 26.06.2008 г. № 102-ФЗ [8] не относятся к сфере государственного регулирования в области обеспечения единства измерений, поэтому не подлежат поверке, а проходят калибровку в подтвердивших техническую компетентность метрологических службах предприятий воздушного транспорта. Метрологическое обслуживание (калибровка) анализаторов концентрации суспензии проводится по разработанной ФГУП ГосНИИ ГА отраслевой методике [11]. В качестве средства калибровки применяются 4 так называемые

образцовые суспензии с заданными в них концентрациями порошка: 10; 20; 30 и 40 г/л (погрешность задания не более ± 1%). Образцовые суспензии состоят из расчёта на 50 ± 5 мл жидкой среды, при этом величины навесок порошка, получаемые путём взвешивания на аналитических весах, соответственно равны (0,5; 1,0; 1,5; 2,0) ± ± 0,005 г. Высота суспензии в пробирках должна составлять 120 ± 5 мм (пробирки входят в комплект поставки анализатора АКС-1 с). Каждая из образцовых суспензий заливается в отдельную пробирку.

Анализатор АКС-1 с включают в сеть и после прогрева в течение 15 мин ручкой “установка нуля” выводят стрелку микроамперметра на нулевую отметку. После тщательного взбалтывания в отверстие встроенного датчика анализатора вставляется пробирка с образцовой суспензией, имеющей концентрацию 30 г/л. Через 30 с для масляной суспензии (или 7...10 с для водной) ручкой “чувствительность” плавно выводят стрелку микроамперметра анализатора на отметку 30 мкА. После тщательного перемешивания (взбалтывания) пробирки с образцовыми суспензиями в концентрациях 40, 30,



Рис. 1
Анализатор концентрации суспензии АКС-1 с

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИИ МАГНИТНОЙ СУСПЕНЗИИ

20 и 10 г/л поочередно помещают в отверстие датчика. Подобную операцию с каждой пробиркой повторяют не менее 10 раз. Результаты показаний микроамперметра переводят в граммы на литр, а затем рассчитывают средние арифметические значения и средние квадратические отклонения по каждой из образцовых суспензий. В качестве основной для АКС-1 с принята приведённая к верхнему пределу измерений погрешность, допускаемое значение которой не должно превышать $\pm 8\%$. В случае выхода погрешности за допускаемые пределы метрологической службой, проводившей метрологическое обслуживание, оформляется извещение о непригодности анализатора, а сам прибор изымается из эксплуатации.

Порядок приготовления суспензии и градуировка устройства для отечественной методики измерений концентрации магнитной суспензии косвенным методом

Отечественная методика измерения концентрации магнитной суспензии косвенным методом реализуется с применением устройства (рис. 2) для определения концентрации порошка в суспензии [12]. Устройство состоит из алюминиевых трубок 1, 2 ёмкостью 200 мл, соединённых внизу с полированной трубкой 3 (внутренний диаметр 10 мм) из органического (или обычного) стекла, которая закрыта снизу пробкой 4.

Водную суспензию можно приготовить [1] следующим образом. В теплой воде (30...40 °С) разводится

препарат ОС-20; в раствор добавляются хромпик и сода (или нитрат натрия) с последующим тщательным перемешиванием; порошок с небольшим количеством приготовленного раствора растирается до консистенции сметаны, в полученную смесь добавляется оставшийся раствор и тщательно размешивается. При приготовлении масляной суспензии магнитный порошок растирается в небольшом количестве масла требуемой марки, в полученную смесь вводится оставшаяся часть масла и тщательно перемешивается.

Устройство (см. рис. 2) устанавливается на штатив в вертикальном положении. За трубкой крепится линейка металлическая измерительная по ГОСТ 427 [13] с миллиметровой шкалой. Градуировка устройства осуществляется специально приготовленной магнитной суспензией с номинальной концентрацией порошка 25 г/л. Нижний уровень и высота столба порошка, осевшего из такой суспензии за 24 ч, отмечаются на шкале прибора. Расстояние между отметками, соответствующими нижней (нулевой) и верхней (25 г/л) концентрациям, делится на равные части для получения градуированной шкалы.

Для определения концентрации порошка в суспензии при реализации отечественной методики измерений косвенным методом выполняются следующие операции:

а) суспензия в объёме 200 мл заливается в цилиндр мерный по ГОСТ 1770 [14] и переливается в устройство (см. рис. 2) для определения концентрации порошка;

б) суспензия отстаивается в течение 24 ч до полного осветления. Время отстаивания рекомендуется соблюдать с точностью до 1 ч, т. к. уже в начале вторых суток происходит дальнейшее уплотнение осадка, не учитываемое при градуировке;

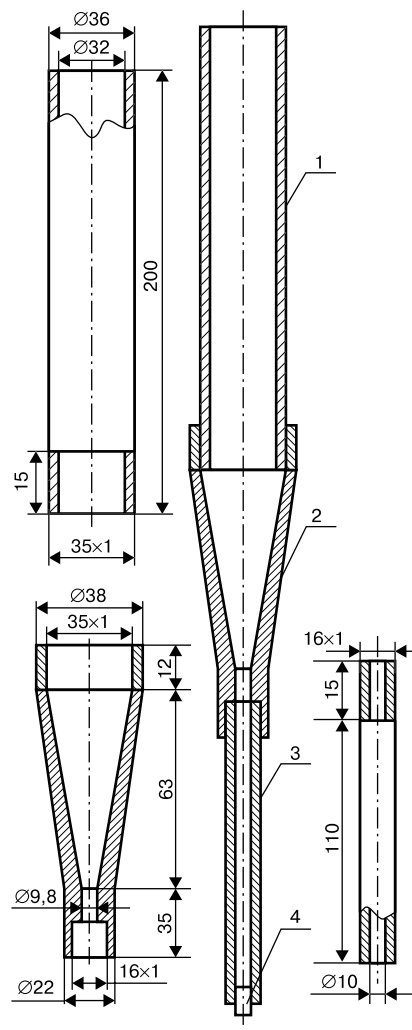


Рис. 2 Устройство для измерения концентрации магнитной суспензии

в) измеряется высота столба осевшего порошка, определяется его концентрация в суспензии;

г) для люминесцентных суспензий осадок в градуированном участке трубки должен быть проверен при УФ- и видимом свете (для люминесцентных и нелюминесцентных суспензий) на наличие наплывов, полос, различия в цвете и внешнем виде. Наплывы или полосы указывают на загрязнение. Если общий объём загрязнений превышает 30% объёма суспензии, она подлежит замене.

Исследование составляющих суммарной погрешности и аттестация методики измерений концентрации магнитной суспензии косвенным методом

По результатам анализа операций косвенного метода измерений концентрации магнитной суспензии при помощи устройства (см. рис. 2) согласно отечественной методике [1, 12] можно отметить следующие основные составляющие суммарной погрешности:

а) погрешность, обусловленная отбором необходимого для проведения измерений объема суспензии, равного 200 см^3 . Для этого применяется, как правило, цилиндр мерный 1-го класса исполнения 1 ёмкостью 250 см^3 , погрешность которого на отливной объём в абсолютных значениях составляет $\pm 1,25 \text{ см}^3$ или в относительных для объёма 200 см^3 значениях составляет $\Delta_1 = \pm 0,625\%$;

б) погрешность, обусловленная измерением высоты осадка порошка при помощи линейки измерительной металлической по ГОСТ 427 [13]. Данная погрешность включает в себя 2 составляющие:

– отклонения длин сантиметровых делений шкалы от номинальных значений не должны превышать $\pm 0,1 \text{ мм}$ ($\Delta_2 = \pm 0,105\%$), а отклонения от номинальных значений длин миллиметровых делений шкалы линейки не должны превышать $\pm 0,05 \text{ мм}$ ($\Delta_3 = \pm 0,053\%$). Для измерений используется отрезок линейки длиной 95 мм , в этом случае наименьшее значение погрешности не превышает $\Delta_2 = \pm 0,11\%$;

– дискретность отсчёта по линейке при цене деления 1 мм (принято считать возможным осуществление отсчёта показаний в половину цены деления) составляет $\pm 0,05 \text{ мм}$, $\Delta_3 = \pm 0,053\%$;

в) погрешность, обусловленная влиянием внешних условий (например, изменение температуры вызывает изменение объёма суспензии, отбираемой для измерения концентрации). Для расчёта составляющей погрешности, обусловленной объёмным расширением суспензии в случае отличия температуры окружающего воздуха от нормальной ($+20 \text{ }^\circ\text{C}$) в помещении лаборатории, где проводится измерение концентрации суспензии, можно воспользоваться формулой объёмного расширения:

$$V = V_0(1 + \beta t), \quad (1)$$

где V_0 – начальный объём, мл; β – коэффициент объёмного расширения (в данном случае $\beta = 0,001$); t – приращение температуры ($t - t_0$), $^\circ\text{C}$. Числовое значение погрешности, обусловленной температурным расширением применяемых компонентов основы магнитопорошковой суспензии (керосина и различных типов масел) в диапазоне $15...25 \text{ }^\circ\text{C}$, составляет $\Delta_4 = \pm 0,74\%$;

г) погрешность, обусловленная дисперсностью магнитного порошка, входящего в состав суспензии. Совокупность таких факторов, как размеры, форма, шероховатость частиц и ряд других, влияет на качество магнитопорошкового неразрушающего контроля. Для магнитной дефектоскопии наиболее приемлемы порошки из магнетита (Fe_3O_4), имеющие плотность около $5 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$ с размерами частиц в среднем $5...10 \text{ мкм}$. Для обеспечения стабильности дефектоскопических свойств магнитный порошок рекомендуется хранить

во влагонепроницаемой таре при температуре $15...40 \text{ }^\circ\text{C}$;

д) погрешность, обусловленная различиями в значениях вязкости используемых для приготовления магнитной суспензии компонентов (вязкость не должна превышать 30 сСт)*;

е) скорость оседания магнитного порошка в изготовленной суспензии определяется опытным путём, и в дальнейшем ею можно пренебречь, используя наименьшее значение осевшего порошка в ходе эксперимента; при этом скорость оседания порошка в керосиново-масляной суспензии характеризуется законом Стокса, действие которого распространяется на вязкие жидкости;

ж) погрешность оператора, обусловленная положением глаз относительно профиля мениска суспензии и т.д. Для уменьшения или даже полного исключения указанной погрешности показания следует отсчитывать по нижнему краю мениска, при этом глаз экспериментатора должен находиться на одном уровне с мениском;

з) погрешность определения времени отстаивания (24 ч) пренебрежимо мала по отношению к описанным и определённым ранее составляющим и в дальнейших расчётах может не учитываться.

Суммарная погрешность методики с применением устройства, описанного в [12] и представленного на рис. 2, рассчитывается по следующей формуле:

* Обусловленные дисперсностью и вязкостью составляющие суммарной погрешности (см. пп. г и д) могут быть сведены к минимуму при применении в процессе изготовления суспензии магнитного порошка и масляной основы, отвечающих требованиям технических условий, и не учитываются в дальнейших расчётах.

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИИ МАГНИТНОЙ СУСПЕНЗИИ

$$\Delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2}, \quad (2)$$

$$\Delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{0,625^2 + 0,11^2 + 0,053^2 + 0,74^2} = \pm 0,976\%.$$

Таким образом, по результатам метрологической аттестации отечественной методики измерений концентрации магнитной суспензии косвенным методом подтверждено её соответствие требованиям ГОСТ Р 8.563 [15] и ОСТ 54-3-154.82 [16]. При этом аттестованное значение суммарной погрешности измерений не превышает $\pm 1,0\%$.

Методика измерений концентрации магнитной суспензии косвенным методом с применением центробежных колб ASTM

Центробежные стеклянные колбы на стойке в соответствии со стандартом ASTM E709 [17] Американского общества испытаний и материалов (*англ.* American Society for Testing and Materials, ASTM) имеют градуированную шкалу и выпускаются в 2 вариантах:

- колба арт. 044 C003 для чёрных порошков (рис. 3);
- колба арт. 044 C005 для люминесцентных порошков.

Для определения концентрации необходимо перед отбором пробы суспензии выполнить градуировку колбы ASTM. Для этого суспензию перемешивают в течение 30 мин, заливают 100 мл образца в колбу и дают отстояться в течение 60 мин. Колба должна иметь градуировку до 15 мл через 0,1 мл для чёрного магнитного порошка и до 1 мл через 0,05 мл для флуоресцентного порошка. При этом следует учиты-

вать, что градуировка колб ASTM выполнена с применением водной суспензии; т.е. при изготовлении суспензии с использованием другого типа дисперсионной среды необходимо учитывать вязкость применяемой основы и вводить поправочные коэффициенты. Вязкость дисперсионной среды или её компонентов может быть определена по стандартным справочным таблицам.

Для измерения концентрации магнитной суспензии в колбу ASTM со стойкой (см. рис. 3) заливают пробу суспензии, после отстаивания измеряют высоту столба осевшего порошка и по измеренному значению вычисляют его концентрацию в суспензии. Такая методика имеет ряд недостатков: а) длительное время отстаивания (например, в масляной суспензии оседание порошка происходит в течение нескольких часов. Это не позволяет оперативно вносить коррективы для обеспечения требуемой концентрации порошка в суспензии); б) высота осадка характеризуется не только свойствами порошка, но и наличием загрязнений в суспензии, что может вызвать дополнительную погрешность.

Объём осадка на дне колбы является показателем, характеризующим величину концентрации магнитной суспензии. Если концентрация частиц в суспензии недостаточна, следует добавить необходимое количество магнитного порошка; если концентрация частиц избыточна, добавляется дополнительный объём основы магнитной суспензии (керосина, масла или воды). Если осаждённые частицы представляют собой рыхлый агломерат, а не сплошной слой, следует отобрать 2-ю пробу. Если осадок и во 2-й пробе имеет вид рыхлого агломерата*, вся суспензия подлежит замене.

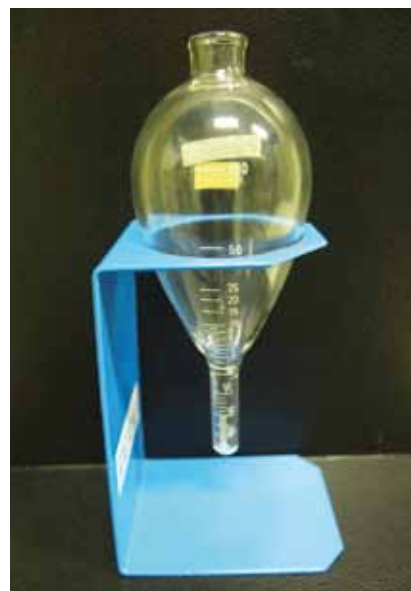


Рис. 3
Колба ASTM для чёрных порошков

Исследование составляющих суммарной погрешности и аттестация методики измерений концентрации магнитной суспензии косвенным методом с использованием центробежных колб ASTM

По результатам анализа операций косвенного метода измерений концентрации магнитной суспензии при помощи центробежной колбы (см. рис. 3) согласно стандарту ASTM E709 [17] можно отметить следующие основные составляющие суммарной погрешности:

* Термин **агломерат** от *лат.* agglomerato, т.е. присоединяю, накапливаю, в петрографии обозначает рыхлые, неправильных очертаний скопления обломков горных пород.

а) погрешность, обусловленная неточностью нанесения на колбе штриха-отметки объёма суспензии по верхней шкале (см. рис. 3), равного 100 см^3 , необходимого для проведения измерений. В этом случае погрешность колб обоих артикулов составляет в абсолютных значениях не более $\pm 0,5 \text{ см}^3$, или в относительных для объёма 100 см^3 значениях $\Delta_5 = \pm 0,5\%$;

б) погрешность, обусловленная дискретностью отсчёта по шкале колбы ASTM.

Стеклянные колбы ASTM с градуированной шкалой выпускаются в 2 вариантах:

– колба арт. 044 C003 для чёрных порошков с градуировкой до 1,5 мл через 0,1 мл (см. рис. 3);

– колба арт. 044 C005 для люминесцентных порошков с градуировкой до 1 мл через 0,05 мл.

Погрешность, обусловленная дискретностью отсчёта по шкале колбы ASTM, составляет:

– для арт. 044 C003 $\pm 0,05$ мл, или в относительной форме $\Delta_6 = \pm 3,33\%$;

– для арт. 044 C005 $\pm 0,025$ мл, или в относительной форме $\Delta_7 = \pm 2,50\%$.

Для колбы стандарта ASTM арт. 044 C003 для чёрных порошков

$$\Delta_{\Sigma 003} = \pm \sqrt{\Delta_5^2 + \Delta_6^2 + \Delta_4^2}, \quad (3)$$

$$\Delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{0,5^2 + 3,33^2 + 0,74^2} = \pm 3,45\%.$$

Для колбы стандарта ASTM арт. 044 C005 для люминесцентных порошков

$$\begin{aligned} \Delta_{\Sigma 005} &= \pm \sqrt{\Delta_5^2 + \Delta_6^2 + \Delta_4^2} = \\ &= \sqrt{0,5^2 + 2,50^2 + 0,74^2} = \pm 2,65\%. \end{aligned} \quad (4)$$

Погрешность используемой методики измерений концентрации

магнитной суспензии косвенным методом может определяться на основе использования разработанного авторами настоящей публикации алгоритма и с учётом анализа составляющих суммарной погрешности в каждом конкретном случае.

Таким образом, по результатам метрологической аттестации методики измерений косвенным методом с использованием центробежных колб ASTM концентрации магнитной суспензии подтверждено её соответствие требованиям ГОСТ Р 8.563 [15] и ОСТ 54-3-154.82 [16]. При этом аттестованное значение суммарной погрешности измерений не превышает $\pm 3,5\%$ для колбы стандарта ASTM арт. 044 C003 для чёрных порошков и $\pm 3,0\%$ для колбы стандарта ASTM арт. 044 C005 для люминесцентных порошков. Суммарная погрешность измерений при применении отечественной методики более чем в 3 раза меньше.

Таким образом, для измерения концентрации магнитной суспензии в технологических процессах неразрушающего контроля авиационной техники на воздушном транспорте и в аэрокосмической отрасли успешно применяются как инструментальный (специальные средства измерений) [1], так и косвенный [1, 2] методы измерений.

Оперативность измерения концентрации магнитной суспензии с использованием средств измерений обеспечивает проведение экспресс-анализа в течение не более 1 мин, в то время как в устройстве, описанном в работе [12], время проведения одного анализа составляет 24 ч; при применении центробежных колб по стандарту ASTM E709 [17] оно составляет не менее 1 ч. Од-

нако с экономической точки зрения стоимость одного анализа с использованием средств инструментального контроля существенно выше, чем с применением косвенного метода измерений концентрации суспензии.

Относительная погрешность средств измерений концентрации магнитной суспензии, например анализатора АКС-1 с или его более современных аналогов, находится в пределах $\pm 8...10\%$. При этом согласно Федеральному закону от 26.06.2008 г. № 102-ФЗ [8] средства для подобного рода измерений не подлежат государственному регулированию в области обеспечения единства измерений, в связи с чем они не проходили государственных испытаний, не внесены в Государственный реестр и по ГОСТ Р 55867 [9] относятся к категории специальных средств измерений.

Впервые проведена метрологическая аттестация методик измерений косвенным методом концентрации магнитной суспензии, по результатам которой подтверждено их соответствие требованиям ГОСТ Р 8.563 [15] и ОСТ 54-3-154.82 [16]. При проведении аттестации выявлены и исследованы составляющие суммарной погрешности измерений. В результате аттестации установлены числовые значения суммарных погрешностей измерений концентрации магнитной суспензии, которые находятся в пределах до $\pm 1,0\%$ для косвенного метода по отечественной методике [12] и в пределах до $\pm 3,5\%$ для метода с применением центробежных колб по стандарту ASTM E709 [17].

Применение на воздушном транспорте как инструментального, так и косвенного методов измерений концентрации магнитной суспензии метрологически обеспе-

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИИ МАГНИТНОЙ СУСПЕНЗИИ

чено и соответствует требованиям ГОСТ Р 55867 [9]: подтверждена прослеживаемость измерений относительно государственных эталонов соответствующих видов измерений, что гарантирует достоверность результатов измерений концентрации магнитной суспензии для проведения неразрушающего контроля авиационной техники.

Для установления унифицированных требований по применению и метрологическим характеристикам косвенного метода измерений концентрации магнитной суспензии в рамках деятельности Технического комитета по стандартизации “Воздушный транспорт” (ТК 034) предполагается разработать соответствующий национальный стандарт.



Литература

1. ГОСТ Р 55253-2012. Воздушный транспорт. Контроль неразрушающий авиационной техники. Требования к применению, организации и проведению работ.
2. Руководство по применению магнитопорошкового метода неразрушающего контроля изделий авиационной техники гражданской авиации. – М.: ГосНИИ ГА, 1982.
3. ГОСТ 24450-80. Контроль неразрушающий магнитный. Термины и определения.
4. ГОСТ Р 53697-2009 (ISO/TS 18173:2005). Контроль неразрушающий. Основные термины и определения.
5. ГОСТ Р ИСО 9934-1-2011. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Ч. 1: Основные требования.
6. ГОСТ Р ИСО 9934-2-2011. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Ч. 2: Дефектоскопические материалы.
7. РМГ 29-99. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Метрология. Основные термины и определения.
8. Федеральный закон от 26.06.2008 г. № 102-ФЗ “Об обеспечении единства измерений”.
9. ГОСТ Р 55867-2013. Воздушный транспорт. Метрологическое обеспечение на воздушном транспорте. Основные положения.
10. ГОСТ Р 53700-2009. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Ч. 3: Оборудование.
11. Методические указания по метрологическому обеспечению средств неразрушающего контроля. – 2-е изд. – М.: ГосНИИ ГА, 1990.
12. Методические рекомендации. Применение магнитопорошкового метода для неразрушающего контроля авиационной техники. – 1981. – Вып. 4559.
13. ГОСТ 427-75. Линейки измерительные металлические. Технические условия.
14. ГОСТ 1770-74. Посуда мерная лабораторная стеклянная. Общие технические условия.
15. ГОСТ Р 8.563-2009. ГСИ. Методики (методы) измерений.
16. ОСТ 54-3-154.82-2002. Отраслевая система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Порядок проведения аттестации.
17. ASTM E709-08. Standard Guide for Magnetic Particle Testing.