

3. Шапиро Д. Н. Электромагнитное экранирование. Долгопрудный: Изд. Дом «Интеллект», 2010.

4. Кузнецов П. А., Фармаковский Б. В., Толочко О. В., Аскинази А. Ю., Васильева О. В., Песков Т. В. Исследования и разработки в области применения аморфных магнитомягких сплавов для создания магнитных экранов // Вопросы материаловедения. 2009. № 3 (59). С. 204—216.

5. ГОСТ Р 51724—2001. Экранированные объекты, помещения, технические средства. Поле гипогеомагнитное.

6. ГОСТ 18311—80. Изделия электротехнические. Термины и определения основных понятий.

7. Кузнецов П. А. Создание эффективных систем электромагнитной защиты на основе магнитомягких аморфных и нанокристаллических сплавов Co и Fe: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук. СПб., 2005.

8. Petzold J. Advantages of soft magnetic nanocrystalline materials for modern electronic applications // J. Magnetism and Magnetic Materials. Amsterdam: Elsevier Sci. Publ. Co., 2002. № 2. P. 242—245.

9. Глезер А. М. Аморфные и нанокристаллические структуры: сходства, различия, взаимные переходы // Российский химический журнал. 2002. № 5. С. 57—63.

10. Пат. 2274914 РФ. Магнитный и электромагнитный экран / П. А. Кузнецов, Б. В. Фармаковский, А. Ю. Аскинази, Я. В. Орлова, Т. В. Песков // Изобретения. Полезные модели. 2006. № 11.

11. Гудошников С. А., Венедиктов С. Н., Гребенщиков Ю. Б., Кузнецов П. А., Маннинен С. А., Васильева О. В., Криволапова О. Н., Труханов К. А., Круглов О. С., Спасский А. В. Экранирующая камера для ослабления магнитного поля Земли на основе рулонных магнитных материалов // Измерительная техника. 2012. № 3. С. 58—61.

12. Реутов Ю. Я. Классические магнитные экраны. Екатеринбург: ИФМ УрО РАН, 2006.

Дата принятия 16.01.2015 г.

АКУСТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

620.179.16:006.354

Особенности разработки стандартных образцов для контроля ультразвуковых дефектоскопов. Ч. 1. Общие принципы построения многоэлементных стандартных образцов

А. С. СОБОЛЕВ¹, В. И. ПУДОВ¹, Ю. И. ДИДИК²

¹ Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

² Уральский научно-исследовательский институт метрологии, Екатеринбург, Россия, e-mail: lemma@uniim.ru

Рассмотрены особенности функционирования стандартных образцов при неразрушающем контроле. Показано, что стандартные образцы являются изделиями, для которых целесообразно нормировать параметры связи, отражающие зависимость информационного сигнала средств неразрушающего контроля от геометрии моделей дефекта и физических свойств испытуемого материала. Установлено, что стандартные образцы для контроля нелинейности электроакустического тракта ультразвуковых дефектоскопов отсутствуют и существует необходимость создания новой группы стандартных образцов, например, в виде многоэлементной твердотельной конструкции, содержащей однотипные модели дефектов. Применение таких образцов позволит выявить некачественные ультразвуковые дефектоскопы.

Ключевые слова: стандартный образец, модель дефекта, ультразвуковая аппаратура неразрушающего контроля.

The features of certified reference materials (CRM) applications during non-destructive testing (NDT) are considered. It is shown that these CRM are the products for which it is advisable to standardize the communication parameters showing the dependence of NDT instruments information signal from the defect model geometry and physical properties of test material. The absence of CRM to control the ultrasonic defectoscopes electroacoustic canal nonlinearity is found. There is a need to develop the general principles for creating a new group of CRM, for example, in the form of multielement solidstate design, containing the models of the same type. The application of such CRM allows to defect the poor quality ultrasonic defectoscopes.

Key words: certified reference material, defect model, ultrasonic NDT device.

Доминирующее распространение ультразвуковых методов неразрушающего контроля (НК) в промышленности привело к появлению широкого класса ультразвуковых дефек-

тоскопов (УЗД). Эти приборы представляют связанную систему, состоящую из электронного блока и первичных пьезоэлектрических преобразователей прямого и наклонного ти-

пов. Наклонные преобразователи позволяют осуществлять ультразвуковой контроль эхо-методом с разными углами (от 40 до 75°) ввода поперечных, продольных и поверхностных ультразвуковых волн в диапазоне частот 1,8—10 МГц.

Для метрологического обеспечения функционирования сертифицированных УЗД (проверки работоспособности, настройки, калибровки и поверки) в отечественной практике применяют, в частности, стандартные образцы (СО) или их аналоги — образцы-имитаторы дефектов [1—3]. К основным оцениваемым параметрам УЗД относятся: условная чувствительность, разрешающая способность, погрешность глубиномера, коэффициент преобразования импульсов пьезоэлектрического преобразователя, диапазон изменения регистрируемого информационного сигнала и ряд других параметров в зависимости от типа УЗД.

В перечне находящихся в обращении СО и их зарубежных аналогов авторами не найдены сертифицированные образцы, предназначенные для оценки нелинейности электроакустического тракта УЗД. Эта нелинейность в основном формируется материалом преобразователя, нелинейными процессами взаимодействия акустических волн с объектом контроля, а также может возникать в процессе эксплуатации, например, из-за износа контактной части преобразователей. Недопустимая нелинейность электроакустического тракта УЗД может быть причиной ошибок контроля, что представляет риск существенных материальных затрат и безопасности людей.

Следует отметить, что нелинейность является универсальным параметром, свойственным всем типам УЗД. Своевременный и систематический контроль этого параметра позволяет исключить из обращения некачественные УЗД при их выпуске, после ремонта и в процессе эксплуатации.

В работе [4] приведены условия и формулы расчетной модели построения ультразвуковых многоэлементных угловых отражателей. Испытания опытных образцов отражателей показали перспективность их применения для оценки нелинейности электроакустического тракта дефектоскопов типа УД2-12. Однако в [4] недостаточно полно изложены принципы создания СО такого рода, детально не рассмотрены вопросы их конструирования и особенности практического применения.

Цель настоящей работы — рассмотрение общих принципов разработки новой группы многоэлементных СО свойств материалов, предназначенных для контроля нелинейности электроакустического тракта широкого класса УЗД.

Стандартные образцы свойств материалов в определенных случаях находят применение в НК. Раскрытие содержания понятия «стандартный образец» приведено в основополагающем документе [5], а термины «вещество» и «материал» определены в [6]. Физические свойства веществ (материалов) зависят от их состояния, обусловленного определенной формой и размерами. Например, такое свойство ферромагнитного твердого тела, как намагниченность, непосредственно зависит от отношения длины тела к поперечному сечению, что формирует так называемый размагничивающий фактор [7]. Стандартные образцы, изготовленные в виде твердого тела по определенной технологии и с необходимыми геометрическими размерами и физическими свой-

ствами, по сути, являются изделиями, под которыми подразумевают любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии [8]. В этой связи, например, применяемый уже более 100 лет в практике магнитных измерений твердотельный СО (проба Эпштейна) можно квалифицировать как специально изготовленное изделие из электротехнической стали (материала) с определенной формой и геометрическими размерами [7].

Особенности СО для НК. Основной особенностью объекта контроля (ОК) является приблизительно известное из опыта его дефектное состояние, например нарушение сплошности. Дефекты изменяют свойства объекта, что позволяет путем воздействия на него физических полей сформировать регистрируемый дефектоскопом информационный сигнал, лишь корреляционно связанный с этими изменениями. Параметры этого сигнала содержат определенную, но не полную информацию о дефектном состоянии ОК. В результате возникает необходимость решения известной трудной некорректной обратной задачи: по регистрируемому сигналу определить связанные с ним параметры искомого дефектного состояния.

Наиболее эффективным решением может быть применение для настройки прибора НК вместо ОК специально созданных его моделей, например, в виде СО свойств материалов. Следует выделить две принципиально важные отличительные черты таких СО. Первая состоит в том, что особенность ОК, квалифицируемая как дефект и моделируемая с помощью СО (искусственный дефект, модель дефекта), для СО дефектом не является, а становится нормированной характеристикой. В связи с этим правильнее использовать вместо слова «дефект» термин «несплошность» [9] или «локальная неоднородность» [10]. Вторая вызвана тем, что аттестуемой характеристикой СО может являться его параметр, связанный со свойством материала, т. е. объект только с заданной геометрией модели дефекта не может быть СО по определению. Однако именно корреляционная связь между геометрией дефекта и сигналом, воспринимаемым прибором НК, обуславливает возможность создания специализированных СО. Причем их аттестуемой характеристикой является связь геометрии модели дефекта и свойства материала (также моделируемого посредством СО), создающая сигнал первичной информации при НК. Следовательно, возникает необходимость выявления и нормирования тех общих характеристик СО и ОК, которые характеризуют применяемый метод НК. Корреляционная связь между характеристиками дефектного объекта и формируемым им сигналом, воспринимаемым первичным преобразователем дефектоскопа, моделируется соответствующим типом СО и проявляется как реализация случайной величины для каждого экземпляра СО. В частности, для магнитных методов НК к этим характеристикам относятся магнитная проницаемость материала, индукция насыщения, а также более специфические характеристики, как, например, градиент магнитного поля над моделью дефекта (локальной неоднородностью). Для акустических методов контроля в качестве таких характеристик могут быть скорость распро-

странения ультразвуковых волн, их акустическое затухание и др.

Стандартные образцы свойств материала как изделия.

Как правило, СО создают по специальной технологии в виде изделий, свойства которых обуславливают формирование метрологических характеристик. Например, для магнитопорошкового контроля СО изготавливают из листовой стали в виде пластины размерами $130 \times 30 \times (3,5—3,9)$ мм [11]. Для создания искусственных трещин применяют местное азотирование с последующим помещением в приспособление для изгиба, которое должно иметь опору для образца и накладку из стали. Нагрузку подают на образец через накладку до появления характерного хруста от растрескивания азотированного слоя. Для настройки магнитных дефектоскопов, применяемых для контроля стальных канатов, разработаны универсальные СО магнитных свойств, имитирующие 10, 15, 20 и 25 %-й износ канатов [12, 13]. Их применение позволяет оптимизировать настроечные параметры дефектоскопа и практически исключить влияние разных марок канатных сталей на результаты контроля. Из этих примеров следует, что данные образцы создаются по определенной технологии в виде изделия. В ультразвуковом контроле согласно [1] образцы СО-1 и СО-2 выполнены соответственно из органического стекла и стали марки 20. Они имеют требуемые, но разные физические свойства, например скорость распространения ультразвуковых волн, необходимые габаритные размеры и наборы многомерных искусственных дефектов. Таким образом, СО-1 и СО-2 являются изделиями, обеспечивающими размещение в материале образца не взаимодействующих между собой моделей дефектов и исключение краевых эффектов.

Применяемые в НК, в том числе и в ультразвуковом, СО являются специально изготовленными твердотельными изделиями, и это обстоятельство имеет решающее значение при разработке и последующем конструировании и изготовлении предлагаемых авторами стандартных образцов-матриц в виде единой многоэлементной твердотельной конструкции.

Дальнейшее совершенствование метрологического обеспечения средств НК связано с анализом направления развития многоэлементных СО, применение которых позволит повысить эффективность контроля в результате настройки и оптимизации параметров средств измерений.

Ниже представлены специфические особенности разработки СО для контроля нелинейности электроакустического тракта ультразвуковых дефектоскопов.

Выбор материала. Материал образца должен быть подобен материалу ОК, особенно по тем физическим свойствам, на которых основаны методы НК. В случае применения конкретного метода НК для широкой гаммы материалов, целесообразно выбрать в качестве материала СО наиболее широко распространенный на практике с типовыми физическими параметрами или создать специальный материал с необходимыми свойствами [13]. Например, для вихретокового метода контроля материал СО следует выбирать, исходя из схожести с материалом ОК по электромагнитным свойствам, таким как электропроводность, магнитная проницаемость и т. д., а для магнитного контроля — по магнитной проницаемости, магнитной индукции насыщения и т. д. Применительно к ультразвуковому контролю материал СО

должен обладать сходными с ОК акустическими свойствами (скоростью ультразвуковых волн, акустическим затуханием, отсутствием локальных неоднородностей, формирующих ложный сигнал и т. д.).

При разработке предлагаемых авторами СО акустических свойств целесообразно в качестве их материала использовать рекомендуемую в [1] сталь марки 20, желательно одной плавки и нормируемой при комнатной температуре скоростью продольных и поперечных ультразвуковых волн соответственно 5900 и 3230 м/с.

Выбор модели дефекта. Необходимо выбрать или сконструировать в материале образца модель дефекта, соответствующую типовым и опасным реальным дефектам для конкретного метода НК по геометрии и местоположению. Однако параметры реальных дефектов известны лишь приблизительно, например, на основе накопленного опыта, а дефекты могут иметь сложную геометрию, поэтому используют модель дефекта упрощенного вида, но содержащую приемлемую имитацию основного параметра контроля, такого как площадь отражения (ультразвуковой контроль), электропроводность (вихретоковый контроль), магнитная проницаемость (магнитный контроль).

Для настройки УЗД по условной чувствительности как параметру, характеризующему нелинейность электроакустического тракта, в основном используют СО, содержащие либо цилиндрическое отверстие диаметром 3 мм (зарубежные образцы-имитаторы), либо плоскостные отражатели и плоские угловые отражатели (ПУО) (отечественные СО) [1—3]. Авторами при разработке нового типа СО свойств в качестве модели дефекта выбран ПУО [1, 2], который наиболее адекватно имитирует сварной шов, особенно при одностороннем к нему доступе. Сварка является наиболее распространенным способом соединения элементов конструкций в разнообразных областях. Установлена приемлемая для практики связь между акустическими эхо-сигналами от ПУО и плоскостного отражателя как основной настроечной модели в отечественных стандартах [2]. Плоский угловой отражатель находит широкое применение в качестве модели дефектов в СО предприятий и сканируется эхо-методом наклонными преобразователями в часто применяемом диапазоне ультразвуковых частот 1,8—10 МГц [2, 4].

Установление основного рабочего параметра модели дефекта. Главное назначение модели дефекта — формирование информационного сигнала, сходного по параметрам с сигналом от реальных дефектов. Параметр модели дефекта, формирующий информационный сигнал, можно назвать основным (первопричинным) рабочим параметром, и он должен соответствовать параметрам реальных контролируемых дефектов. Вид рабочего параметра модели дефекта зависит как от структуры дефектного материала, так и от применяемого метода контроля. Для вихретокового контроля поперечных трещин в ОК рабочим параметром модели является, например, размер раскрытия поперечного пропилa. При магнитном контроле поверхностных трещин рабочими параметрами модели становятся раскрытие и глубина искусственно созданного имитатора трещины. В ультразвуковом контроле эхо-методом таким параметром ПУО может быть площадь S отражающей вертикальной стенки, т. е. $S = hb$, где h , b — высота и ширина ПУО.

Многоэлементность СО. Число элементов в моделях дефектов в многоэлементной конструкции СО должно отражать реальную ситуацию при НК, связанную с разбросом по геометрии реальных дефектов в ОК. При этом в составе элементов должны быть модель дефекта, имитирующая норму браковочного параметра Π_0 , например эквивалентной площади дефекта, а также элементы, имитирующие другие параметры Π_i . Число элементов с $\Pi_i > \Pi_0$, как правило, существенно меньше числа элементов с $\Pi_i < \Pi_0$, что можно пояснить следующим образом: число элементов с параметрами $\Pi_i > \Pi_0$ не может быть большим, так как значительное превышение уровня Π_0 недопустимо для ОК, а число элементов с $\Pi_i < \Pi_0$ может быть большим и определяется разрешающей способностью дефектоскопа. Полученный набор параметров Π_i , включая Π_0 , можно представить в виде одностолбцовой матрицы, отражающей многоэлементность конструкции СО. Такой многоэлементный образец авторы предлагают называть СО-матрицей.

Ранжированность (упорядочение) параметров. Ранжирование параметров моделей дефектов осуществляется относительно параметра Π_0 в логарифмическом масштабе, например в децибелах. В этом случае другие параметры Π_i модели дефекта и шаг ранжирования определим, соответственно, как

$$\Pi_i = \Pi_0 10^{n_i/20}; \quad n_i = 20 \lg (\Pi_i / \Pi_0),$$

где Π_0 , Π_i — нормируемый параметр опорного элемента и такого же параметра других элементов — моделей дефектов, соответственно; n_i — ранжированный ряд отношений Π_i / Π_0 в децибелах, причем для опорного элемента $n_i = 0$ (т. е. $\Pi_i = \Pi_0$), $n_i > 0$ для элементов с $\Pi_i > \Pi_0$, а $n_i < 0$ для $\Pi_i < \Pi_0$.

В общем случае все элементы могут выполнять функцию опорного элемента, поскольку его нормированный параметр привязывается к реальному размеру дефекта или дефекту, устанавливаемому нормативными документами. Как правило, опорный элемент, находится внутри сформированного набора элементов. Нормируемый параметр опорного элемента, как исходный, задает условно нулевой элемент многоэлементной конструкции образца, который формирует исходный информационный сигнал, в дальнейшем используемый для построения градуировочной характеристики дефектоскопа [5].

Применительно к ультразвуковому контролю шаг ранжирования n_i связан с ценой деления шкалы ультразвукового дефектоскопа, выражаемой обычно в децибелах. Создаваемый ранжированный набор n_i можно представить в виде условной шкалы порядка [14, 15] с нулем и отметками, определяемыми отношениями площадей S_i / S_0 ПУО, линейно изменяющимися в логарифмическом масштабе. С другой стороны, из значений n_i можно получить на основе закономерностей физики ультразвука в дальней зоне, с использованием ранее приведенной в [4] модели, расчетные значения N_i , связанные с показаниями УЗД:

$$N_i = 20 \lg (A_i / A_0) \approx K_n 20 \lg (S_i / S_0) \approx K_n n_i, \quad (3)$$

где A_i / A_0 — отношение амплитуд информационных эхо-сигналов для любого ПУО и опорного ПУО многоэлементной конструкции СО; K_n — коэффициент преобразования отношений S_i / S_0 в A_i / A_0 в логарифмическом масштабе.

В этом случае расчетная шкала с отметками N_i может также выполнять функцию условной шкалы порядка [14, 15]. При этом линейное преобразование от n_i к N_i происходит с коэффициентом $K_n = 1$. Однако из-за влияющих факторов линейность условной шкалы n_i нарушается и для значений N_i расчетной шкалы возникает отклонение коэффициента преобразования от 1, что обуславливает формирование зоны неопределенности.

Формирование зоны неопределенности многоэлементной конструкции образца. В общем случае переход от n_i к N_i будет характеризоваться матрицей преобразования, состоящей из разных коэффициентов K_n для пары n_i — N_i . Эти коэффициенты характеризуют в логарифмической форме зависимость между отношениями параметра любого элемента образца к параметру опорного элемента и отношениями амплитуд выходных сигналов дефектоскопа, формируемых элементами образца. Необходимые условия создания СО определяются представленной в работе [4] расчетной моделью:

размеры h , b отражающей вертикальной стенки элементов больше $\lambda/2$, т. е. дифракционные явления не учитываются. Для отношения h/b выполняется условие, приведенное в [1]: $0,5 < h/b < 4$;

отношения амплитуд эхо-сигналов от элементов образца при их расположении в дальней зоне преобразователя пропорциональны отношениям эквивалентных площадей их отражающих вертикальных стенок.

Получаемый при сканировании набор отношений n_i / N_i для любой пары n_i — N_i можно свести к одинаковому номинальному коэффициенту преобразования $K_n = 1$ и конкретному допустимому значению неопределенности коэффициента ΔK_n , т. е. зоны неопределенности. Ее допустимое значение целесообразно связать со значением поля допуска ΔP , нормируемого документами в ультразвуковом контроле. Согласно метрологическим нормам, для исключения влияния ΔK_n на результаты настройки дефектоскопа с применением многоэлементного СО можно принять $\Delta K_n = \Delta P/3$.

Созданную систему связанных условных шкал порядка с отметками n_i , N_i можно использовать в качестве координат для построения градуировочной характеристики УЗД в виде аттестат-графика электроакустического тракта, контролируемого по нелинейности. Он строится путем снятия зависи-

мости показаний N_i^A УЗД от n_i при сканировании ПУО многоэлементной конструкции образца.

Единообразие типа модели дефекта. В материалах СО-1 и СО-2, рекомендуемых в [1], созданы разнообразные по форме и местоположению модели дефектов, что оправдано и обусловлено многофункциональностью этих образцов. В СО-1 имеется набор из 13 отверстий одного диаметра и на разной глубине со смещением центров по горизонтали для определения условной чувствительности, три одноосных разных по диаметру отверстия и паз сложной формы

для определения разрешающей способности, специальный паз для оценки погрешности глубиномера. Набор разноглубинных 13 отверстий позволяет оценивать условную чувствительность по глубине их расположения с учетом затухания ультразвука в материале образца.

В СО-2 имеется отверстие диаметром 6 мм для определения угла ввода ультразвукового луча, ширины основного лепестка диаграммы направленности, условной и предельной чувствительности, два разнесенных по глубине отверстия диаметром 2 мм для проверки мертвой зоны.

В предлагаемых авторами монолитных твердотельных многоэлементных образцах модели дефекта должны быть одинаковыми, например в виде ПУО на донной поверхности образца, т. е. примерно на одинаковой глубине. Единообразие типов моделей дефекта и примерно одинаковое местоположение по глубине их залегания снижает влияние на формирование информационного эхо-сигнала сложных процессов взаимодействия ультразвуковых волн с разнородными по форме моделями дефектов. Это единообразие способствует обеспечению прямопропорциональной зависимости отношений выходных эхо-сигналов дефектоскопа от отношений нормированных параметров моделей дефектов в широком диапазоне их изменения.

Стандартные образцы для контроля нелинейности электроакустического тракта УЗД рекомендуется создавать в виде многоэлементной конструкции из стали марки 20 с применением в качестве модели дефекта ПУО с упорядочением и нормированием отношений площадей отражающей вертикальной стенки этих отражателей.

Заключение. Представленные в статье общие принципы разработки новой группы многоэлементных СО акустических свойств для НК могут быть основой для совершенствования различных типов СО, применяемых в разных областях неразрушающего контроля. Практическое применение многоэлементной конструкции СО для настройки и проверки нелинейности электроакустического тракта УЗД позволяет путем исключения из обращения некачественных УЗД (на стадии их выпуска и после ремонта) повысить эффективность их применения и, как следствие, достоверность и точность результатов диагностики состояния объектов контроля.

Л и т е р а т у р а

1. **ГОСТ 14782—86.** Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.
2. **Ермолов И. Н., Ланге Ю. В.** Ультразвуковой контроль. М.: Машиностроение, 2004.
3. **Неразрушающие** методы контроля. Спецификатор различий в национальных стандартах различных стран / Под ред. В. Я. Киршенбаума М.: Центр Наука и техника, 1995.
4. **Соболев А. С., Пудов В. И.** Модель построения многоэлементных отражателей для ультразвуковой аппаратуры // Измерительная техника. 2011. № 7. С. 53—57.
5. **Федеральный закон** № 102-ФЗ от 26.06.2008 г. «Об обеспечении единства измерений (с изменениями и дополнениями).
6. **ГОСТ Р 8.614—2005.** ГСИ. Государственная служба стандартных справочных данных. Основные положения.
7. **Корзунин Г. С.** Магнитные методы определения кристаллографической текстуры. Екатеринбург: НИСО УрО РАН, 1995.
8. **ГОСТ 2.101—68.** ЕСКД. Виды изделий.
9. **ГОСТ Р ИСО 5577—2009.** Контроль неразрушающий. Ультразвуковой контроль. Словарь.
10. **ГОСТ Р 8.637—2007.** ГСИ. Стандартные образцы для метрологического обеспечения средств неразрушающего контроля трубопроводов. Общие требования.
11. **ГОСТ 21105—87.** Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод.
12. **Пудов В. И., Соболев А. С., Воронина С. В.** Измерение физических параметров ферромагнитных образцов — имитаторов стальных канатов // Измерительная техника. 2010. № 5. С. 54—57.
13. **Пат. 2455635 РФ.** Способ изготовления имитаторов потери сечения стальных канатов / В. И. Пудов, А. С. Соболев // Изобретения. Полезные модели. 2012. № 19.
14. **РМГ 83—2007.** ГСИ. Шкалы измерений. Термины и определения.
15. **Кузнецов В. А., Ялунина Г. В.** Общая метрология. М.: Издательство стандартов, 2001.

Дата принятия 29.01.2015 г.