

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
КОНЦЕРН «РОСЭНЕРГОАТОМ»

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ОЦЕНКЕ ДОСТОВЕРНОСТИ
СРЕДСТВ И МЕТОДИК
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

РД ЭО 0488 – 03

ДЛЯ ИНФОРМАЦИИ

Москва, 2003 г.

Введено приказом № 814 от 26.09.03г. с 01.10.03г.

ОДОБРЕНО

Начальник 8 Управления
ГОСАТОМНАДЗОРа России:

Гривизирский В.А.

"15" апреля 2003 г.

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель
Технического директора
концерна «Росэнергоатом»

Копьев Ю.В.

"15" 04 2003 г.

**Методические рекомендации по оценке достоверности средств и методик
неразрушающего контроля**

840.21 М

на 34 листах

От разработчика

Директор ГУП ИЦД НИКИЭТ

Стрелков Б.П.

"05" 03 2003г.

СОГЛАСОВАНО

Руководитель дирекции
материаловедения концерна
«Росэнергоатом»

Ловчев В.Н.

"21" 03 2003г.

Нормоконтролер:

Москва
2003г.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В НАСТОЯЩЕМ ДОКУМЕНТЕ	3
ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	6
1 ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ОЦЕНКУ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ И МЕТОДИК НК	7
2 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ.....	7
3 ПРОЦЕДУРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ.....	10
3.1 Процедура оценки достоверности контроля компании «NORDTEST».....	13
3.2 Процедура оценки достоверности контроля по В.Н. Волченко.....	15
3.3 Процедура оценки достоверности контроля по проекту ГОСТа.....	17
3.4 Процедура оценки достоверности контроля с переменным уровнем дефектности партий объектов контроля по В.Н. Волченко.....	19
3.5 Процедура оценки достоверности контроля по отчету ГУП ИЦД НИКИЭТ...	20
ВЫБОР ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ	21
ИСТОЧНИКИ РАЗРАБОТКИ	22
ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ.....	24
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 (Рекомендуемое). Пример построения дефектограммы для паспорта на испытательный образец.....	25
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 (Рекомендуемое). Иллюстрация сравнения результатов НК с действительной дефектной ситуацией для расчёта показателей достоверности контроля.....	26
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 (Рекомендуемое). Примеры параметров, которые могут существенно влиять на оценку достоверности контроля конкретной системы и методики ультразвукового контроля сварных соединений	27
ПРИЛОЖЕНИЕ 4 (Рекомендуемое). Примеры параметров, которые могут существенно влиять на оценку достоверности контроля конкретной системы и методики вихретокового контроля труб парогенераторов	30
ПРИЛОЖЕНИЕ 5 (Обязательное). Нижний односторонний 95% уровень доверительной вероятности для биномиального распределения	33

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В НАСТОЯЩЕМ ДОКУМЕНТЕ

Величина случайная – переменная, которая может принимать любое значение из заданного множества значений и с которой связано распределение вероятностей (ГОСТ Р 50779.10-2000).

Вероятность – действительное число в интервале от 0 до 1, относящееся к случайному событию (ГОСТ Р 50779.10-2000).

Вероятность доверительная; уровень доверия – величина $(1 - \alpha)$ – вероятность, связанная с доверительным интервалом или со статистически накрывающим интервалом (ГОСТ Р 50779.10-2000).

Воспроизводимость результатов контроля – идентичность результатов контроля, полученных одним методом (по одной методике), на идентичных испытательных образцах, в различных лабораториях или на различных объектах, разными операторами с использованием однотипных систем или средств контроля (ГОСТ Р 50779.10-2000).

Выборка – одна или несколько выборочных единиц, взятых из генеральной совокупности и предназначенных для получения информации о ней (ГОСТ Р 50779.10-2000).

Выявляемость дефектов – вероятность обнаружения дефектов заданного типа и размера при конкретных параметрах контроля (В.Н. Волченко [2]).

Дефект – каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям (ГОСТ 15467-79).

Дефектограмма – условное обозначение контролируемой зоны и дефектов объекта контроля на носителе информации (ГОСТ 23829-85).

Достоверность контроля (диагностирования) – степень объективного соответствия результатов контроля (диагностирования) действительному техническому состоянию объекта (ГОСТ 20911-89).

Испытания – экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата воздействия на него, при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий (ГОСТ 16504-81).

Метод контроля – правила применения определенных принципов и средств контроля (ГОСТ 16504-81).

Метод разрушающего контроля – метод контроля, при котором может быть нарушена пригодность объекта к применению (ГОСТ 16504-81).

Методика контроля – организационно-методический документ, обязательный к выполнению, включающий метод испытаний, средства и условия испытаний, отбор проб, алгоритмы выполнения операций по определению одной или нескольких взаимосвязанных характеристик свойств объекта, формы представления данных и оценивания точности, достоверности результатов, требования техники безопасности и охраны окружающей среды (ГОСТ 16504-81).

Неразрушающий контроль (НК) – контроль качества объектов контроля, который должен не нарушать их пригодность к использованию по назначению (ГОСТ 16504-81).

Объект использования атомной энергии (ОИАЭ) - ядерная установка, радиационный источник, пункт хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, хранилища радиоактивных отходов («Закон об использовании атомной энергии»).

Объект контроля – подвергаемая контролю продукция, процессы ее создания, применения, транспортирования, хранения, технического обслуживания и ремонта, а также соответствующая техническая документация (ГОСТ 16504-81).

Повторяемость результатов контроля – идентичность результатов контроля, полученных одним методом (по одной методике), на идентичных испытательных образцах, в одной лаборатории или на одном объекте, одним оператором, с использованием одной системы или средства контроля и за короткий интервал времени (ГОСТ Р 50779.10-2000).

Предел повторяемости – значение, которое меньше или равно абсолютной разности между двумя результатами проверок, получаемыми в условиях повторяемости, ожидаемое с вероятностью 95% (ГОСТ Р 50779.10-2000)

Распознаваемость дефектов – степень (вероятность) выявления характерных различий в параметрах дефектов разного вида и типа (В.Н. Волченко [2]).

Распределение биномиальное – распределение вероятностей дискретной случайной величины X , принимающей любые целые значения от 0 до n , такое что,

$$Pr [X = x] = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$$

при $x = 0, 1, 2, \dots, n$

и параметрах $n = 1, 2, \dots$ и $0 < p < 1$,

$$\text{где } \binom{n}{x} = \frac{n!}{x!(n-x)!}$$

(ГОСТ Р 50779.10-2000).

Реальный дефект – дефект, который образовался в объекте контроля во время его производства или эксплуатации без какого-либо постороннего вмешательства с целью стимулировать его образование (Отчёт ENIQ №2, EUR 17299 EN).

Реалистичный дефект – дефект, искусственно введенный в испытательный образец, который дает в условиях рассматриваемого метода контроля, те же показания, что и реальный дефект (Отчёт ENIQ №2, EUR 17299 EN).

Система контроля – совокупность средств контроля, исполнителей и определённых объектов контроля, взаимодействующих по правилам, установленным соответствующей нормативной документацией (ГОСТ 16504-81).

Совокупность (генеральная) – множество всех рассматриваемых единиц продукции (ГОСТ Р 50779.10-2000).

Средство контроля – техническое устройство, вещество и/или материал для проведения контроля (ГОСТ 16504-81).

Статистический метод оценки качества продукции – метод оценки качества продукции, при котором значения показателей качества продукции определяют с использованием правил математической статистики (ГОСТ 15467-79).

Уровень дефектности – отношение числа дефектных элементов к общему числу проконтролированных элементов, выраженное в процентах (В.Н. Волченко [2]).

Функциональные испытания – испытания, проводимые с целью определения значений показателей назначения объекта (ГОСТ 16504-81).

Характеристический размер дефекта – размер какого-либо параметра дефекта (например: высота, раскрытие, длина и т.д.), который должен быть обнаружен с использованием конкретного средства и методики контроля (В.Н. Волченко [2]).

Эксплуатационный контроль – контроль, осуществляемый на стадии эксплуатации продукции. Объектами эксплуатационного контроля могут быть эксплуатируемые изделия в процессе эксплуатации (ГОСТ 16504-81).

Эффективность использования продукции (использования средств и методик контроля) – характеристика степени достижения полезных результатов при использовании продукции (средств и методик контроля) в конкретной эксплуатационной ситуации с учетом эксплуатационных затрат (ГОСТ 15467-79).

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В последнее время, с развитием системы неразрушающего контроля как понятия, отражающего совокупность средств, методики и персонала, проводящего контроль [2, 11, 12], появилась тенденция перехода от альтернативной оценки результатов контроля (годен - негоден) к оценке качества контролируемых изделий или компонентов по количественному признаку, с целью измерить его с достаточной точностью.

Именно на этом этапе измерения качества контролируемых изделий или компонентов остро стал вопрос о достоверности контроля или, точнее, о достоверности оценки качества изделий по результатам контроля [2, 11, 12]. Уже само понятие и термин «достоверность» вызывает дискуссию. Разные авторы называют это понятие надежностью, точностью, объективностью [2, 3]. Количественная оценка достоверности неразрушающего контроля была и остается проблемой, поскольку в большинстве нормативных документов этот показатель пока отсутствует. В то же время приближенная оценка достоверности некоторых «традиционно надежных» методов неразрушающего контроля (НК) сварных швов, показала, что в ряде случаев значения совпадений сигналов о дефектах с реальной дефектностью составляют всего лишь 20 - 70%, а иногда и меньше [2, 8, 10].

Учитывая изложенное, в настоящем документе рассмотрены сведения о понятии и оценке достоверности, представленные различными авторами, рассмотрены практические рекомендации по определению достоверности контроля и даны рекомендации к порядку проведения испытаний средств и методик НК с целью определения количественной оценки достоверности контроля.

1 ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ОЦЕНКУ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ И МЕТОДИК НК

При оценке эффективности использования различных средств и методик НК должна учитываться совокупность ряда факторов, определяющих их техническую применимость:

- выявляемость дефектов и достоверность контроля;
- производительность контроля;
- необходимое количество персонала для проведения контроля и подготовительных операций;
- величина подготавливаемой зоны, необходимой для проведения контроля конкретным средством и по конкретной методике контроля;
- воспроизводимость и повторяемость результатов контроля;
- контроледоступность;
- возможность определения характера и размеров дефектов;
- наличие возможности автоматической регистрации дефектов и др.

При прочих равных условиях, с учетом стоимости ремонта проконтролированных объектов контроля, оценка эффективности определяется экономическими показателями. Поэтому определяющим может, является соотношение «безопасность – экономическая эффективность». Однако, учитывая высокую ответственность принятия решения о качестве объектов контроля, относящихся к системам важным для безопасности объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), наиболее существенными из вышеперечисленных факторов являются следующие - выявляемость дефектов и достоверность контроля.

2 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ

Оценка выявляемости дефектов и достоверности контроля с использованием конкретных средств и методик контроля производится по результатам испытаний, которые включают в себя проведение НК образцов объектов контроля.

Анализ результатов испытаний на выявляемость дефектов и достоверность контроля выполняется с использованием стандартных статистических методов или детерминистических методов, широко описанных в соответствующей литературе, и включенных во многие статистические пакеты компьютерных программ. Испытания с

целью оценки выявляемости дефектов и достоверности средств и методик контроля могут проводиться как в рамках приемочных испытаний опытных образцов систем и средств НК, проводящихся в соответствии с требованиями соответствующих документов (ГОСТ Р 15.201-2000 [17], ОСТ 9518-2000 [25]), так и до них.

Показатели выявляемости дефектов и достоверности контроля определяются по результатам контроля испытательных образцов с моделями дефектов (реалистичными дефектами), характеристики которых соответствуют значениям характеристик реальных дефектов, подлежащих обнаружению в соответствии с требованиями рассматриваемой методики НК.

Испытательные образцы должны быть представительными с точки зрения соответствия материала, размеров, конфигурации сварных швов (если методика предназначена для их контроля) и геометрии объектов контроля. Должна обеспечиваться возможность установки испытательных образцов в стенды, на которых будут проходить испытания средств НК. По возможности, моделируемые дефекты должны вноситься при помощи тех же механизмов повреждения, которые имеют место в объекте контроля. При невозможности изготовления испытательных образцов с моделями дефектов, рекомендуется использовать части реальных объектов контроля с реальными дефектами, если действительная дефектная ситуация в них известна до проведения испытаний или может быть установлена последующими разрушающими испытаниями.

Месторасположение и выявляемость моделей дефектов в испытательных образцах уточняется при проведении контроля специалистами 5-6 разряда по Единому Тарифно-квалификационному справочнику (ЕТКС) или III уровня квалификации по ГОСТ 30489 [23] по соответствующему виду НК. Рекомендуется проведение 2-х или 3-х методов НК, основанных на различной физической природе для уточнения местоположения и размеров дефектов. По результатам контроля образцов и определению месторасположения моделей дефектов заполняются обобщенные дефектограммы, которые включаются в паспорта испытательных образцов. Любые непреднамеренные дефекты следует либо удалить или отремонтировать, либо зафиксировать в обобщенной дефектограмме испытательного образца для использования при оценке испытываемых средств и методик НК. В зависимости от типа объекта контроля, измеряемых характеристик моделей дефектов и длины участка подлежащего контролю для конкретного типа объекта контроля испытательный образец разбивается на интервалы. Пример составления дефектограммы испытательного образца с заданием действительной дефектной ситуации приведен в Приложении 1. При применении ряда

методов оценки выявляемости дефектов и достоверности контроля, указанных в разделе 3 настоящего документа, в паспорте на испытательный образец должен указываться также и характеристический или действительный размер модели дефекта и число градаций или диапазонов его изменения.

В процессе испытаний операторы выполняют НК в соответствии с требованиями методики НК. Операторы должны иметь такую же квалификацию, которая установлена требованиями методики НК. По рекомендациям ряда документов [2, 14, 16], количество операторов должно быть не менее пяти. Порядок подачи испытательных образцов на контроль выполняется случайным образом в соответствии с рекомендациями ГОСТ 18321 [20]. Результаты НК фиксируются операторами в документе контроля в соответствии с требованиями методики НК, но в документе контроля должна быть приведена также информация, необходимая и достаточная для сопоставления результатов контроля с паспортом испытательного образца. Рекомендуемое количество испытательных образцов оговаривается конкретно для каждого метода оценки выявляемости дефектов и достоверности контроля, соответствующие рекомендации представлены в разделе 3 настоящего документа.

Операторы выполняют контроль в режиме «слепых» испытаний. Под «слепыми» понимаются испытания, которые проводятся операторами, не знающими местоположение и характеристики дефектов в испытательных образцах. При «слепых» испытаниях проводятся функциональные испытания системы НК (аппаратура, методика НК и персонал, аттестованный для контроля конкретных объектов, по конкретной методике НК). При этом должны быть приняты меры, чтобы информация о месте и размерах дефектов была операторам действительно недоступна.

При сравнении результатов НК с данными, приведенными в паспортах испытательных образцов, используется способ «общей оценки» или способ «интервалов». При способе «общей оценки» производится сравнение обнаруженных моделей дефектов для всего образца, при способе интервалов - для соответствующего участка образца, при этом, если модель дефекта оказывается расположенной в нескольких интервалах, то его часть в отдельном интервале будет рассматриваться как отдельный дефект, но с учетом результата обнаружения в соседнем интервале. Пример интерпретации результатов НК образца сварного шва по «способу интервалов» приведен в Приложении 2.

Выбор процедур и показателей достоверности, определяемых в результате испытаний системы НК, должен производиться разработчиком методики НК по согласованию с заказчиком или экспертным центром, выполняющим оценку (аттестацию или сертификацию) системы НК (аппаратура, методика НК, персонал,

аттестованный для контроля по конкретной методике НК), с учетом назначения методики НК.

По рекомендациям ряда работ [2, 9, 11-13], перед проведением испытаний на оценку достоверности контроля должен быть проведен анализ целого ряда параметров контроля, влияющих на достоверность контроля, и которые должны быть разделены на существенные и несущественные. В частности при выборе моделей дефектов для испытательных образцов размеры дефектов, их тип и местоположение будут являться параметрами, существенно влияющими на достоверность контроля. Условно все эти параметры разделены на три группы:

- **исходная группа** (характеристики объекта контроля, характеристики дефектов, подлежащих выявлению и измерению, доступ, условия проведения контроля и т.д.);
- **процедурная группа** (метод и принцип контроля, метод калибровки и настройки, требования к персоналу и т.д.);
- **средства контроля** (технические данные аппаратуры контроля, вспомогательные средства и т.д.).

В Приложениях 3 и 4 приводятся примеры параметров, которые могут оказывать существенное влияние на достоверность контроля в зависимости от конкретной методики для ультразвукового контроля сварных швов и вихретокового контроля труб парогенератора по рекомендациям, изложенным в материалах ENIQ (Европейская сеть по аттестации эксплуатационного контроля для АЭС) [13]. Перед проведением испытаний все существенные параметры для конкретной методики контроля должны быть четко формализованы и зафиксированы и не должны произвольно меняться во время проведения испытаний или во время сбора и обработки результатов контроля. В противном случае оценка достоверности контроля по конкретной методике окажется необъективной.

3 ПРОЦЕДУРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ

В настоящее время в действующей нормативной документации отсутствуют единые определения терминов «выявляемость дефектов» и «достоверность контроля». В тоже время, в технической литературе общего назначения эти понятия есть, но при этом существуют различные их определения и методики расчета.

Наиболее точно определения понятий выявляемости и достоверности даны В.Н. Волченко [2]. Под выявляемостью дефектов следует понимать вероятность

обнаружения (фиксации) дефектов заданного типа и размера при конкретных параметрах контроля, определяемых исследуемой методикой. Выявляемость можно также рассматривать как достоверность контроля без учета перебраковки (α). Оценка выявляемости, как и достоверности может быть точечной и интервальной. Формула для расчета точечной выявляемости может быть представлена следующим образом:

$$V = \frac{n_n}{n_{э.н}} \quad (1)$$

где,

V – выявляемость дефектов заданного типа и размеров;

n_n – событие, состоящее в обнаружении (фиксации) заданных дефектов при контроле по исследуемой методике;

$n_{э.н}$ – сумма негодных элементов (или дефектов в испытательном образце), определенных эталонным методом и занесенных в паспорт испытательного образца.

В тех случаях, когда исходный метод контроля дает прямую информацию о качестве объекта контроля, его называют эталонным методом [2, 8, 9, 12]. Для оценки дефектности наилучшим эталонным методом служит разрушающий метод контроля (вскрытие несплошностей) с последующей металлографией. Следует отметить, что выбор разрушающего метода в качестве исходного, не всегда реализуем на практике. Поэтому за эталонный метод контроля может быть принят тот же метод, что и пробный, но при другой настройке и чувствительности аппаратуры, другой ее комплектации, изменённой методике контроля и т.п.

Интервальная выявляемость – это вероятность обнаружения дефектов при гарантированной точности или с заданной допустимой ошибкой.

Оценка интервальной выявляемости может осуществляться по двум вариантам. По первому варианту необходимо получить функцию выявляемости $W_i(x)$ – кривую, показывающую вероятность обнаружения исследуемыми средством и методикой контроля дефектов заданных размеров x_i . В литературе встречается так же функция $L_i(x)$ обратная функции выявляемости, называемая оперативной характеристикой метода контроля - ОХМК:

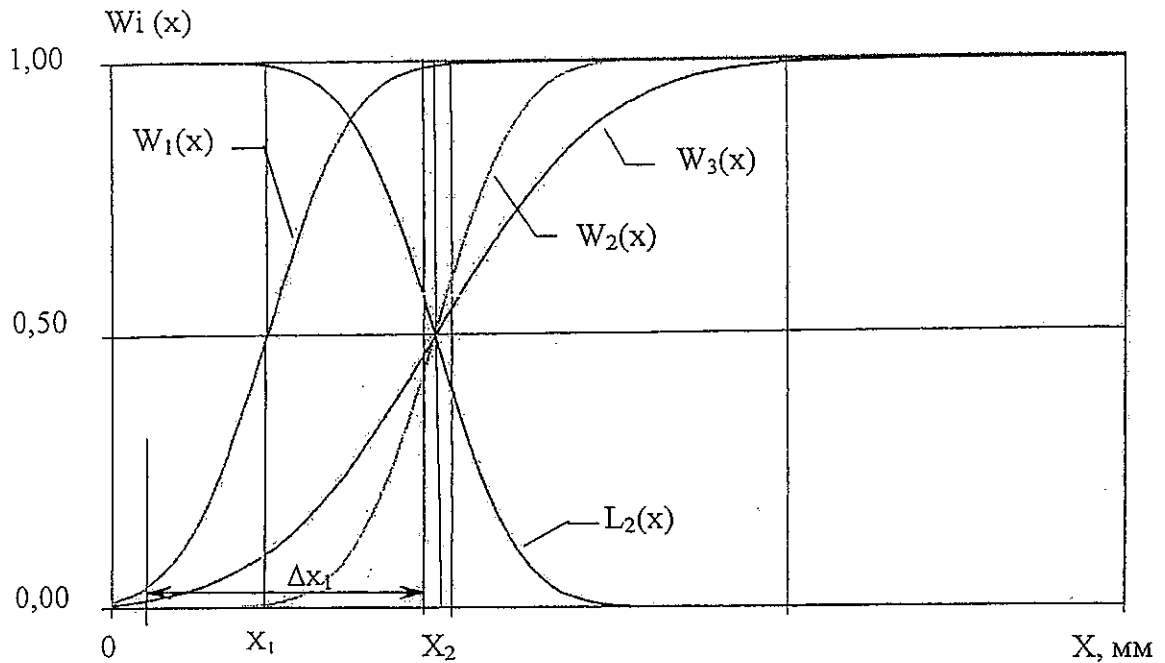


Рисунок 1. Характер кривых выявляемости $W_i(x) = W(x)$ для дефектов заданного размера x_i

- $W_1(x)$ – кривая выявляемости для размера дефекта x_1
- Δx_1 – величина размаха дефекта для размера x_1
- $W_2(x)$ – кривая выявляемости для размера дефекта x_2
- $L_2(x)$ – кривая оперативной характеристики контроля для размера x_2
- $W_3(x)$ – кривая выявляемости для размера дефекта x_2 по методике контроля отличной от той, для которой построена кривая $W_2(x)$

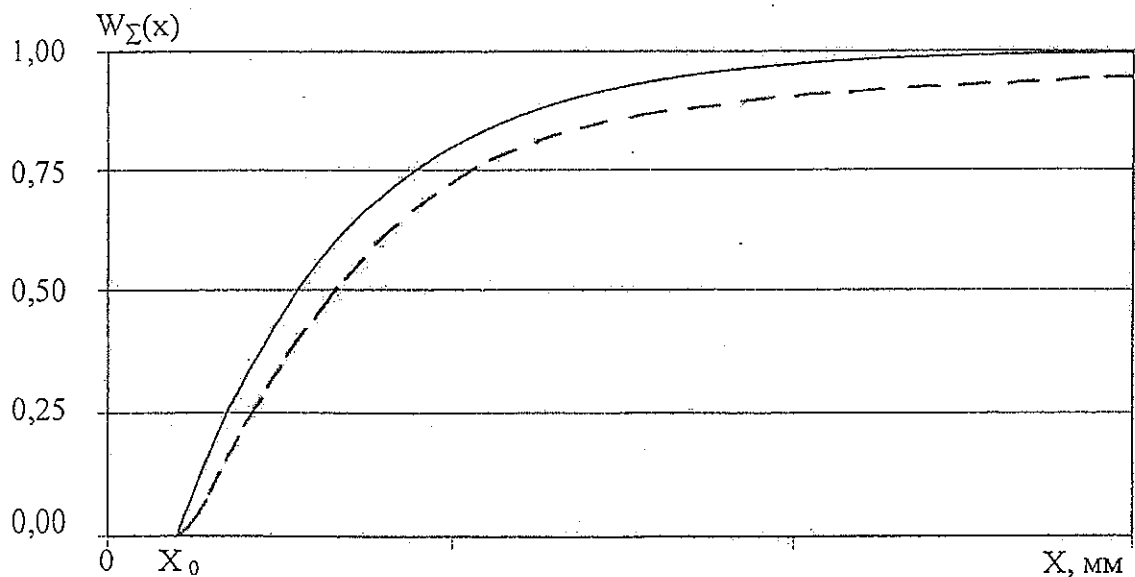


Рисунок 2. Кривая суммарной выявляемости дефектов различного размера

- $W_\Sigma(x)$ – суммарная выявляемость дефектов
- X – характеристический размер дефекта
- X_0 – размер наименьшего выявления дефекта
- — кривая средних значений суммарной выявляемости
- — нижний 95% уровень доверительной вероятности

$$L_i(x) = 1 - W_i(x) \quad (2)$$

Форма кривых $W_i(x)$ для дефектов заданного размера имеет вид кумулятивной функции распределения (рисунок 1). Величина размаха Δx связана с размерами дефекта и чувствительностью контроля. В идеальном случае кривая $W_i(x)$ может быть найдена как интегральная функция $F_i(x)$ для кривой ошибок, являющейся плотностью нормального распределения. При учете всех обнаруживаемых дефектов независимо от их размера кривая их суммарной выявляемости $W_\Sigma(x)$ будет иметь вид восходящей экспоненты (рисунок 2). При этом граничный размер наименьшего выявляемого дефекта x_0 входит в показатель экспоненты и зависит от чувствительности метода (методики) контроля.

Точность оценки выявляемости дефектов зависит от количества измерений и тем выше, чем больше количество измерений. Практически достаточной можно считать выборку в 20 – 30 дефектов для конкретного типа и характеристического размера дефекта.

3.1 Процедура оценки достоверности контроля компании «NORDTEST»

Процедура оценки достоверности контроля, описанная в отчете компании «NORDTEST» [8], построена на подходе аналогичном изложенному выше. Примененный при этом термин «достоверность» соответствует не достоверности контроля в нашем понимании, а выявляемости дефектов. По результатам контроля проводится сравнение по одному из способов сравнений для определения точечной выявляемости дефектов:

- прямое сравнение результатов контроля по испытываемой методике с паспортными данными на испытательные образцы;
- абсолютное сравнение результатов контроля по испытываемой методике с информацией о дефектах, полученной разрушающими испытаниями объектов контроля или испытательных образцов;
- сравнение, аналогичное предыдущему, но с использованием кривых вероятности выявления дефектов (кривые PoD (Probability of Detection) – вероятность выявления).

3.1.1 Для прямого сравнения дефекты, указанные в паспорте испытательного образца, являются абсолютными данными. Теоретически каждый дефект должен быть выявлен при помощи испытываемых средств и методики НК. Однако значение вероятности выявления дефектов $PoD = 1$, никогда не может быть достигнуто на любом

уровне доверительной вероятности, так как это требует неограниченного числа дефектов. Принимая во внимание, что эталонный метод НК (использованный при паспортизации образцов) может иметь ограниченные возможности по выявлению дефектов, следует признать, что вероятности выявления дефектов PoD меньше чем 1 возможны при вычислении уровня доверительной вероятности, когда выявлены все дефекты из всех.

3.1.2 Абсолютное сравнение основано на информации о действительно содержащихся дефектах в объектах контроля (или в испытательных образцах), полученной по результатам проведения разрушающих испытаний или другими физическими методами. Для реальных объектов контроля, как правило, подобные разрушающие испытания проводятся редко и только после их удаления из оборудования или трубопровода какой-либо из систем ОИАЭ. Вычисление значения вероятности выявления дефектов производится по формуле (1), указанной выше, где в качестве эталонного метода принимаются разрушающие испытания.

3.1.3 Преимущество использования кривых вероятности выявления PoD для сравнения методов НК связано с использованием того факта, что между значениями PoD для различных по размеру групп дефектов может быть корреляция. Это облегчает сравнение значений PoD и позволят использовать меньшее число дефектов при испытаниях, чем при сравнении групп дефектов, которые оценивались отдельно.

Для построения кривых вероятности выявления дефектов PoD используются аналитические способы и статистические методы оценки, описанные в литературе [4-7] (краткое описание одного из способов представлено в разделе 3.3 настоящего документа).

После определения точечной выявляемости дефектов с учетом объема выборки в соответствии с биномиальным распределением дефектов в выборке определяется интервальная выявляемость (нижняя граница доверительного интервала) с надежностью 0,95. При большом статистическом материале биномиальное распределение, как известно [2-8], приближается к нормальному закону распределения.

Для практического определения уровней доверительной вероятности во время оценки «достоверности» (выявляемости) по методике, изложенной в отчете компании «NORDTEST» [8], могут быть использованы значения, взятые из статистических таблиц этого отчета, которые приведены в Приложении 5 настоящего документа.

Существенным недостатком оценки эффективности системы НК по выявляемости дефектов является отсутствие учета перебраковки, поскольку ремонт

ложно забракованного объекта контроля может привести к значительным материальным затратам и переобучению персонала.

3.2 Процедура оценки достоверности контроля по В.Н. Волченко

3.2.1 Промежуточный вариант между выявляемостью дефектов и достоверностью контроля, учитывающий перебраковку при оценке выявляемости, предложен В.Н. Волченко [2]. В формулу расчета, помимо общего количества дефектов, выявленных эталонным методом и количества обнаруженных дефектов по исследуемой методике, входит перебраковка:

$$V = \frac{p_n}{p_{э.н} + p_{пер}} \quad (3)$$

где:

V – выявляемость дефектов заданного типа и размеров;

p_n – событие, состоящее в обнаружении (фиксации) заданных дефектов при контроле по исследуемой методике;

$p_{пер}$ – перебраковка, негодные только по результатам контроля по исследуемой методике;

$p_{э.н}$ – сумма негодных элементов, определенных эталонным методом.

Однако выявляемость дефектов, рассчитанная по формуле (3) оказывается зависимой от уровня дефектности объектов контроля, что снижает эффективность применения этого показателя для общей оценки эффективности. На рисунке 3 приведена зависимость условной выявляемости дефектов от уровня дефектности объектов контроля. При увеличении дефектности влияние перебраковки снижается, и при 100% дефектности достигает значения точечной выявляемости дефектов, рассчитанной в соответствии с формулой (1). Более приемлемой является оценка эффективности средств и методик контроля по достоверности контроля.

3.2.2 Под достоверностью контроля принято понимать вероятность принятия безошибочных решений при оценке результатов контроля. Оценка достоверности контроля может быть точечной и интервальной. При расчете достоверности контроля, так же как и при расчете выявляемости дефектов, используются различные подходы.

Достоверность контроля с использованием конкретных средств и методики контроля связана с конкретными нормами оценки качества, чувствительностью, другими параметрами контроля и значением дефектности объектов контроля.

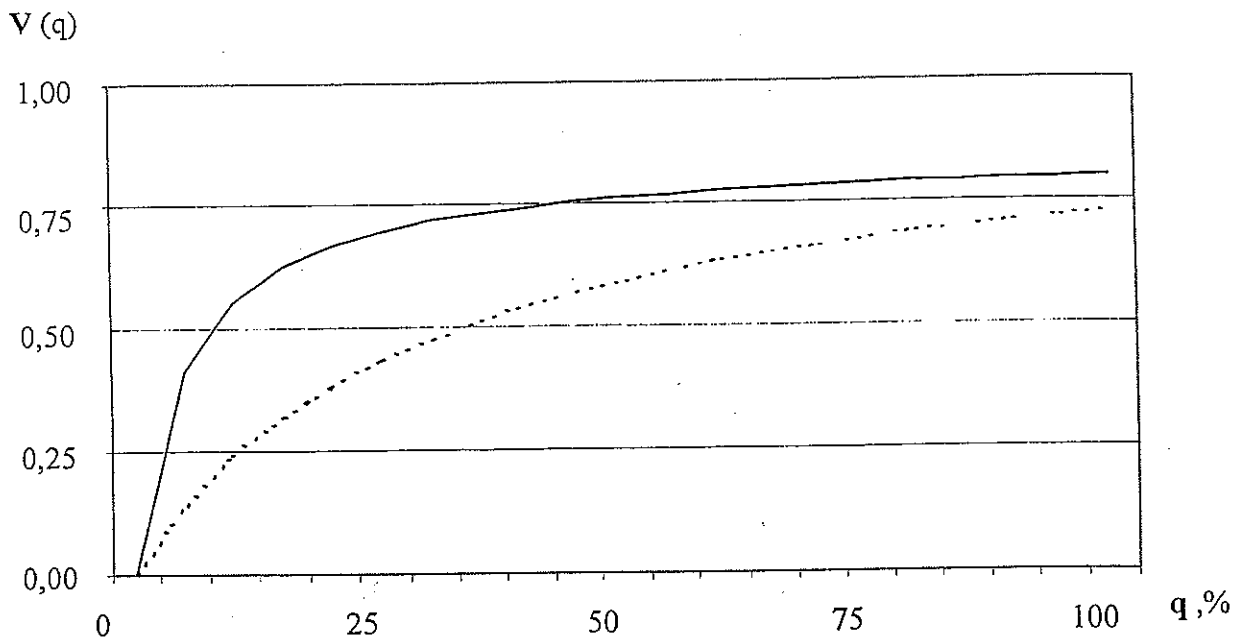


Рисунок 3. Изменение выявляемости, определенной по формуле (3) в зависимости от дефектности объектов контроля (сварных соединений) в конкретной выборке.

$V(q)$ – выявляемость; q – дефектность.

— контроль по методике с вероятностью перебраковки $\alpha = 0,05$;

..... контроль по методике с вероятностью перебраковки $\alpha = 0,15$.

Достоверность контроля может быть определена непосредственно по формуле, соответствующей данному ранее определению:

$$D = \frac{n_{п.о.}}{n_{\Sigma}} = \frac{n_{\Sigma} - n_{пер} - n_{пр}}{n_{\Sigma}} \quad (4)$$

где:

D – достоверность контроля;

$n_{пер}$ – перебраковка, негодные только по результатам контроля по исследуемой методике;

$n_{пр}$ – пропуск, признано годными по результатам контроля по исследуемой методике из числа негодных элементов, определенных эталонным методом;

$n_{п.о.}$ – сумма правильно определенных элементов;

n_{Σ} – сумма всех элементов.

Достоверность контроля, определенная по приведенной формуле, верна для конкретной репрезентативной выборки. При изменении значения дефектности и/или

чувствительности контроля, значения достоверности различных методик контроля также изменятся, и не будут соответствовать действительности.

3.3 Процедура оценки достоверности контроля по проекту ГОСТа

Несколько иной подход предложен в проекте ГОСТа [16]. Этот документ предусматривает выбор методики расчета достоверности контроля в зависимости от назначения методики неразрушающего контроля и убытков от пропуска дефектов и перебраковки.

Для объектов, возникновение аварийной ситуации в которых сопровождается убытками, несопоставимыми с убытками от перебраковки в качестве показателя достоверности контроля применяются методы **POD** или **СОХ**. Указанные методы предусматривают построение графиков зависимости вероятностей правильной оценки P_{11} и перебраковки P_{01} от характеристического размера дефекта или различных пороговых значений чувствительности средств и методик контроля.

Метод **POD** - оперативная характеристика выявляемости дефектов $P_{11}=P_{11}(X)$,

где:

$$P_{11} = \frac{n_{по}}{n_{\Sigma}} = \frac{n_{\Sigma} - n_{пер} - n_{пр}}{n_{\Sigma}} \quad \text{-- вероятность правильного обнаружения;}$$

$$P_{10} = \beta = \frac{n_{пр}}{n_{э.г.}} \quad \text{-- вероятность пропуска;}$$

$$P_{01} = \alpha = \frac{n_{пер}}{n_{э.п.}} \quad \text{-- вероятность перебраковки;}$$

X - характеристический размер дефекта (например, высота).

Метод **СОХ** - сравнительная операционная характеристика $P_{11}=P_{11}(P_{01})$.

В соответствии с проектом ГОСТа [16] для контроля объектов, в которых убытки, связанные с недображкой и перебражкой соизмеримы между собой, в качестве показателя достоверности контроля применяется метод **СОХ**:

$$D = 1 - (P_{01} + P_{10}) = 1 - \alpha - \beta \quad (5)$$

где:

D - символизирующая достоверность контроля;

α – перебраковка, негодные только по результатам контроля по исследуемой методике;

β – пропуск, признано годными по результатам контроля по исследуемой методике из числа негодных элементов, определенных эталонным методом.

При применении метода **СОХ** проводится многократный контроль при нескольких значениях чувствительности (4-6 значений) или при контроле фиксируется значение главной измеряемой характеристики, которое может измеряться (например, амплитуда при УЗК) или определяться субъективно оператором (качество обнаружения модели дефекта при радиографическом контроле).

При оценке по методу **СОХ** для каждого порогового значения определяется число совпадающих интервалов, содержащих модели дефектов (дефекты), и количество интервалов, отмеченных по результатам НК как дефектные, но не содержащие модели дефектов (дефекты), и подсчитываются вероятности правильного обнаружения дефектов и перебраковки (P_{11} и P_{01} соответственно). Результаты расчёта фиксируются в виде, указанном в Таблице 1.

Таблица 1

Представление результатов при применении метода СОХ

Пороговое значение	P_{01}	P_{11}

При применении метода **РОД** в паспорте испытательного образца указывается также характеристический или действительный размер модели дефекта. Число градаций размера должно быть не менее 5. Число моделей дефектов (дефектов) каждого размера не менее 10.

При использовании этого метода определяется число совпадающих интервалов, содержащих модели дефектов (дефекты), и определяются вероятности правильного обнаружения для каждой градации размера модели дефекта (дефекта). Результаты расчёта фиксируются в виде, указанном в Таблице 2.

Таблица 2

Представление результатов при применении РОД-метода

Размер (характеристический размер) модели дефекта	P_{11}

Для построения кривой по методу СОХ экспериментальные значения вероятностей P_{11} и P_{01} , полученные при различных пороговых значениях, преобразуются в координаты $z_-(P_{11})$ и $z_-(P_{01})$ в соответствии с соотношением

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx, \quad (6)$$

которое является интегралом «единичного нормального» распределения. Значения z находят из таблиц [4, 7], решается система уравнений, число которых равно числу строчек в Таблице 1, и определяются параметры α и β прямой $z_-(P_{11}) = \alpha + \beta z_-(P_{01})$. Затем каждая точка прямой преобразуется в координаты P_{11} и P_{01} и строится график $P_{11} = P_{11}(P_{01})$.

Для построения кривой по методу POD экспериментальные значения аппроксимируются функцией:

$$\ln \left[\frac{P_{11}(X)}{1 - P_{11}(X)} \right] = \alpha + \beta \ln(X) \quad (7)$$

где:

α и β - некоторые коэффициенты,

X - размер (характеристический размер) модели дефекта (дефекта),

для чего для каждого размера записывается выражение (7), и полученная система линейных уравнений, число которых равно числу строчек в таблице 2, решается способом наименьших квадратов относительно двух неизвестных α и β , и строится график $P_{11} = P_{11}(X)$ в соответствии с выражением (7):

$$P_{11}(X) = \frac{\exp(\alpha + \beta \ln(X))}{1 + \exp(\alpha + \beta \ln(X))} \quad (8)$$

По выражению (8) определяются показатели достоверности контроля. Однако, как и в предыдущем случае, расчет верен только для конкретной выборки и не может быть перенесен на изделия (объекты контроля) с другим уровнем дефектности.

3.4 Процедура оценки достоверности контроля с переменным уровнем дефектности партий объектов контроля по В.Н. Волченко

Для оценки достоверности контроля для партий объектов контроля с переменным уровнем дефектности В.Н. Волченко [2] предложено использовать

показатели достоверности контроля, учитывающие уровень дефектности партии объектов контроля. В этом случае достоверность контроля определяется по формуле:

$$D_N = p - q D \quad (9)$$

где:

D_N – достоверность контроля партии изделий с заданным уровнем дефектности;

D – достоверность метода, фактически определенная как выявляемость дефектов по формуле (3);

q – доля дефектных изделий в партии;

p – доля годных изделий в партии.

Данная формула, учитывая уровень дефектности партии объектов контроля, тем не менее, не совсем корректно учитывает перебраковку.

3.5 Процедура оценки достоверности контроля по отчету ГУП ИЦД НИКИЭТ

Авторами отчета ГУП ИЦД НИКИЭТ (840.45 От. [10]) предложена методика расчета достоверности контроля, лишенная этого недостатка. Формула для расчета достоверности контроля выглядит следующим образом:

$$D_N = 1 - p \alpha - q \beta \quad (10)$$

где:

D_N – достоверность контроля партии объектов контроля с заданным уровнем дефектности;

q – доля дефектных объектов в партии;

p – доля годных объектов в партии;

α – перебраковка, негодные только по результатам контроля по исследуемой методике;

β – пропуск, признано годными по результатам контроля по исследуемой методике из числа негодных объектов, определенных эталонным методом.

При уровне дефектности 100% формула (10) идентична формуле (9).

Как показывают расчеты, выполненные в отчете 840.45 От. [10] по приведенным выше формулам, при низком уровне дефектности эффективнее средства и методики контроля, имеющие меньшую перебраковку, а при высоком уровне дефектности выше достоверность средств и методик контроля, имеющих меньший пропуск, т.е. приоритет отдается выявляемости.

ВЫБОР ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ

Анализ процедур определения показателей достоверности контроля, по различным процедурам, описанным в настоящем документе, позволяет сделать следующие выводы:

1. Для объектов контроля систем важных для безопасности ОИАЭ, в которых дефекты независимо от их характера и размера не допускаются, оценку эффективности средств и методик НК рекомендуется проводить по одной из следующих методик:
 - по методике определения достоверности контроля, изложенной в разделе 3.6 (по формуле 9);
 - по методике определения выявляемости дефектов, изложенной в разделе 3.1 (выявляемость по «NORDTEST»), с использованием данных статистических таблиц или построением графиков зависимости выявляемости дефектов (**POD**);
 - по методике определения оперативной характеристики выявляемости дефектов, изложенной в разделе 3.3 (**POD** метод).
2. Оценка эффективности средств и методик неразрушающего контроля элементов ОИАЭ, в которых могут допускаться дефекты в зависимости от их характера и размера, рекомендуется проводить по достоверности контроля, т.е. с учетом перебраковки по одной из следующих методик:
 - по методике определения достоверности контроля, изложенной в разделе 3.5 (по формуле 10);
 - по методике определения сравнительной операционной характеристики контроля, изложенной в разделе 3.3 (**COX** метод).


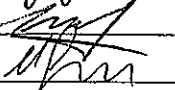
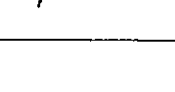
ИСТОЧНИКИ РАЗРАБОТКИ

1. Федеральный закон РФ «Об использовании атомной энергии» № 28-ФЗ от 10 февраля 1997г. (Российская газета, №30, 13.02.97).
2. Волченко В.Н. Вероятность и достоверность оценки качества металлопродукции. М., издательство «Металлургия», 1979г.
3. Гурвич А.К. Комплексная дефектоскопия. М., МДНТП, 1975г.
4. Г.Корн, Т.Корн (под общей редакцией И.Г. Арамановича). Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М., издательство «Наука», 1978г.
5. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М., издательство «Наука», 1968г.
6. Яноши Л. Теория и практика обработки результатов измерений. Перевод с английского. М., издательство «Мир», 1968г.
7. Плескунин В.И., Воронина Е.Д. Теоретические основы организации и анализа выборочных данных в эксперименте. Л., издательство «Ленинградского университета», 1979г.
8. Nordtest report. NT TECHN REPORT 300. GUIDELINES FOR REPLACING NDE TECHNIQUES WITH ONE ANOTHER. ISSN: 00283-7234. Distributed by: NORDTEST, P.O. Box 116, FIN-02151 ESPOO, Finland, 1995-10.
9. European-American Workshop «Determination of Reliability and Validation Methods of NDE», Berlin-June 18-20, 1997. Role of statistical test design in measuring NDE reliability. C. Annis, West Palm Beach (USA).
10. Отчет 840.45 От. Сравнительные испытания методик ультразвукового контроля сварных соединений трубопроводов Ø 325 мм из стали марки 08X18H10T. М., ИЦД НИКИЭТ, 2000г.
11. Документ МАГАТЭ IAEA-EBP-WWER-11. Методология для аттестации систем эксплуатационного контроля для АЭС с реакторами ВВЭР. Март 1998.
12. Отчет ENIQ №2, EUR EN 17299, опубликованный Европейской комиссией, Брюссель-Люксембург, 1997. Европейская методика аттестации неразрушающего контроля.
13. ENIQ Report nr.6, EUR EN 18101. Published by the EUROPEAN COMISSION, Brussels-Luxemburg, 1998. ENIQ RECOMMENDED PRACTICE 1: INFLUENTIAL/ESSENTIAL PARAMETERS.
14. ENIQ Report nr.14, EUR EN 18686. Published by the EUROPEAN COMISSION,

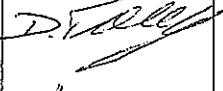
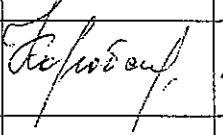
- Brussels-Luxemburg, 1998. ENIQ RECOMMENDED PRACTICE 5: GUIDELINES FOR THE DESIGN OF TEST PIECES AND CONDUCT OF TEST PIECE TRIALS.
15. Требования к порядку разработки и проведения испытаний систем и средств эксплуатационного неразрушающего контроля, поставляемых на объекты использования атомной энергии. Первая редакция. Госатомнадзор России, 2002г.
 16. Проект ГОСТа. Контроль неразрушающий. Порядок разработки и аттестации методик неразрушающего контроля. ГОССТАНДАРТ России, 2001г.
 17. ГОСТ Р15.201-2000. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство.
 18. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения.
 19. ГОСТ 16504-81. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.
 20. ГОСТ 18321-73. Статистический контроль качества. Методы случайного отбора выборок штучной продукции.
 21. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения.
 22. ГОСТ 23829-85. Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения.
 23. ГОСТ 30489-97. Квалификация и сертификация контролеров в области неразрушающего контроля. Общие требования.
 24. ГОСТ Р 50779.10-2000. Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
 25. ОСТ 9518-2001. Порядок проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Основные положения.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

ДОКУМЕНТ ПОДГОТОВИЛИ:

Организация	Должность исполнителя	Ф.И.О.	Подпись	Дата
ИЦД НИКИЭТ	начальник лаборатории	Арефьев А.А.		05.03.03
ИЦД НИКИЭТ	начальник лаборатории	Щедрин И.Ф.		05.03.03
ИЦД НИКИЭТ	инженер	Иванова И.Б.		5.03.03

СОГЛАСОВАНО:

Организация	Должность исполнителя	Ф.И.О.	Подпись	Дата
Концерн «Росэнергоатом»	Заместитель руководителя Дирекции материаловедения	Гуцев Д.Ф.		14.04.03
8-е Управление ГАН РФ	Главный государственный инспектор	Коробская И.Н.		15.04.03

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
(Рекомендуемое)

Пример построения дефектограммы для паспорта на испытательный образец

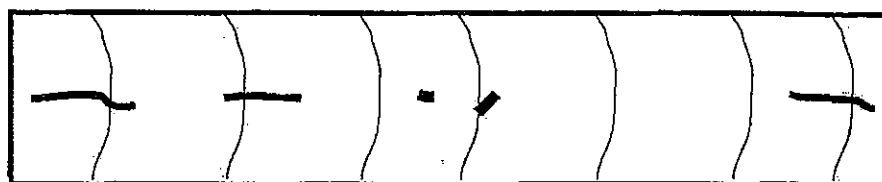
Номер интервала	1	2	3				i				m
1											
2											
3		•	•								
		•	•								
j							•				
						•	•				
						•	•				
n											

i и j – номера интервала в двух направлениях

Рисунок 1 Приложения 1. Пример построения дефектограммы для паспорта на испытательный образец.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(Рекомендуемое)

Иллюстрация сравнения результатов НК с действительной дефектной ситуацией для расчёта показателей достоверности контроля.



Номер интервала	1	2	3	4	5	6	7	9	i	16	17	18	19	20
Действительная дефектная ситуация	x	x		x	x		x	x					x	x
Результаты НК	+		+	-			+			+	+			
Оценка результатов НК	О		П	О			О	Н		П	П			Н

О – дефект обнаружен;
П – пропуск;
Н - дефект не обнаружен.

Рисунок 1 Приложения 2. Иллюстрация сравнения результатов НК с действительной дефектной ситуацией для расчёта показателей достоверности контроля.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3 (Рекомендуемое)

Примеры параметров, которые могут существенно влиять на оценку достоверности контроля при использовании конкретной системы и методики ультразвукового контроля сварных соединений
(по отчету ENIQ Report nr.6, EUR EN 18101 [11])

1. Исходная группа

1.1 Контролируемый компонент (объект контроля):

- ◆ геометрия компонента
- ◆ возможности доступа (включая радиацию и т.д.)
- ◆ состояние поверхности
- ◆ конфигурация усиления сварного шва
- ◆ конфигурация корня сварного шва
- ◆ толщина стенки трубы
- ◆ диаметр трубы
- ◆ форма разделки кромок под сварку
- ◆ размеры кромок
- ◆ смещение кромок сварного шва
- ◆ макроструктура основного материала
- ◆ макроструктура сварного шва
- ◆ наличие наплавки (в случае сварки разнородных металлов)
- ◆ температура во время контроля

1.2 Дефекты:

- ◆ тип дефекта
- ◆ механизм деградации (дефектообразования)
- ◆ форма дефекта
- ◆ поверхностный, подповерхностный или висячий дефект
- ◆ расположение дефекта по толщине контролируемого компонента
- ◆ расположение дефекта вдоль оси компонента
- ◆ угол наклона дефекта относительно вертикальной оси сварного шва
- ◆ угол наклона дефекта относительно горизонтальной оси сварного шва
- ◆ шероховатость/разветвление дефекта
- ◆ наличие остаточных механических напряжений

2. Процедурная группа

- ◆ тип волны
- ◆ тип преобразователя
- ◆ размеры преобразователя
- ◆ частота прозвучивания
- ◆ угол ввода луча
- ◆ длина импульса прозвучивания
- ◆ фокусное расстояние (для отдельно-совмещённых преобразователей)
- ◆ чувствительность сканирования и записи (уровень фиксации)
- ◆ шаг сканирования
- ◆ скорость сканирования

- ◆ требуемая квалификация персонала
- ◆ метод определения размеров
- ◆ критерии идентификации дефектов
- ◆ схема принятия решения (анализа)

3. Группа оборудования

Параметры группы оборудования НК классифицированы по следующим категориям:

- ◆ оборудование импульсного генератора: излучатель/приёмник и оборудование сбора данных
- ◆ кабель
- ◆ преобразователи
- ◆ сканер

3.1 Оборудование генератора и приёмника, используемых при сборе данных

- ◆ вертикальная линейность (развертка по вертикали)
- ◆ горизонтальная линейность (развертка по горизонтали)
- ◆ разрешение АЦП (аналогового/цифрового преобразователя)
- ◆ частота повторения зондирующих импульсов
- ◆ коэффициент усреднения
- ◆ точки сбора информации с изображения типа А
- ◆ амплитуда импульса излучателя
- ◆ ширина импульса излучателя
- ◆ время затухания импульса излучателя
- ◆ время нарастания импульса излучателя
- ◆ ширина полосы приёмника
- ◆ динамический диапазон приемника
- ◆ полосовой фильтр приёмника
- ◆ время развертки при контроле по эхо-импульсному методу
- ◆ время развертки при контроле по методу TOFD
- ◆ значения временных стробов

Для всех этих параметров должны быть четко установлены допускаемые пределы изменения во время проведения испытаний системы и методики контроля на предмет достоверности результатов контроля.

3.2 Кабель:

- ◆ длина кабеля
- ◆ импеданс

3.3 Преобразователь:

- ◆ частота преобразователя
- ◆ индекс преобразователя (стрела)
- ◆ угол между направлением ввода луча и передней гранью преобразователя
- ◆ разброс угла между направлением ввода луча и передней гранью преобразователя
- ◆ фокусные характеристики для раздельно-совмещенных преобразователей
- ◆ ширина полосы

Параметры преобразователя будут относиться к категории основных параметров, которые должны быть установлены в пределах допуска. Этот аспект важен с точки зрения возможной замены номинально тех же самых преобразователей.

Важно отметить, что существуют родственные параметры, которые по различным причинам могут одновременно относиться и к процедурной группе, и к группе оборудования.

3.4 Сканер:

- ◆ линейность сканера
- ◆ повторяемость
- ◆ заключение
- ◆ шаг сканирования
- ◆ скорость сканирования.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4 (Рекомендуемое)

Примеры параметров, которые могут существенно влиять на оценку достоверности контроля при использовании конкретной системы и методики вихретокового контроля труб парогенераторов
(по отчету ENIQ Report nr.6, EUR EN 18101 [11])

1. Исходная группа

1.1 Контролируемый компонент (объект контроля):

1.1.1 Общая геометрия и среда контроля

- ◆ ограничения доступа
- ◆ размеры зонда
- ◆ конфигурация проходного сечения ОК
- ◆ температура
- ◆ радиация

1.1.2 Геометрия труб:

- ◆ диаметр труб
- ◆ толщина стенок
- ◆ радиус U-образных изгибов
- ◆ длина труб
- ◆ изменения геометрии (овальность)
- ◆ природа отложений на внутренних стенках труб (медь, шлам и т.д.)
- ◆ наличие вмятин и т.д.

1.2 Дефекты:

- ◆ тип дефекта
- ◆ механизм деградации материала (дефектообразования)
- ◆ месторасположение дефекта (наружный или внутренний)
- ◆ проникновение дефекта по толщине трубы (глубина дефекта)
- ◆ длина дефекта
- ◆ ориентация дефекта относительно оси трубы
- ◆ месторасположение дефекта по длине трубы

2. Процедурная группа

- ◆ количество преобразователей
- ◆ тип преобразователя
- ◆ размер преобразователя
- ◆ частота
- ◆ тип генератора частот (одночастотный или многочастотный)
- ◆ количество каналов (количество преобразователей/частот)
- ◆ чувствительность при сканировании и записи (фиксации)
- ◆ образец сканирования
- ◆ скорость сканирования
- ◆ требования к персоналу, опыт и квалификация
- ◆ метод выявления дефекта
- ◆ метод определения размеров дефекта

- ◆ критерии идентификации дефектов
- ◆ схема анализа

3. Группа оборудования

3.1 Излучатель

- ◆ величина гармонических искажений
- ◆ импеданс на выходе
- ◆ линейность фазы
- ◆ линейность амплитуды

3.2 Приёмник

- ◆ импеданс на входе
- ◆ линейность амплитуды
- ◆ ширина полосы

3.3 А/Ц преобразователь

- ◆ разрешение А/Ц преобразователя
- ◆ динамический диапазон
- ◆ частота повторения зондирующих импульсов

3.4 Кабель:

- ◆ тип кабеля
- ◆ длина кабеля
- ◆ импеданс

3.5 Преобразователь:

3.5.1 Общее:

- ◆ тип преобразователя
- ◆ импеданс
- ◆ диапазон частоты
- ◆ резонансная частота

3.5.2 Цилиндрическая катушка:

- ◆ ширина эффективного поля сканирования
- ◆ коэффициент заполнения
- ◆ коэффициент глубины
- ◆ коэффициент длины вдоль оси
- ◆ коэффициент поперечной ширины
- ◆ кривая фаза-глубина

3.5.3 Плоская катушка:

- ◆ ширина эффективного поля сканирования
- ◆ коэффициент глубины
- ◆ коэффициент ширины оси
- ◆ коэффициент поперечной ширины
- ◆ кривая фаза-глубина

3.6 Сканирующее устройство:

- ◆ осевая погрешность
- ◆ погрешность скорости сканирования
- ◆ диапазон скорости сканирования

НИЖНИЙ ОДНОСТОРОННИЙ 95% УРОВЕНЬ ДОВЕРИТЕЛЬНОЙ ВЕРОЯТНОСТИ ДЛЯ БИНОМИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

N: число наблюдений/дефектов D: число выявленных дефектов

N/D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	D/N	
1	0.050																						1
2	0.025	0.224																					2
3	0.017	0.135	0.368																				3
4	0.013	0.098	0.249	0.473																			4
5	0.010	0.076	0.189	0.343	0.549																		5
6	0.009	0.063	0.153	0.271	0.418	0.607																	6
7	0.007	0.053	0.129	0.225	0.341	0.479	0.652																7
8	0.006	0.046	0.111	0.193	0.289	0.400	0.529	0.688															8
9	0.006	0.041	0.098	0.169	0.251	0.345	0.450	0.571	0.717														9
10	0.005	0.037	0.087	0.150	0.222	0.304	0.393	0.493	0.606	0.741													10
11	0.005	0.033	0.079	0.135	0.200	0.271	0.350	0.436	0.530	0.636	0.762												11
12	0.004	0.030	0.072	0.123	0.181	0.245	0.315	0.391	0.473	0.562	0.661	0.779											12
13	0.004	0.028	0.066	0.113	0.166	0.224	0.287	0.355	0.427	0.505	0.590	0.684	0.794										13
14	0.004	0.026	0.061	0.104	0.153	0.206	0.264	0.325	0.390	0.460	0.534	0.615	0.703	0.807									14
15	0.003	0.024	0.057	0.097	0.142	0.191	0.244	0.300	0.360	0.423	0.489	0.560	0.637	0.721	0.819								15
16	0.003	0.023	0.053	0.090	0.132	0.178	0.227	0.279	0.333	0.391	0.452	0.516	0.583	0.656	0.736	0.829							16
17	0.003	0.021	0.050	0.085	0.124	0.166	0.212	0.260	0.311	0.364	0.420	0.478	0.539	0.604	0.674	0.750	0.838						17
18	0.003	0.024	0.057	0.097	0.142	0.191	0.244	0.300	0.360	0.423	0.492	0.562	0.637	0.717	0.807	0.899	0.992						18
19	0.003	0.019	0.044	0.075	0.110	0.147	0.188	0.230	0.274	0.320	0.368	0.418	0.470	0.524	0.581	0.641	0.704	0.774	0.854				19
20	0.003	0.018	0.042	0.071	0.104	0.140	0.177	0.217	0.259	0.302	0.347	0.394	0.442	0.492	0.544	0.599	0.656	0.717	0.784	0.861			20
22	0.002	0.015	0.035	0.059	0.086	0.115	0.146	0.178	0.212	0.246	0.282	0.319	0.358	0.397	0.437	0.479	0.521	0.565	0.611	0.658	0.760		22
24	0.002	0.014	0.032	0.054	0.079	0.106	0.134	0.163	0.194	0.226	0.258	0.292	0.327	0.362	0.398	0.436	0.474	0.513	0.553	0.595	0.682		24
26	0.002	0.013	0.030	0.050	0.073	0.098	0.124	0.151	0.179	0.208	0.238	0.269	0.301	0.333	0.366	0.400	0.435	0.470	0.506	0.543	0.620		26
28	0.002	0.012	0.028	0.047	0.068	0.091	0.115	0.140	0.166	0.193	0.221	0.250	0.279	0.308	0.339	0.370	0.402	0.434	0.467	0.501	0.600		28
30	0.001	0.010	0.024	0.040	0.058	0.077	0.098	0.119	0.141	0.164	0.187	0.211	0.236	0.260	0.286	0.312	0.338	0.365	0.392	0.419	0.476		30
35	0.001	0.009	0.021	0.035	0.051	0.067	0.085	0.104	0.123	0.142	0.163	0.183	0.204	0.226	0.247	0.269	0.292	0.315	0.338	0.361	0.409		35
40	0.001	0.008	0.018	0.031	0.045	0.060	0.075	0.092	0.109	0.126	0.144	0.162	0.180	0.199	0.218	0.237	0.257	0.277	0.297	0.317	0.359		40
45	0.001	0.007	0.017	0.028	0.040	0.054	0.068	0.082	0.097	0.113	0.129	0.145	0.161	0.178	0.195	0.212	0.230	0.247	0.265	0.283	0.320		45
50	0.001	0.006	0.014	0.023	0.033	0.044	0.056	0.068	0.081	0.093	0.106	0.120	0.133	0.147	0.161	0.175	0.189	0.204	0.218	0.233	0.263		50
60	0.001	0.005	0.012	0.020	0.029	0.038	0.048	0.058	0.069	0.080	0.091	0.102	0.113	0.125	0.137	0.149	0.161	0.173	0.186	0.198	0.223		60
70	0.001	0.004	0.010	0.017	0.025	0.033	0.042	0.051	0.060	0.069	0.079	0.089	0.099	0.109	0.119	0.130	0.140	0.151	0.161	0.172	0.194		70
80	0.001	0.004	0.009	0.015	0.022	0.029	0.037	0.045	0.053	0.062	0.070	0.079	0.088	0.097	0.106	0.115	0.124	0.133	0.143	0.152	0.172		80
90	0.001	0.004	0.008	0.014	0.020	0.026	0.033	0.040	0.048	0.055	0.063	0.071	0.079	0.087	0.095	0.103	0.111	0.120	0.128	0.137	0.154		90
100	0.000	0.003	0.007	0.011	0.017	0.022	0.028	0.034	0.040	0.046	0.052	0.059	0.065	0.072	0.079	0.085	0.092	0.099	0.106	0.113	0.128		100
120	0.000	0.003	0.006	0.010	0.014	0.019	0.024	0.029	0.034	0.039	0.045	0.050	0.056	0.061	0.067	0.073	0.079	0.085	0.091	0.097	0.109		120
140	0.000	0.002	0.005	0.009	0.012	0.016	0.021	0.025	0.030	0.034	0.039	0.044	0.049	0.054	0.059	0.064	0.069	0.074	0.079	0.084	0.095		140
160	0.000	0.002	0.004	0.008	0.011	0.015	0.018	0.022	0.026	0.030	0.034	0.039	0.043	0.048	0.052	0.056	0.061	0.065	0.070	0.075	0.084		160
180	0.000	0.002	0.004	0.007	0.010	0.013	0.017	0.020	0.024	0.027	0.031	0.035	0.039	0.043	0.047	0.051	0.055	0.059	0.063	0.067	0.076		180
200	0.000	0.001	0.003	0.005	0.008	0.011	0.013	0.016	0.019	0.022	0.025	0.028	0.031	0.034	0.037	0.041	0.044	0.047	0.050	0.054	0.060		200
250	0.000	0.001	0.003	0.005	0.007	0.009	0.011	0.013	0.016	0.018	0.021	0.023	0.026	0.028	0.031	0.034	0.036	0.039	0.042	0.045	0.050		250
300	0.000	0.001	0.003	0.005	0.007	0.009	0.011	0.013	0.016	0.018	0.021	0.023	0.026	0.028	0.031	0.034	0.036	0.039	0.042	0.045	0.050		300
500	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.007	0.008	0.009	0.011	0.012	0.014	0.015	0.017	0.019	0.020	0.022	0.023	0.025	0.027	0.030		500
N/D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	D/N	

НИЖНИЙ ОДНОСТОРОННИЙ 95% УРОВЕНЬ ДОВЕРИТЕЛЬНОЙ ВЕРОЯТНОСТИ ДЛЯ БИНОМИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
N: число наблюдений/дефектов D: число выявленных дефектов

N/D	24	26	28	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200	250	300	500	D/N	
24	0.883																					24	
26	0.777	0.891																					26
28	0.702	0.792	0.899																				28
30	0.643	0.720	0.805	0.905																			30
35	0.534	0.594	0.657	0.723	0.918																		35
40	0.458	0.508	0.560	0.613	0.755	0.928																	40
45	0.401	0.445	0.489	0.534	0.652	0.780	0.936																45
50	0.357	0.395	0.434	0.474	0.576	0.684	0.801	0.942															50
60	0.293	0.324	0.356	0.387	0.469	0.554	0.641	0.734	0.951														60
70	0.249	0.275	0.301	0.328	0.396	0.466	0.538	0.612	0.770	0.958													70
80	0.216	0.239	0.261	0.284	0.343	0.403	0.464	0.527	0.658	0.797	0.963												80
90	0.191	0.211	0.231	0.251	0.303	0.355	0.409	0.463	0.576	0.694	0.819	0.967											90
100	0.171	0.189	0.207	0.225	0.271	0.318	0.365	0.414	0.513	0.616	0.723	0.836	0.970										100
120	0.142	0.156	0.171	0.186	0.224	0.262	0.301	0.341	0.421	0.504	0.589	0.677	0.767	0.975									120
140	0.121	0.134	0.146	0.159	0.191	0.223	0.256	0.290	0.358	0.427	0.498	0.571	0.645	0.799	0.979								140
160	0.106	0.116	0.127	0.138	0.166	0.194	0.223	0.252	0.311	0.371	0.432	0.494	0.558	0.687	0.824	0.981							160
180	0.094	0.103	0.113	0.123	0.147	0.172	0.198	0.223	0.275	0.328	0.382	0.436	0.492	0.604	0.721	0.843	0.983						180
200	0.084	0.093	0.101	0.110	0.132	0.155	0.177	0.200	0.247	0.294	0.342	0.390	0.440	0.540	0.642	0.748	0.858	0.985					200
250	0.067	0.074	0.081	0.088	0.105	0.123	0.141	0.159	0.196	0.233	0.271	0.310	0.348	0.426	0.506	0.587	0.669	0.754	0.988				250
300	0.056	0.061	0.067	0.073	0.087	0.102	0.117	0.132	0.163	0.194	0.225	0.256	0.288	0.353	0.418	0.484	0.551	0.619	0.794	0.990			300
500	0.033	0.037	0.040	0.044	0.052	0.061	0.070	0.079	0.097	0.115	0.134	0.152	0.171	0.209	0.247	0.286	0.324	0.363	0.462	0.563	0.994		500
N/D	24	26	28	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200	250	300	500	D/N	