



О новом нормативном документе по вихретоковому контролю в атомной энергетике

Рассмотрены основные положения первого в России общего нормативного документа по вихретоковому контролю в атомной энергетике. Этот документ разработан для специалистов, выполняющих вихретоковый контроль на АЭС и заводах-изготовителях энергетического оборудования, разработчиков средств и технологий вихретокового контроля, а также для специалистов Ростехнадзора.

Submitted 03.03.15
Accepted 11.03.15

S. M. Petushkov*

Eddy Current Testing in Nuclear Power Engineering. New Normative Document

Main features of the first Russian general normative document on eddy current testing in nuclear power engineering are considered. The document title is: "Standardized testing techniques of basic materials (semi-finished), welded joints and cladding and pipelines of nuclear power installations. Eddy current testing" (RB-088-14).

The document is in fact a safety guideline and contains Rostekhnadzor's recommendations on equipment and pipelines eddy current testing procedure at nuclear power installations. The recommendations for selection of eddy current flaw detectors and other testing instruments as well as for testing procedure organization, documentation content, personnel qualification, and metrology provision are given. Terminology and terms' definitions used at nuclear power plants for eddy current testing are listed.

The appendixes to the document contain specific methodological guidelines for testing of nonferromagnetic heat-exchange pipes, steam generators' headers, and fixture elements' thread.

The document is of high interest for eddy current testing specialists working with computer eddy current flaw detectors in the nuclear power engineering and other industries.

Keywords: eddy current testing, nuclear power plant, normative document, Rostekhnadzor, standardized testing techniques

ПЕТУШКОВ
Сергей Михайлович

Генеральный директор
ООО НТФ «КОМВИС»,
к. т. н., III уровень по
вихретоковому виду НК.



Введение

Вихретоковый контроль (ВТК) широко и успешно используется на АЭС для дефектоскопии ответственных элементов оборудования. Средства и технологии ВТК на АЭС постоянно совершенствуются, появляются новые перспективные разработки.

Однако сдерживающим фактором в развитии ВТК в атомной энергетике до последнего времени было отсутствие единого нормативного документа, при том, что было разработано и использовалось значительное количество узкоспециализированных методик контроля. Каждая из этих методик применима только к обследованию определенного объекта или даже типоразмера объекта с применением очень часто только одного конкретного типа вихретокового

оборудования. Например, для ВТК резбовых отверстий оборудования АЭС с ВВЭР аттестованы (в соответствии с [2]) и введены в действие восемь различных методик контроля. Требования к порогу чувствительности, точности измерений размеров и координат несплошностей, воспроизводимости результатов, производительности контроля и другим параметрам в этих методиках различны.

В отличие от ВТК для большинства других видов контроля, используемых на АЭС, единые нормативные документы («Унифицированные методики неразрушающего контроля...» серии ПНАЭ Г-7) начали применяться уже с 1990 г.

Ситуация с нормативной базой ВТК на АЭС изменилась после утверждения Ростехнадзором (приказ

№ 219 от 21.05.2014 г.) и опубликования руководства по безопасности при использовании атомной энергии «Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Вихретоковый контроль» (РБ-088-14) (далее — Руководство по безопасности) [1].

Это Руководство по безопасности содержит рекомендации Ростехнадзора по проведению вихретокового контроля элементов оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок, на которые распространяются требования соответствующих федеральных норм и правил в области использования атомной энергии. Оно разработано для специалистов, выполняющих ВТК на

* Scientific and Technical Firm "COMVIS" Ltd, Moscow, Russia

АЭС и заводах-изготовителях энергетического оборудования, разработчиков средств и технологий ВТК, а также для специалистов Ростехнадзора.

Руководство по безопасности создано на основе действующих на АЭС методик ВТК. В нем учтены предложения многих отечественных специалистов, чья деятельность связана с ВТК в атомной энергетике, и, прежде всего, специалистов АЭС, имеющих многолетний практический опыт проведения контроля.

В статье обсуждаются наиболее интересные вопросы, возникшие в процессе разработки Руководства по безопасности.

Объекты и цели контроля

Если провести анализ действующих в ОАО «Концерн Росэнергоатом» типовых программ эксплуатационного и предэксплуатационного контроля [3–8], то можно выделить тройку основных объектов ВТК на АЭС:

- теплообменные трубы (ТОТ) парогенераторов (ПГ);
- переключатели коллекторов первого контура ПГ;
- резьбовые части крепежных элементов (шпилек, гаек, резьбовых отверстий) фланцевых разъемов корпусного оборудования (реактора, ПГ, главных циркуляционных насосов и др.).

Следует отметить, что все эти объекты относятся к реакторным установкам ВВЭР. ВТК на отечественных реакторных установках другого типа, в частности, РБМК распространен значительно меньше.

Технологии ВТК трёх рассматриваемых объектов контроля настолько отличаются друг от друга, что было принято решение о разработке (дополнительно к общим методическим рекомендациям по ВТК) конкретных рекомендаций по контролю каждого из этих объектов. Они представлены в виде трех приложений к Руководству по безопасности. Рекомендации по контролю ТОТ ПГ были обобщены на контроль неферромагнитных труб теплообменных аппаратов различных типов, в частности, конденсаторов турбин.

Несомненно, что Руководство по безопасности может быть использовано и при контроле других объектов на АЭС, таких как трубы сухих каналов внутриреакторного температурного контроля, наплавка корпуса реактора, гладкая и галтельная части шпилек, лопатки турбин, сварные швы приварки ТОТ к коллектору ПГ, уплотнительные канавки на фланце корпуса реактора.

При обследовании элементов оборудования АЭС главной целью ВТК является выявление несплошностей материала и определение их характеристик (типа, местоположения, пространственной ориентации и размеров). Поэтому Руководство по безопасности ориентировано именно на вихретоковую дефектоскопию.

Известны лишь единичные задачи, когда цель ВТК на АЭС не связана с обнаружением несплошностей. Примером может служить измерение зацепления в телескопическом соединении верхних трактов реакторов РБМК с помощью вихретокового устройства.

При вихретоковой дефектоскопии в некоторых случаях может быть получена важная дополнительная информация об объекте контроля. Например, при контроле ТОТ ПГ выявляются утонения стенки в местах установки дистанционирующих решеток, следы ударов (вмятины), геометрические аномалии развальцовки, электропроводящие и /или магнитные отложения на поверхности ТОТ и в межтрубном пространстве, локальные изменения магнитной проницаемости материала ТОТ, соприкосновения соседних труб.

Средства контроля

В силу специфики обследуемых объектов и условий проведения контроля средства ВТК на АЭС должны удовлетворять высоким требованиям по достоверности результатов, производительности и дистанционности контроля [9]. Это можно обеспечить только с помощью автоматизированных вихретоковых систем, в состав которых помимо компьютерного дефектоскопа, вихретокового преобразователя и контрольных образцов входит сканирующее устройство, например, манипулятор, который обеспечивает перемещение вихретокового преобразователя во время контроля. Каждая из таких систем работает как единый аппаратно-программный комплекс и позволяет значительно сократить время выполнения контроля, обеспечить высокую достоверность результатов, а также исключить ручной контроль, связанный с большими дозовыми нагрузками на дефектоскопистов.

Требования к вихретоковым дефектоскопам, используемым на АЭС, ранее уже обсуждались подробно в статье [9]. Главная рекомендация Руководства по безопасности — использовать универсальные многочастотные компьютерные дефектоскопы.

В Руководстве по безопасности изложены требования не только к дефектоскопам, но и к другим элементам вихретоковых систем: сканирующим устройствам (манипуляторам, станкам), вихретоковым преобразователям и контрольным образцам; приводятся рекомендации по содержанию паспортов этих средств контроля.

Организация и технология контроля

В разделе «Подготовка к контролю» Руководства по безопасности изложены рекомендации по подготовке объекта контроля, системы контроля и организации рабочего места оператора системы.

В этом разделе затронут важный вопрос: в каких случаях следует разрабатывать технологическую карту, а в каких можно ограничиться методикой контроля. В соответствии с рекомендациями Руководства по безопасности технологическая карта составляется лишь тогда, когда методика разработана не для одного, а для целого класса объектов контроля и /или без указания конкретных типов средств контроля. Технологическая карта необходима для уточнения положений методики применительно к конкретному типоразмеру (или материалу) объекта контроля и к определенному типу средств контроля.

Во время подготовки к контролю выполняется настройка дефектоскопа по контрольному образцу с искусственными несплошностями. Для получения при контроле стабильных результатов их размеры следует выбирать такими, чтобы сигналы от них в несколько раз (как минимум в два раза) превышали уровень шума на контрольном образце. При наличии технической возможности этот образец рекомендуется устанавливать на сканирующее устройство, причем таким образом, чтобы последовательно со сканированием каждого контролируемого элемента происходило и сканирование образца.

То, что основными средствами ВТК на АЭС являются автоматизированные вихретоковые системы на основе компьютерных дефектоскопов, определяет большинство рекомендаций по организации и технологии проведения ВТК. В этом главное отличие Руководства по безопасности от других общих методических документов по ВТК, например [10], которые в основном ориентированы на применение ручных вихретоковых дефектоскопов.

При использовании вихретоковых систем весь процесс контроля можно

разделить на два больших этапа: сбор данных и анализ данных.

Основными требованиями к проведению первого этапа являются следующие.

1. Сбор данных должен быть выполнен с максимальной производительностью, т.к. сроки, выделяемые на проведение работ по контролю во время планово-предупредительных ремонтов энергоблоков, жестко ограничены.
2. Качество данных должно быть высоким. Оператор дефектоскопа в режиме реального времени должен следить за качеством собираемых данных, оперативно реагировать на сбой в работе системы, а также проводить повторные контрольные настройки дефектоскопа с требуемой периодичностью.
3. Данные должны быть собраны в полном объеме (в соответствии с методикой и программой контроля).

Сбор данных могут выполнять специалисты, имеющие квалификационный уровень «без права выдачи заключения».

Несмотря на то, что никаких выводов о состоянии объекта контроля на первом этапе не делается, рекомендуется до окончания работ по сбору данных провести их предварительный анализ. Если при этом обнаруживаются «подозрительные» сигналы, или записи низкого качества, то следует сделать повторные записи.

В Руководстве по безопасности указано, какую информацию (кроме основных вихретоковых данных) следует сохранять в файлах данных и как рекомендуется обозначать эти файлы.

Анализ данных с целью оценки качества контролируемого объекта должны проводить опытные специалисты («аналитики»), имеющие право выдачи заключений.

В Руководстве по безопасности изложена четкая последовательность действий при анализе данных:

- проверка качества записи данных;
- выявление сигналов, удовлетворяющих условиям фиксации;
- интерпретация сигналов, выявление сигналов от несплошностей;
- определение типа и размеров несплошностей;
- измерение координат несплошностей;
- разделение несплошностей на допустимые и недопустимые (в соответствии с условиями браковки);
- сохранение результатов анализа в электронном виде;

- подготовка и печать отчетной документации.

Для обеспечения высокой достоверности контроля при анализе рекомендуется использовать собранную информацию в полном объеме, т.е. полученную с применением различных частот, их комбинаций и режимов работы (абсолютного и дифференциального) вихретокового преобразователя.

По результатам анализа данных для каждого контролируемого элемента рекомендуется сформировать реестр несплошностей, в котором указываются значения параметров сигналов, а также тип, размеры, координаты выявленных несплошностей и вывод об их допустимости.

В Руководстве по безопасности даны конкретные рекомендации по содержанию отчетной документации, при этом форма отчетной документации может быть различной (протокол, заключение, акт, итоговый отчет).

Метрология

Средства ВТК (системы контроля, дефектоскопы) должны проходить либо поверку, либо калибровку в соответствии с номенклатурными перечнями средств измерений, составляемыми метрологическими службами АЭС в соответствии со стандартом [11].

Важным для практики является вопрос о метрологическом обеспечении образцов для ВТК. Ответ можно найти в статье [12], где указано, что калибровочные (эталонные) образцы, используемые при поверке или калибровке средств НК, сами должны являться средствами измерений и проходить поверку (калибровку). Контрольные (настроечные) образцы, которые используются лишь для настройки и проверки работоспособности приборов НК, средствами измерений не являются, проводить их поверку (калибровку) не требуется.

Терминология

При разработке раздела «Термины и определения» не ставилась задача приводить полный список терминов, используемых при ВТК на АЭС. Многие понятия уже определены в других нормативных документах [13–16].

С точки зрения терминологии, при подготовке Руководства по безопасности преследовались три цели:

1. Замена используемых ранее терминов на более корректные.

В частности, рекомендуется процесс настройки параметров режима работы дефектоскопа по настроечной не-

сплошности называть не калибровкой, а контрольной настройкой, т.к. это не метрологическая процедура.

Вместо понятия «стандартный образец предприятия» следует использовать понятие «контрольный образец». Правомочность этого доказана в статье [12].

2. Разъяснение терминов широко используемых при ВТК на АЭС, для которых ранее не было дано четких определений: «вихретоковый зонд», «манипулятор», «условия фиксации», «условия браковки» и др.

3. Исключение терминов, получивших некоторое распространение в результате некорректного перевода на русский язык иностранных технических и методических документов, и которые не соответствуют традиционной отечественной терминологии по ВТК [13]. Рекомендуется использовать: «несплошность» вместо «нехватка металла», «сигнал» вместо «индикация», «многоэлементный вихретоковый преобразователь» вместо «матричный...», «проходной вихретоковый преобразователь» вместо «аксиальный...» «контрольный образец» вместо «юстировочный...» и т.д.

Конкретные методические рекомендации

Как упоминалось, в трех приложениях к Руководству по безопасности приведены методические рекомендации по контролю основных объектов ВТК на АЭС (неферромагнитные ТОТ, перемычки коллекторов ПГ, резьба крепежных элементов). В каждом из приложений указаны совершенно конкретные ориентиры, которых следует придерживаться как при разработке средств и методик ВТК, так и непосредственно при проведении контроля:

- типы и минимальные размеры выявляемых несплошностей;
- погрешности измерения размеров и координат несплошностей;
- типы вихретоковых преобразователей;
- траектория и скорость сканирования;
- частотные диапазоны;
- методы отстройки от мешающих факторов;
- параметры настроечных несплошностей на контрольных образцах.

При разработке рекомендаций по контролю неферромагнитных ТОТ учтены требования стандарта ASME [17].

Заключение

Данное Руководство по безопасности правильнее рассматривать не как уни-

версальную методику, введение в действие которой отменяет необходимость разработки и аттестации (в соответствии с [2]) конкретных методик контроля, а как общие методические рекомендации по проведению ВТК в атомной энергетике.

Этот документ представляет несомненный интерес для специалистов по ВТК, работающих не только в атомной энергетике, но и в других отраслях, где проводится ВТК промышленного оборудования, особенно с использованием компьютерных вихретоковых дефектоскопов.

Литература

1. РБ-088-14. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Вихретоковый контроль». — М.: Ростехнадзор, 2014.

2. РД ЭО 0487-05. Типовые требования к порядку разработки Технического задания, проведению испытаний и условиям применения средств и методик эксплуатационного неразрушающего контроля на объектах использования атомной энергии. — М.: концерн «Росэнергоатом», 2005.

3. АТПЭ-9-09. Типовая программа контроля состояния основного металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов атомных электростанций с ВВЭР-1000 при эксплуатации (с изменениями № 1, 2 2010 г., № 3 2012 г., № 4 2012 г., № 5 2012 г., № 6, 7 2013 г.). — М.: ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2010.

4. АТПЭ-2-2011. Типовая программа контроля состояния основного металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов атомных электростанций с реакторной установкой ВВЭР-440 при эксплуатации (с изменениями № 1, № 2 2013 г.). — М.: ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2012.

5. АТПЭ-10-2013. Типовая программа эксплуатационного контроля за состоянием основного металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов систем, важных для безопасности энергоблоков АЭС с РБМК-1000. — М.: ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2014.

6. АТПЭ-11-2006. Типовая программа эксплуатационного контроля состояния основного металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов энергоблока Белоярской АЭС с реакторной установкой БН-600 (с изменениями № 1, 2 2010 г., № 3 2012 г., № 4 2013 г., № 5 2014 г.). — М.: ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2009.

7. АТПЭ-14-99. Типовая программа предэксплуатационного контроля за состоянием основного металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов систем, важных для безопасности АЭС с реакторными установками ВВЭР-1000. — М.: ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2010.

8. АТПЭ-20-2012. Типовая программа контроля состояния основного металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов систем, важных для безопасности, энергоблоков Билибинской АЭС с реакторной установкой ЭГП-6 при эксплуатации (с изменениями № 1 2013 г., № 2 2014 г.). — М.: ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2012.

9. Петушков С.М. Требования к вихретоковому дефектоскопу для контроля на АЭС. — В мире НК. 2013. № 4 (62). С. 13–16.

10. РД-13-03-2006. Методические рекомендации о порядке проведения вихретокового контроля технических устройств и сооружений, приме-

няемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах». — М.: Ростехнадзор, 2006 г.

11. ГОСТ Р 8.565-96 «Метрологическое обеспечение эксплуатации атомных станций. Основные положения».

12. Муравская Н.П., Лазаренко Е.Р. О метрологическом обеспечении в области неразрушающего контроля — Главный метролог. 2013. № 2. С. 31.

13. ГОСТ 24289-80. Контроль неразрушающий вихретоковый. Термины и определения. — М.: Изд-во стандартов, 1980.

14. ПНАЭ Г-7-010-89. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля (с изменением № 1 от 1 сентября 2000 г.).

15. ГОСТ Р ИСО 12718-2009. Контроль неразрушающий. Контроль вихретоковый. Термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2011.

16. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. — М.: Изд-во стандартов, 1979.

17. ASME Boiler and Pressure Vessel Code 2013 Section V, Article 8, Appendix I — Eddy Current Examination of Nonmagnetic Heat Exchanger Tubing.

References

1. RB-088-14. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoy energii «Unifitsirovannye metodiki kontrolya osnovnykh materialov (polufabrikatov), svarnykh soedineniy i naplavki oborudovaniya i truboprovodov atomnykh energeticheskikh ustanovok. Vihretokovyy kontrol'» [Standardized control methods of basic materials (semi-finished), welded joints and cladding of nuclear power installations. Eddy current testing.]. Rostekhnadzor, Moscow, 2014 (in Russ.).

2. RD EO 0487-05. Tipovye trebovaniya k porядку razrabotki Tekhnicheskogo zadaniya, provedeniyu ispytaniy i usloviyam rprimeneniya sredstv i metodik ekspluatatsionnogo nerazrushayushchego kontrolya na obektakh ispol'zovaniya atomnoy energii [Standard requirements for the order of Requirements Specification development, testing procedure and operational NDT instruments and methods application conditions for objects that use nuclear energy.]. Rosenergoatom, Moscow, 2005 (in Russ.).

3. АТПЭ-9-09. Tipovaya programma kontrolya sostoyaniya osnovnogo metalla i svarnykh soedineniy oborudovaniya i truboprovodov atomnykh elektrostantsiy s VVER-1000 pri ekspluatatsii (s izmeneniyami № 1, 2 2010 g., № 3 2012 g., № 4 2012 g., № 5 2012 g., № 6, 7 2013 g.) [Standard program of equipment and pipelines base metal and welded joints operational condition monitoring at nuclear power stations with VVER-1000 (with amendments No. 1, 2 2010, No. 3 2012, No. 4 2012, No. 5 2012, No. 6, 7 2013)]. Rosenergoatom, Moscow, 2010 (in Russ.).

4. АТПЭ-2-2011. Tipovaya programma kontrolya sostoyaniya osnovnogo metalla i svarnykh soedineniy oborudovaniya i truboprovodov atomnykh elektrostantsiy s reaktornoy ustanovkoy VVER-440 pri ekspluatatsii (s izmeneniyami № 1, № 2 2013 g.) [Standard program of equipment and pipelines base metal and welded joints operational condition monitoring at nuclear power plants with the VVER-440 reactor plant (with amendments No. 1, No. 2 2013)]. Rosenergoatom, Moscow, 2012 (in Russ.).

5. АТПЭ-10-2013. Tipovaya programma ekspluatatsionnogo kontrolya za sostoyaniem osnovnogo metalla i svarnykh soedineniy oborudovaniya i truboprovodov sistem, vazhnykh dlya bezopasnosti energoblokov AES s RBMK-1000 [Standard program of equipment and pipelines base metal and welded joints operational condition monitoring at the systems important for power-generating units safety of the power plants with RBMK-1000]. Rosenergoatom, Moscow, 2014 (in Russ.).

6. АТПЭ-11-2006. Tipovaya programma ekspluatatsionnogo kontrolya sostoyaniya osnovnogo metalla i svarnykh soedineniy oborudovaniya i truboprovodov energobloka Beloyarskoy AES s reaktornoy ustanovkoy BN-600 (s izmeneniyami № 1, 2 2010 g., № 3 2012 g., № 4 2013 g., № 5 2014 g.) [Standard program of equipment and pipelines base metal and welded joints operational condition monitoring at Beloyarsk Power Plant with the BN-600 reactor plant (with amendments No. 1, 2 2010, No. 3 2012, No. 4 2013, No. 5 2014)]. Rosenergoatom, Moscow, 2009 (in Russ.).

7. АТПЭ-14-99. Tipovaya programma predekspluatatsionnogo kontrolya za sostoyaniem osnovnogo metalla i svarnykh soedineniy oborudovaniya i truboprovodov sistem, vazhnykh dlya bezopasnosti AES s reaktornymi ustanovkami VVER-1000 [Standard program of equipment and pipelines base metal and welded joints preoperational condition monitoring at the systems important for power-generating units safety of the power plants with the VVER-1000 reactor plants]. Rosenergoatom, Moscow, 2010 (in Russ.).

8. АТПЭ-20-2012. Tipovaya programma kontrolya sostoyaniya osnovnogo metalla i svarnykh soedineniy oborudovaniya i truboprovodov sistem, vazhnykh dlya bezopasnosti energoblokov Bilibinskoy AES s reaktornoy ustanovkoy EGP-6 pri ekspluatatsii (s izmeneniyami № 1 2013 g., № 2 2014 g.) [Standard program of equipment and pipelines base metal and welded joints operational condition monitoring at the systems important for power-generating units safety of the Bilibin Power Plant with the EGP-6 reactor plant (with amendments No. 1 2013, No. 2 2014)]. Rosenergoatom, Moscow, 2012 (in Russ.).

9. Petushkov S.M. V mire NK [NDT World]. 2013, no. 4 (62), pp. 13–16 (in Russ.).

10. RD-13-03-2006. Metodicheskie rekomendatsii o porядке provedeniya vihretokovogo kontrolya tekhnicheskikh ustroystv i sooruzheniy, primenyemykh i ekspluatiruemykh na opasnykh proizvodstvennykh ob'ektakh [Procedure of eddy current testing for technical installations and constructions applied and operated at hazardous industrial facilities. Guideline.]. Rostekhnadzor, Moscow, 2006 (in Russ.).

11. GOST R 8.565-96 GSI. Metrologicheskoe obespechenie ekspluatatsii atomnykh stantsiy. Osnovnye polozheniya [Metrological ensuring of atomic power stations exploitation. General principles]. ИПК Izdatelstvo Standartov, Moscow, 1996 (in Russ.).

12. Muravskaya N.P., Lazarenko E.R. Glavnyy metrolog [Chief metrologist]. 2013, no. 2, p. 31 (in Russ.).

13. GOST 24289-80. Kontrol' nerazrushayushchiy vihretokovyy. Terminy i opredeleniya [Eddy current nondestructive testing. Terms and definitions]. ИПК Izdatelstvo Standartov, Moscow, 1980 (in Russ.).

14. PNAE G-7-010-89. Oborudovanie i truboprovody atomnykh energeticheskikh ustanovok. Svarnye soedineniya i naplavki. Pravila kontrolya (s izmeneniyami № 1 ot 1 sentyabrya 2000 g.) [Equipment and pipelines of nuclear power installations. Welded joints and claddings. Testing rules (with an amendment No. 1 dd 01.09.2000)]. Gosatomnadzor, Moscow, 1989 (in Russ.).

15. GOST R ISO 12718-2009. Kontrol' nerazrushayushchiy. Kontrol' vihretokovyy. Terminy i opredeleniya. [Non-destructive testing — Eddy current testing — Vocabulary]. Standartinform, Moscow, 2011 (in Russ.).

16. GOST 15467-79. Kontrol' nerazrushayushchiy. Kontrol' vihretokovyy. Terminy i opredeleniya [Product-quality control. Basic concepts. Terms and definitions]. ИПК Izdatelstvo Standartov, Moscow, 1979 (in Russ.).

17. ASME Boiler and Pressure Vessel Code 2013 Section V, Article 8, Appendix I. Eddy Current Examination of Nonmagnetic Heat Exchanger Tubing.

Статья получена 3 марта 2015 г.,
в окончательной редакции — 11 марта