

**К. В. Гоголинский,
В. А. Сясько**

Санкт-Петербургский горный
университет (СПГУ),

Россия, г. Санкт-Петербург,
E-mail: nanoscan@yandex.ru

УДК 006.91

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ
ЗАКОНОДАТЕЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ,
МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИИ
В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

**STATE OF THE ART AND SOME OF THE ISSUES RELATED TO
LEGISLATIVE REGULATION, METROLOGICAL SUPPORT AND
STANDARDIZATION IN THE FIELD OF NON-DESTRUCTIVE TESTING**

Статья посвящена анализу проблем нормативного регулирования, метрологического обеспечения и стандартизации неразрушающего контроля (НК). Рассмотрена специфика допускового контроля (дефектоскопии) и измерений с использованием методов НК, в т. ч. дефектометрии. Проанализировано современное состояние в области стандартизации НК. Рассмотрены различные подходы к аттестации оборудования и методик НК, в том числе применяемые за рубежом. Предложено ввести на законодательном уровне определения средств и методов НК и создать систему сертификации методик НК в РФ. Изложен подход к измерениям с использованием методов НК, как многопараметровым.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, дефектометрия, метрологическое обеспечение, стандартизация, законодательное регулирование.

The problems of metrological support, legislative regulation and standardization of non-destructive testing (NDT) are analyzed. The specific features of NDT (flaw detection) and measurements using the NDT methods, including defectometry, are considered. The actual state in the field of NDT standardization is analyzed. Also, various approaches to certification of NDT equipment and techniques including those used abroad are viewed. It is proposed to introduce legislative definitions of NDT equipment and techniques and establish a certification system of NDT methods in the Russian Federation. The approach to NDT as multi-parameter measurements is suggested.

Keywords: non-destructive testing, defectometry, metrological support, standardization, legislative regulation.

Формулировка проблемы

При использовании средств и методов НК [1] в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах, выполняемых в рамках государственных контрактов, а также при их применении в технологическом контроле в сферах, подлежащих государственному регулированию в соответствии с действующим законодательством [2], разработчики и потребители сталкиваются с необходимостью проведения различных видов аттестации методик НК и применяемого оборудования. Как известно, законность применения средств и методов измерений в сфере государственного регулирования в области обеспечения единства измерений подразумевает использование поверенных средств измерений (СИ) утвержденного типа, аттестованных стандартных образцов (СО), а также аттестованных методик выполнения измерений (МИ), зарегистрированных в федеральном информационном фонде. Применительно к НК необходимо учитывать то, что он включает в себя несколько взаимодополняющих понятий:

Контроль – проверка соответствия объекта контроля установленным техническим требованиям.

Испытание – экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний, как результата воздействия на него [3]. В НК воздействие на объект осуществляется различными физическими полями.

Измерение – процесс экспериментального получения одного или более значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны величине [4]. Единство измерений обеспечивается путем прослеживаемости измеренных значений к эталонам.

Подобное сочетание приводит к существенным проблемам как в методической, так и в законодательной плоскости.

НК можно условно разделить на допусковой контроль (дефектоскопию) и измерения с использованием методов НК. В случае допускового контроля происходит обнаружение некоторых несоответствий продукции установленным требованиям технической докумен-



тации (дефектов), представляющих собой неоднородности или несплошности материала (поры, каверны, расслоения, трещины, инородные включения и т. д.), которые проблематично, зачастую, охарактеризовать какой-либо размерной величиной. При этом, основными характеристиками оборудования являются чувствительность к информативным и мешающим параметрам и разрешающая способность. В случае измерений методами НК некоторая физическая величина (например, толщина покрытия или стенки трубы) может быть определена количественно в соответствующих единицах измерения. Метрологические характеристики таких приборов нормируются аналогично другим СИ. Однако, четкой границы между дефектоскопией и измерениями не существует. Один и тот же эхо-метод в ультразвуковом контроле и соответствующее оборудование может использоваться для обнаружения дефектов (несплошностей) в объеме детали и для измерения ее линейных размеров. В первом случае показателем наличия дефекта является факт появления акустического сигнала, отраженного от дефекта, в другом – измеряется время прохождения акустического сигнала, при этом для измерения толщины необходимо знать скорость распространения ультразвуковых колебаний в материале. Но и в приведенном примере задача обнаружения дефекта может трансформироваться в измерительную, а именно, определение глубины залегания дефекта и его размеров. Для дефектоскопии ключевой проблемой является само определение понятия дефекта, связанное с понятием качества изделия. С точки зрения технологического контроля, не любой обнаруженный дефект (flaw) является критическим дефектом (defect), т. е. причиной отбраковки или необходимости замены детали (термины даны согласно [5], в скобках – согласно [6]). Часто возникает необходимость ранжировать обнаруживаемые дефекты по их влиянию на пригодность или опасность эксплуатации изделия. Именно этим методики НК критически отличаются от методик измерений. Для последних основными показателями являются их метрологические характеристики. Объединение особенностей допускового контроля (дефектоскопии) и количественных измерений привели к возникновению термина «дефектометрия», под которым понимается «определение параметров дефекта по экспериментальным данным с использованием алгоритмов решения обратных задач» [7].

Существенной особенностью НК является влияние свойств контролируемого объекта (материала) на требования к оборудованию и применяемым методикам. В качестве примера можно привести задачу контроля изделий из углерод-углеродных композитных материалов (УУКМ), активно заменяющих металлические в авиакосмической промышленности [8]. Для подобных изделий часто применяются ультразвуковые акустические (ультразвуковые) методы НК. Объемно-армированные углепластиковые материалы принципиально отличаются от металлических пространственной анизотропией структуры и механических свойств и, как следствие,

пространственной анизотропией скорости распространения ультразвуковых колебаний. Характер рассеяния и затухания УЗ колебаний в УУКМ также кардинально отличается от металлов и сплавов. В не меньшей степени отличаются характерные дефекты в этих материалах: основным типом дефектов в металлах являются трещины, в углепластиках, как правило, наблюдаются расслоения, трещины в армирующем материале и нарушения регулярности структуры. Таким образом, при контроле одних и тех же по назначению изделий, изготовленных из разных материалов, необходимо применять различное оборудование и методики, а их аттестацию проводить с учетом специфики предполагаемых объектов контроля.

Особенностью НК является также то, что результат применения оборудования и методики существенным образом зависит от квалификации специалиста, выполняющего процедуру контроля. Вследствие этого на международном и национальном уровнях создана многоступенчатая система обучения и сертификации специалистов по НК [9], не имеющая аналогов в других видах измерений, испытаний и контроля.

Нормативное регулирование и стандартизация в области контроля, испытаний и измерений

С точки зрения контроля устанавливаемые требования к материалам и изделиям зависят от специфики самих материалов, технологических процессов при изготовлении изделий и условий их дальнейшей эксплуатации. В этой связи критерии годности материала или конечного изделия зависят от множества факторов и могут быть установлены только в процессе научных и инженерных исследований и опытной эксплуатации. В случае применения методов НК для технологического контроля ответственность за их применение несет исключительно компания-производитель. Однако, если НК применяется для контроля технического состояния потенциально опасных объектов, например, на железнодорожном транспорте, в ядерной энергетике и т. п., то применяемые методики и оборудование должны проходить государственную аттестацию и сертификацию. В соответствии с действующими в РФ нормативно-правовыми документами и стандартами оборудование неразрушающего контроля можно отнести к следующим группам: испытательное оборудование (ИО), технические системы и устройства с измерительными функциями (ТСУИФ) и средства измерений (СИ).

Требования к ИО регламентированы в обновленном в 2003 году базовом стандарте Системы государственных испытаний продукции (СГИ) [3] и в стандарте [10]. В соответствии с последним, требование о применении поверенных СИ и СО утвержденных типов относится только к оборудованию, применяемому для аттестации ИО, «используемого при обязательной сертификации продукции, при испытаниях продукции на соответствие обязательным требованиям технических регламентов, при производстве продукции, поставляемой по контрактам для государственных нужд...». Одновременно

«для аттестации ИО, используемого при испытаниях и производстве продукции в сферах, где к ней не установлены обязательные требования, допускается применение калиброванных СИ». Таким образом, нормативные требования к утверждению конструкции и параметров самого испытательного оборудования отсутствуют, так же, как и требования к аккредитации или сертификации организаций, проводящих аттестацию ИО.

Общие требования и формы оценки соответствия ТСУИФ определены в стандартах [11, 12], а порядок их утверждения установлен в приказе Минпромторга [13]. Вопросы, относящиеся к утверждению и аттестации ТСУИФ, детально рассмотрены в [14–17]. Рассматриваемый подход позволяет узаконить само оборудование, не утверждая его как тип СИ. В то же время, порядок аттестации и применения ТСУИФ в сфере госрегулирования на сегодняшний день не установлен, что, по-видимому, ограничивает реализацию данного подхода на практике.

При использовании средств НК для измерений, они подлежат всем видам метрологической аттестации, установленным для СИ (утверждение типа, поверка, калибровка), с обеспечением прослеживаемости к первичным эталонам или референтным методикам.

Стандартизация методов и средств НК в РФ и на международном уровне находится в ведении технических комитетов по стандартизации, соответственно, ТК 371 и МТК 515. Разработанные в советские годы стандарты по НК отличались высоким техническим и методическим уровнем, однако к настоящему времени существенно устарели и требуют пересмотра и актуализации. Возможности для разработки оригинальных современных отечественных стандартов ограничены. Одним из путей развития стандартизации в области НК является гармонизация – применение международных стандартов в качестве основы для разработки ГОСТ и ГОСТ Р. При этом необходимо строго придерживаться одного из основополагающих принципов стандартизации: «обеспечение комплексности и системности стандартизации, преемственности деятельности в сфере стандартизации» (Ст. 4 п. 3 ФЗ-162 «О стандартизации в РФ»). В отсутствие в последние годы системного подхода стандарты в области НК стали разрабатываться различными непрофильными ТК. Это привело не только к разнобою в терминологии, но и отсутствию общих подходов и принципов к нормированию требований к оборудованию и методикам НК.

В качестве примера к сказанному выше можно привести проблему стандартизации разработки, изготовления и аттестации образцов, используемых для настройки и контроля параметров аппаратуры и методик НК. На сегодняшний день отсутствует единое понимание смысла и статуса таких образцов и, как следствие, методов их аттестации. Показателем этого является отсутствие единства в терминах и определениях, используемых в стандартах, действующих в РФ. Так, в [5, п. 2.22] определен термин «контроль-

ный образец», в [18] определены термины «калибровочный образец» (п. 2.7.1) и «настроечный образец» (п. 2.7.3). В [19] используется термин «контрольный образец» аналогично [5], а также «настроечный образец», близкий по определению к используемому в [18]. Особенно интересен введенный в [19, п. 29] термин «стандартный образец утвержденного типа, ... предназначенный для поверки средств контроля», который в интерпретации авторов стандарта «не является аналогом понятия «стандартный образец» в изложении Федерального закона N 102-ФЗ». Разработчики проекта стандарта [20] предлагают утверждать контрольные образцы как СИ (меры). Авторы данной статьи считают такой подход некорректным, т. к. эти образцы не передают линейные размеры средствам НК (дефектоскопам). На наш взгляд, такой образец можно потенциально считать СО дефекта с учетом геометрии всего образца, а также свойств материала, из которого он изготовлен [21].

Зарубежный опыт стандартизации и нормативного регулирования в НК

В соответствии с Международной классификацией стандартов Международной организации по стандартизации (ICS ISO) [22] существуют две различные области стандартизации: 17 – Metrology and measurement. Physical phenomena и 19 – Testing, в которую входит область 19.100 – Non-destructive testing. Использование средств измерений в Европе регулируется международным [23] и национальным [24] законодательством. Требования к оборудованию и методикам НК определены в документах таких организаций, как ENIQ (European Network for Inspection and Qualification) [25] и ASME (American Society of Mechanical Engineering) [26]. Сравнение основных терминов и определений в области измерительной техники и НК демонстрирует с одной стороны, существенную общность подходов (таблица 1):

Таблица 1.

Сравнение терминов в метрологии и НК.

Метрология VIM [27]	Неразрушающий контроль
Средство измерений (Measuring instrument)	Оборудование для контроля (Inspection equipment). [25]
Методика измерений (Measurement procedure)	Методика контроля (Inspection procedure) [25]
Стандартный образец (Reference material)	Стандартный образец (Reference block) [6] Контрольный образец (Test piece) [25]

В то же время НК имеет ряд специфических особенностей, отличающих его от измерений. Специфика НК отражена в определении, приведенном в [25]:

«Система контроля (Inspection System) – все составляющие неразрушающего контроля, включая оборудование, методику контроля и персонал, которые могут повлиять на результат и качество контроля».

В отличие от измерительного оборудования, которое подлежит калибровке в добровольном порядке или верификации (поверке) в соответствии с действующим



щим законодательством, в том же документе введено следующее определение:

«Аттестация системы контроля (Inspection Qualification) – систематическая оценка всеми теми методами, которые необходимы для обеспечения надежного подтверждения параметров системы контроля, чтобы гарантировать, что она способна достичь требуемой производительности в реальных условиях контроля.

Аттестация системы контроля может потребовать оценки любой системы неразрушающего контроля, состоящей, в общем случае, из комбинации методики неразрушающего контроля, оборудования и персонала. Эту аттестацию или оценку можно рассматривать как сумму следующих пунктов:

- i) *Техническое обоснование, которое включает в себя сбор всех доказательств эффективности контроля, включая предыдущий опыт ее применения, лабораторные исследования, математическое моделирование, физическое обоснование и так далее.*
- ii) *Практические испытания (слепые или открытые), проводимые на упрощенных или репрезентативных образцах, напоминающих проверяемый компонент».*

В промышленно развитых странах традиционно применяются документы и своды правил, регламентирующие аттестацию и применение методик НК [25,26]. В тех областях промышленности, в которых активно внедряются новые технологии НК, разрабатываются новые руководства по применению и аттестации систем НК [28], а также проектированию и аттестации контрольных образцов [29].

Внедрение в законодательство методик НК, как отдельного понятия

Взгляд на методику НК может быть обобщен следующим образом: процедуры НК используются для контроля изделий или технологических процессов. При активном НК выполняется контролируемое (управляемое) воздействие физических полей на объект контроля, что позволяет отнести этот процесс к испытаниям. Измерение первичных информативных параметров физических полей, взаимодействующих с контролируемым объектом, происходит путем регистрации и обработки сигналов первичных измерительных преобразователей: измеряются такие параметры сигналов, как амплитуда, фаза, время прохождения и т. п. Результатом применения методики НК является, как правило, информация (в т. ч. значение величины), получаемая путем расчетов с использованием измеренных величин или их экспертного анализа. Таким образом, описываемая процедура больше всего соответствует понятию косвенного измерения и определению методики выполнения измерений [30]. В то же время, как было сказано выше, с точки зрения решения задачи контроля, результатом применения такой методики может быть не размерная величина, а некая условная или «эквивалентная», относящаяся к порядковой шкале, характеризующей уровень дефектности или годности объекта контроля и не прослеживаемая к первичным эталонам. Эта особенность не позволя-

ет, в общем случае, отнести методику НК к методике измерения. В свою очередь, технические устройства, используемые для измерения в процессе контроля, также не являются средствами «измерения дефектов», а фактически измеряют только некоторые параметры сигналов, которые позволяют косвенно (в соответствии с методикой) рассчитать контролируемую величину. С этой точки зрения не всегда выглядит обоснованным утверждение в качестве СИ разного рода дефектоскопов без проведения комплекса метрологических мероприятий, включающих экспериментальное обоснование нормируемых метрологических характеристик и аттестацию стандартных образцов, соответствующих реальным дефектам. С другой стороны, нельзя средства НК отнести и к классу ТСУИФ, т. к. основной их функцией являются именно измерения, результаты которых затем используются при расчетах или анализе.

Из сказанного следует, что система (методика) НК в общем случае не может быть сведена ни к одному из существующих понятий, используемых в нормативно-правовых документах РФ.

Обобщенная схема системы НК, предложенная в [28] и доработанная авторами, приведена на рис.

Процедура контроля проводится с использованием оборудования, реализующего тот или иной метод НК. Контроль осуществляется обученным персоналом с необходимым опытом и подтвержденной квалификацией. Целью контроля является обнаружение в контролируемом объекте некоторой вероятной особенности (дефекта) и /или измерение параметров обнаруженного дефекта или объекта в целом. На результат НК влияют как свойства самого объекта (материал, геометрия, состояние), так и параметры окружающей среды. В результате проведения процедуры контроля измеряются ряд показаний приборов, на основе которых при помощи математической модели (методики интерпретации) определяется информация о параметрах контролируемого объекта. В случае проведения количественной оценки (измерения) параметров дефектов данная схема описывает методику дефектометрии.

Из этой схемы следует выделить следующие необходимые уровни аттестации методик НК:

1. Аттестация отдельных элементов НК:
 - 1.1. Метрологическая аттестация оборудования НК на уровне базовых функций с использованием универсальных аттестованных мер и /или стандартных образцов.
 - 1.2. Верификация (экспертиза) методик вычисления (интерпретации) измеряемых данных на базе цифровых моделей.
 - 1.3. Аттестация персонала.
2. Аттестация (обоснование, подтверждение работоспособности) методики НК с использованием контрольных образцов, имитирующих реальные дефекты, либо образцов реальных дефектов с известными параметрами. Такая аттестация должна, по возможности, проводится с привлечением различных исполнителей и комплектов оборудования, а также



встречающуюся избыточность требований и нормировать только те метрологические характеристики оборудования, которые реально влияют на результат процедуры НК. Одновременно следует более четко определиться со статусом и нормируемыми характеристиками образцов (СО, мер), используемых при поверке и калибровке. Важнейшим шагом в развитии системы метрологического обеспечения НК, по мнению авторов, является системный подход к измерениям в НК, как к многопараметровым, т.е. учитывающим одновременное влияние ряда параметров объекта контроля на показания прибора (дефектоскопа или СИ).

В качестве примера многопараметровых измерений в НК можно привести измерения толщин стенок или покрытий с использованием ультразвуковых, электромагнитных или других методов НК [31]. Спецификой таких измерений является то, что для соответствующих первичных измерительных преобразователей невозможно однозначно разделить информативные и мешающие параметры. Например, для измерения толщины металлических покрытий широко используют вихретоковые толщиномеры, реализующие амплитудный, фазовый и амплитудно-фазовый методы измерений, основанные на анализе электромагнитного поля вихревых токов, наводимых в объекте контроля. Результаты измерений этих приборов зависят от нескольких групп параметров: электрофизических (удельной электропроводности материалов покрытия σ_n и основания $\sigma_{осн}$, а также комплексной относительной магнитной проницаемости материала основания $\bar{\mu}_{осн}$) и геометрических (толщины покрытия T_n , шероховатости, радиуса кривизны поверхности и др.) [32]. Для обеспечения единства измерений T_n описываемыми методами необходимо использовать меры, нормированные по всем указанным параметрам [33,34]. Для решения этой задачи в настоящее время во ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» и ФГУП «УНИИМ» ведется разработка распределенного эталонного комплекса, обеспечивающего, помимо измерения геометрических параметров мер, измерение $\sigma_{осн}$ меры по методу Ван дер Пау, измерение комплексной относительной магнитной проницаемости $\bar{\mu}$ на кольцевых образцах с применением пермеаметра с возможностью передачи значения этого параметра основанию меры ($\bar{\mu}_{осн}$) произвольной формы с плоской поверхностью, измерение σ_n покрытия меры с применением вихретокового преобразователя с волнообразной обмоткой возбуждения [35]. Создание такого эталона должно

кардинально повысить точность и достоверность результатов измерений в данной области.

Выводы

1. По мнению авторов, существующие понятия СИ, ИО и ТСУИФ, а также применяемые методы метрологического обеспечения не в полной мере соответствуют реальным требованиям к оборудованию и методикам НК, следовательно, система организационно-правового и технического регулирования НК требует совершенствования и пересмотра.
2. В качестве основы отечественной системы аттестации средств и методов НК предлагается использовать основные принципы регулирования НК на государственном уровне, применяемые в промышленно развитых странах, со своей системой стандартизации, нормативными документами и сводами правил.
3. В рамках создания организационной структуры системы аттестации НК в сфере государственного регулирования предлагается ввести на законодательном уровне следующие понятия: средство НК, методика НК, контрольный образец НК, модель расчета (методика интерпретации) результатов НК, учитывающие современный уровень развития отрасли и перспективные требования в рамках шестого промышленного уклада, а также концепция аттестации методик НК, включающая в себя несколько уровней:
 - метрологическую аттестацию оборудования НК, верификацию методик интерпретации данных, аттестацию персонала;
 - аттестацию (подтверждение работоспособности) методики НК с использованием контрольных образцов;
 - общие квалификационные испытания методики НК в реальных условиях.
4. Систему аттестации методик НК предлагается организовать на базе головных отраслевых институтов, профильных общественных и саморегулируемых организаций.
5. Необходимо усовершенствовать систему метрологического обеспечения НК путем применения системного подхода к измерениям в НК как многопараметровым с созданием соответствующих средств метрологического обеспечения. Предлагаемые решения должны, по мнению авторов, способствовать развитию методов и средств НК в соответствии с современными и перспективными требованиями развития промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 56 542-2015 Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов
2. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. N 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»
3. ГОСТ 16 504-81. СГИ. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. (С изменениями от 2003 г.)
4. РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.
5. ГОСТ Р 53 697-2009 Контроль неразрушающий. Основные термины и определения
6. ISO/TS 18 173:2005 «Non-destructive testing – General terms and definitions»
7. Система неразрушающего контроля. Виды (методы) и технология неразрушающего контроля. Термины и определения: Справочное пособие. Серия 28. Выпуск 4/Колл. авт.– М.: Государственное унитарное предприятие «Науч-

- но-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003.
8. Deborah Chung. Carbon Composites, 2nd Edition: Composites with Carbon Fibers, Nanofibers, and Nanotubes. Butterworth-Heinemann. 10th November 2016. 706 p., ISBN: 9780128044599
 9. ГОСТ Р 54 795-2011/ISO/DIS 9712 Контроль неразрушающий. Квалификация и сертификация персонала. Основные требования
 10. ГОСТ Р 8.568-2017 ГСИ. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения.
 11. ГОСТ Р 8.674-2009 ГСИ. Общие требования к средствам измерений и техническим системам и устройствам с измерительными функциями.
 12. ГОСТ Р 8.678-2009 ГСИ. Форма оценки соответствия технических систем и устройств с измерительными функциями установленным требованиям.
 13. Приказ Министерства промышленности и торговли РФ от 15 декабря – 2015 г. – № 4092 «Об утверждении Порядка отнесения технических средств к техническим системам и устройствам с измерительными функциями»
 14. Лисин С. А. Технические системы и устройства с измерительными функциями как средства испытаний и контроля. – Системные технологии. – 2018. – № 26. – С. 46-49
 15. Кузин А. Ю., Андрощук Ю. М. Технические системы и устройства с измерительными функциями: увидим ли мы их реализацию на практике//Главный метролог. – 2017. – № 4. – С. 28-31.
 16. Кузин А. Ю., Андрощук Ю. М. Технические системы и устройства с измерительными функциями: продолжаем обсуждать//Главный метролог. – 2017. – № 5. – С. 58-66.
 17. Кузин А. Ю., Андрощук Ю. М. Технические системы и устройства с измерительными функциями: зарубежный опыт//Главный метролог. – 2018. – № 1. – С. 20-26.
 18. ГОСТ Р ИСО 5577-2009 Контроль неразрушающий. Ультразвуковой контроль. Словарь.
 19. ГОСТ Р 50.05.15-2018 Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Оценка соответствия в форме контроля. Неразрушающий контроль. Термины и определения.
 20. Проект ГОСТ Р ГСИ. Метрологическое обеспечение внутритрубной диагностики. Программа национальной стандартизации на 2019 г., шифр 1.2.023-1.015.17
 21. ГОСТ Р 8.637-2007 ГСИ. Стандартные образцы для метрологического обеспечения средств неразрушающего контроля трубопроводов. Общие требования
 22. International Classification for Standards ISO 2015
 23. Directive 2014/32/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on the harmonisation of the laws of the Member States relating to the making available on the market of measuring instruments (recast). Applicable from 20 April 2016. OJ L 96, 29 March 2014
 24. German Measures and Verification Act (MessEG) – Bundesgesetzblatt – BGBl. I, p. 2722 (No. 43) 31.07.2013
 25. European Network for Inspection and Qualification (ENIQ), «The European Methodology for Qualification of Non-destructive Testing, Third Issue,» European Commission, Brussels-Luxembourg, 2007
 26. ASME American Society of Mechanical Engineering, «Section VI: Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components,» in Boiler and Pressure Vessel Code, 2015.
 27. The VIM, International Vocabulary of Metrology JCGM 200:2012 (open access www.bipm.org)
 28. Algernon D, Arndt R W, Denzel W et al. NDT Procedures in Relation to Quality Assurance and Validation of Nondestructive Testing in Civil Engineering Proc. Int. Conf. NDE/NDT Structural Materials Technology for Highways and Bridges (SMT) and the Int. Symp. on Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE) (New Brunswick, NJ, USA: The American Society for Nondestructive Testing Inc.). 2018. pp 31–38 <https://asnt.org/smt18papers>
 29. Algernon D, Arndt R W, Denzel W, et al. Test Specimen Concepts in Regard to Quality Assurance and Validation of Nondestructive Testing in Civil Engineering Proc. Int. Conf. NDE/NDT Structural Materials Technology for Highways and Bridges (SMT) and the Int. Symp. on Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE) (New Brunswick, NJ, USA: The American Society for Nondestructive Testing Inc.). 2018. pp 39–48 <https://asnt.org/smt18papers>
 30. ГОСТ Р 8.563-2009 ГСИ. Методики (методы) измерений.
 31. Потапов А. И., Сясько В. А. «Неразрушающие методы и средства контроля толщины покрытий и изделий» Научное, методическое, справочное пособие. – СПб: Гуманистика, 2009. – 1100 с.
 32. Бабаджанов А. С., Бабаджанова М. А. Метрологическое обеспечение измерений толщины покрытий. Теория и практика. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 264 с.
 33. Голубев С. С., Смирнова Н. И., Складановская М. И. Обеспечение единства измерений толщины металлических покрытий вихретоковыми фазовыми толщиномерами при их градуировке и поверке. Измерительная техника. 2017. № 6. С. 25-28
 34. Голубев С. С., Бабаджанов А. С., Гоголинский К. В., Сясько В. А. Актуальные вопросы метрологического обеспечения контроля качества покрытий. Законодательная и прикладная метрология. 2017. № 1 (146). С. 19-23.
 35. Сясько В. А., Голубев С. С., Смородинский Я. Г., Потапов А. И., Соломенчук П. В., Смирнова Н. И. Измерение электромагнитных параметров мер толщины металлических покрытий. Дефектоскопия. 2018. № 10. С. 25-36

Дата принятия 24.07.2019