



NDT World, 2015, v. 18, no. 3, pp. 62–66

Ещё раз об автоматической расшифровке рентгеновских снимков сварных швов

Submitted 09.07.15

Accepted 22.07.15

В статье рассмотрен вопрос автоматизации расшифровки цифровых рентгеновских снимков сварных соединений. Для каждого этапа расшифровки предложены возможные методы автоматизации обработки снимков с тем, чтобы увеличить производительность контроля и уменьшить влияние человеческого фактора. Рассмотрен вопрос об автоматическом поиске дефектов и предложен возможный путь решения данной задачи в полуавтоматическом режиме – с участием дефектоскописта. Для каждого из этапов расшифровки приведены снимки с результатом работы автоматических и полуавтоматических инструментов программного обеспечения «X-Vizor».

Once More about Automation of Digital X-Ray Image Interpretation

K. A. Bagaev*

Introduction. This article is dedicated to the possible approach of automatic inspection of welded joints X-Ray images. This problem is very urgent, but there is no established practice of the automated X-Ray images inspection and image objects recognition. The purpose of the article was to highlight the tasks included in the X-Ray interpretation process that can be automated and offer possible solutions.

Method. Analysis and interpretation of images were made using «X-Vizor» software by Newcom-NDT, LLC.

Results. Studies have shown that the straight and elliptical seam areas could be recognized automatically. It provides the possibility for automatically measurement of the signal-noise ratio. Wire image quality indicators and grooving gages also could be recognized automatically in approximately of 80% cases. So, it is possible to automatically calculate the sensitivity of the inspection. It is also achievable to automatically determine the basic spatial resolution using duplex wire image quality indicator. But the task of automation of defect recognition is still not solved. The possible alternative was offered. It is semi automation of defects recognition and analysis. This procedure needs the human to take part in image interpretation process.

Conclusion. The conclusion is that the total automation of digital X-Ray image interpretation of welded joints is now unavailable. But using automation algorithms in all parts of interpretation process where it is possible can highly increase the performance of the inspection and its reliability.

Keywords: recognition of image objects, automatic defect recognition, digital X-Ray image, signal-to-noise ratio, basic spatial resolution

БАГАЕВ
Кирилл Александрович



Технический директор
ООО «Ньюком-НДТ»
(Санкт-Петербург),
к. ф.-м. н., специалист
III уровня по РК.

Область научных интересов: моделирование взаимодействия излучения с веществом, цифровая радиография. Стаж работы в области цифровой радиографии 10 лет.

Идея автоматической расшифровки рентгеновских снимков появилась очень давно — одновременно с появлением компьютерных программ для просмотра и анализа рентгеновских изображений. Существует несколько российских программ, где эта задача частично решена.

Осмелюсь, однако, утверждать, что нигде автоматическая расшифровка снимка и поиск дефектов не реализованы в полной мере. Существует много объективных причин, по которым невозможно осуществить автоматическую расшифровку всего объёма рентгеновских снимков. Об этом было справедливо указано в статье [1].

Несмотря на это, задача по максимальной автоматизации расшифровки

снимков не утратила своей актуальности. На мой взгляд, её стоит несколько переформулировать. Программное обеспечение (ПО) должно максимально помогать дефектоскописту при анализе снимков, тем самым увеличивая производительность контроля, помогая избегать ошибок при измерениях. Помощь дефектоскописту заключается в том, что ПО должно:

1. Обеспечить правильную (согласно стандартам) последовательность расшифровки снимка. И если на каком-то из этапов обнаружено, что снимок не может быть допущен к дальнейшей расшифровке, программа должна об этом сообщить дефектоскописту. Если тот всё равно решит продолжить работу, программа должна ему это

позволить, однако решение оператора должно быть сохранено в архиве операций со снимком.

2. На каждом из этапов расшифровки все операции, которые можно автоматизировать, должны быть автоматизированы. Все параметры, которые можно вычислить по заданным формулам, должны быть вычислены ПО без участия оператора. Это увеличивает скорость контроля. Результат измерения становится объективным, не зависящим от оператора.
3. В тех случаях, когда без участия дефектоскописта не обойтись, программное обеспечение должно предоставить ему максимально простой и удобный интерфейс для выполнения операции со снимком. Например, если требу-

* Newcom-NDT, LLC, St. Petersburg, Russia; e-mail: kb@newcom-ndt.ru

ется обозначить какую-либо область дефектом, программа должна предоставить список возможных дефектов в соответствии с выбранным стандартом. Дефектоскописту остаётся лишь выбрать тип дефекта.

Окончательное же решение о годности объекта контроля в любом случае должен принимать человек.

В программном обеспечении «X-Vizor» реализовано несколько алгоритмов для автоматизации расшифровки и анализа рентгеновских снимков, исходя именно из этой логики. Реализации этого подхода и описанию разработанных инструментов посвящена данная статья.

Поиск области сварных швов на снимках

Область шва и прилегающая к ней область представляют наибольший интерес для оценки качества объекта контроля. Именно на сварном шве производится поиск дефектов, на шве или околошовной зоне (в зарубежных стандартах эта область называется зоной термического влияния — Heat Affected Zone — HAZ) производится вычисление отношения сигнал/шум (Signal to Noise Ratio — SNR). В связи с этим первая задача, которую необходимо решить при анализе снимков сварных соединений, — это собственно поиск зоны шва на снимке.

Эта задача не является тривиальной, так как методы сварки существенно различаются, а области вне шва могут содержать большое количество объектов, которые затрудняют поиск. Это могут быть метки мерного пояса, канавочные эталоны, на шве могут быть установленны проволоочные эталоны чувствительности и т. д. В связи с этим изображения сильно отличаются друг от друга. Тем не менее, эта задача решается.

В ПО «X-Vizor» задача поиска прямого сварного шва была решена для большинства снимков, имевшихся в распоряжении разработчиков. Ниже приведены примеры снимков с различными швами, полученными на запоминающую пластину (рис. 1), плоскопанельный детектор (рис. 2) и рентгеновскую плёнку (рис. 3), впоследствии оцифрованную. На всех представленных снимках область шва выделена автоматически.

Важно отметить, что разработанный алгоритм работает на совершенно разных снимках. Как видно из рисунков, сам шов сварен с использованием различных технологий, область вокруг шва существенно различается (разные эталоны, разные метки), и собственно циф-



Рис. 1. Автоматическое выделение области сварного шва на цифровом снимке, полученном на запоминающие пластины Duerr IP и считанном сканером Duerr CR35 NDT

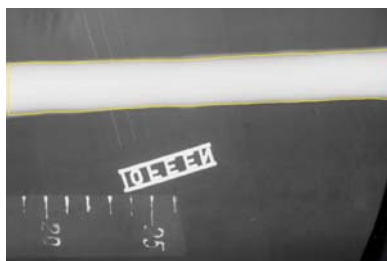


Рис. 2. Автоматическое выделение области шва на цифровом снимке, полученном на детекторе PerkinElmer серии XRD

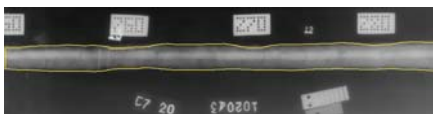


Рис. 3. Автоматическое выделение области шва на цифровом снимке, полученном на оцифровщике Array 2905 при сканировании рентгеновского снимка

ровой снимок получен с помощью трёх принципиально разных средств.

Ещё одним преимуществом алгоритма является то, что время его работы — около 1 с на современном компьютере. Время при этом не зависит от размера снимка в пикселях. Алгоритм был успешно протестирован на снимках, полученных в результате оцифровки рулонной плёнки длиной 5 м. Размер снимка при этом превышал 350 Мб. (Оцифровка плёнки производилась на сканере Vidar NDT Pro.)

Алгоритм также является нечувствительным к калибровке по размеру. То есть для поиска шва не нужно указывать размер точки и примерную толщину шва. Не нужно также указывать направление шва.

В программе «X-Vizor» также реализован алгоритм поиска зоны эллипти-

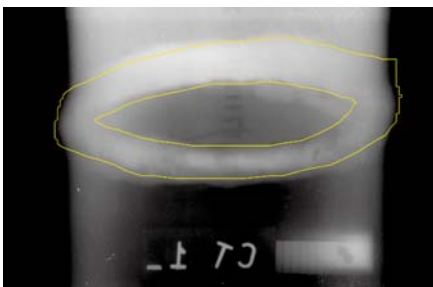


Рис. 4. Автоматический поиск эллиптического шва на цифровом снимке, полученном на запоминающие пластины Duerr IP и считанном сканером Duerr CR35 NDT

ческого шва (рис. 4). Эта задача является более сложной. Разработанный алгоритм решает её примерно в 90% случаев. Он также нечувствителен к калибровке снимка по размеру.

В случае если сварной шов не удастся автоматически найти, его можно очертить с помощью полуавтоматического инструмента — изолинии (рис. 5). Это быстрее, чем если бы дефектоскопист обводил контур шва вручную. После этого программа будет рассматривать очерченную область как шов и производить все требуемые расчёты относительно этой области.

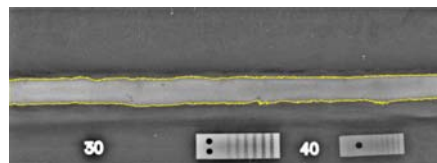


Рис. 5. Область шва, очерченная с помощью изолинии

Вычисление отношения сигнал/шум и оптической плотности

При контроле с использованием технологии цифровой или компьютерной радиографии одним из критериев качества снимка является отношение сигнал/шум. Согласно [2] эту величину необходимо измерять либо непосредственно на шве, если шов зашлифован, либо на околошовной зоне. В случае если измерения проводятся на околошовной зоне, то минимальное допустимое значение SNR должно быть умножено на коэффициент 1,4.

Программа автоматически вычисляет параметры области шва. Если область шва неоднородна (среднеквадратичное отклонение по области шва много больше среднеквадратичного отклонения по околошовной зоне), то область прямоугольника, по которой измеряется SNR (55 на 20 пикселей, рис. 6, [3]), создаётся на околошовной зоне. Автоматически применяется коэффициент 1,4. В противном случае измерения проводятся непосредственно на шве, коэффициент не применяется.

Пользователь имеет возможность частично отключить автоматизацию, задав в настройках программы где измерять SNR — на шве или на околошовной зоне.

Если отношение сигнал/шум ниже требуемого, программа выдаёт сообщение дефектоскописту, и тот уже на этом этапе может прервать расшифровку снимка, так как снимок не соответствует требованиям, предъявляемым к качеству контроля.

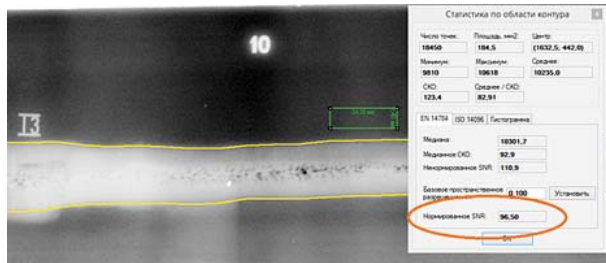


Рис. 6. Автоматическое вычисление отношения сигнал/шум на околошовной зоне

Вычисление SNR может быть полностью автоматизировано, если область шва выделена. Вмешательство дефектоскописта в процесс измерения не требуется.

Аналогичную процедуру программа может проделать и для оцифрованных рентгеновских снимков, измеряя оптическую плотность в зоне шва, канавочного эталона и околошовной зоне. Для этого нужно провести калибровку по оптической плотности.

Однако, как справедливо указано в [1], ни один из современных оцифровщиков плёнок не является денситометром. Это означает, что невозможно точно сопоставить значение интенсивности области цифрового снимка и фактического значения оптической плотности в соответствующей области плёнки — нельзя провести калибровку. В связи с этим для оцифрованных рентгеновских снимков измерять оптическую плотность программными средствами нельзя. Это необходимо делать до оцифровки с помощью денситометра. В данном случае ускорить работу дефектоскописта не получится.

Поиск эталонов и вычисление чувствительности контроля

Следующим шагом после вычисления SNR является определение чувствительности контроля. Для этого в программу «X-Vizor» встроены алгоритмы поиска проволоочного и канавочного эталонов чувствительности. Примеры снимков с автоматически найденными эталонами приведены ниже на рис. 7 и 8.

Алгоритм поиска проволоочного эталона весьма сложен. На данный момент результат достигается примерно в 80% случаев. Этому есть объективные причины. Проволоочный эталон находится непосредственно на шве, что существенно затрудняет как поиск эталона, так и вычисление чувствительности (распознавание всех видимых проволоочек).

На одном и том же снимке два специалиста одинакового уровня квалификации могут увидеть разное число проволоочек. Результат автоматического распознавания для данного снимка всегда будет одинаков, что является преимуществом автоматического поиска.

Однако сразу же встаёт вопрос критерия, согласно которому программа считает проволоочку видимой или нет. К сожалению, в стандартах по радиографии такой критерий не описан. Логично ввести пороговый коэффициент, влияющий на то, различает программа слабо видимую проволоочку или нет. В этом случае каждый дефектоскопист сможет настроить программу в соответствии со своими представлениями о том, видна ли проволоочка. Ко всем последующим снимкам будет применяться именно этот коэффициент.

Если программе не удастся найти эталон автоматически, то оператор должен его ввести вручную. После этого программа сравнивает значение чувствительности с требованием заданного стандарта и выдаёт предупреждение, если чувствительность не соответствует требованиям.

По правилам, описанным в стандартах, проволоочный эталон должен нахо-

диться на шве, проволочками поперек шва. Найдя область шва и область эталона, программное обеспечение автоматически проверяет соблюдение данного требования. В случае ПО «X-Vizor» программа игнорирует проволоочные эталоны, установленные некорректно. В этом случае чувствительность вычислить невозможно, о чём выдаётся сообщение дефектоскописту.

При поиске канавочного эталона программа автоматически вычисляет чувствительность, а также проверяет корректность расположения эталона, вычисляя его расстояние до сварного шва. Канавочный эталон должен располагаться параллельно шву на расстоянии не менее 5 мм от него [4].

На рис. 9 на канавочном эталоне найдены все канавки, измерено расстояние до шва. Проведена проверка, что эталон установлен корректно.

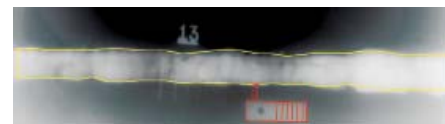


Рис. 9. Автоматический поиск области канавочного эталона чувствительности на цифровом снимке, полученном на запоминающие пластины Duerr IP и считанном сканером Duerr CR35 NDT

Замечания по критерию видимости проволоочки проволоочного эталона также справедливы и для канавок канавочного эталона. Однако в данном случае можно автоматически вычислить достижимую контрастную чувствительность (Achievable Contrast Sensitivity — CSA) согласно [5]. В стандарте приведена формула, по которой вычисляется CSA. Но в связи с тем, что в российских стандартах такой параметр не вводится, а в американских нет канавочного эталона, подобная процедура имеет мало смысла.

Вычисление базового пространственного разрешения

Базовое пространственное разрешение (Basic Spatial Resolution — BSR) соответствует половине измеренной нерезкости цифрового снимка и равно размеру наименьшего геометрического объекта, который может быть различим на цифровом снимке [2].

Для измерения BSR обычно используют двухпроволочный эталон. BSR вычисляют с помощью профиля интенсивности — инструмента, встроенного в большинство программ для анализа рентгеновских снимков. Для измерений BSR необходимо интегрировать

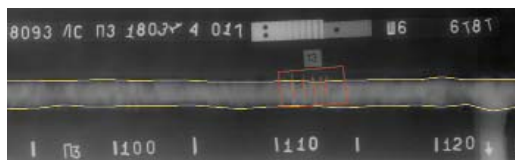


Рис. 7. Автоматический поиск проволоочного эталона и вычисление чувствительности на цифровом снимке, полученном на запоминающие пластины Duerr IP и считанном сканером Duerr CR35 NDT. Предварительно была автоматически выделена область прямого шва

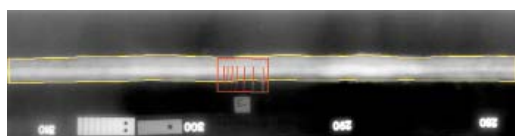


Рис. 8. Автоматический поиск проволоочного эталона и вычисление чувствительности на цифровом снимке, полученном на оцифровщике Vidar NDT Pro при сканировании рентгеновского снимка. Предварительно была автоматически выделена область прямого шва

профиль интенсивности минимум по 21 линии.

После этого на профиле вычисляются отношения глубины провала между парами проволочек к высоте пиков, соответствующих проволочкам. Первая пара проволочек, глубина провала между которыми меньше 20% от высоты пика, принимается за искомую. Значение нерезкости для данной пары проволочек указывается в паспорте на двухпроволочный эталон.

В ПО «X-Vizor» встроен инструмент, который позволяет вычислить BSR автоматически, рис. 10.

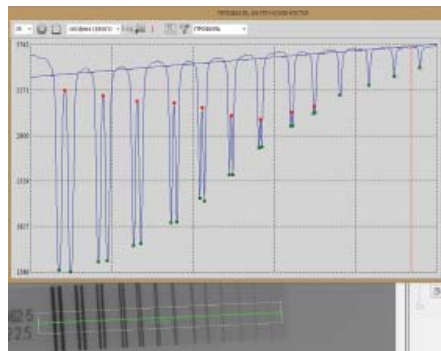


Рис. 10. Автоматическое распознавание провалов (красная точка) и пиков (зеленые точки) на двухпроволочном эталоне — вычисление BSR

Программа распознает провалы и пики на профиле интенсивности, вычисляет отношение глубины провала к величине пика и сохраняет значение пространственного разрешения. ПО информирует дефектоскописта о соответствии снимка требованиям к качеству контроля.

Измерение BSR с использованием встроенных средств ПО «X-Vizor» значительно увеличивает производительность контроля.

Автоматизация поиска дефектов

Поиск дефектов на цифровых снимках с их последующей классификацией — наиболее сложная задача. В настоящее время полностью она не решена нигде. Существуют отдельные алгоритмы поиска контрастных пор, шлаков и включений. Однако они работают только на ограниченном числе снимков и требуют подстройки параметров поиска со стороны оператора-дефектоскописта. Получается, что применение такого инструмента не даёт никакого выигрыша по времени.

Поиск малококонтрастных дефектов, их классификация на данный момент является нерешенной задачей.

В ПО «X-Vizor» встроен алгоритм по поиску и оконтуриванию пор, шлаков

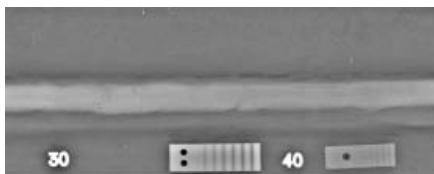


Рис. 11. Исходный снимок для автоматического поиска дефектов

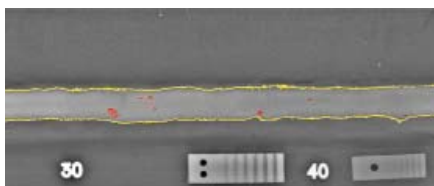


Рис. 12. Автоматический поиск пор, шлаков и включений по области шва

и включений. Однако он не является универсальным. Пример корректной работы данного алгоритма приведен на рис. 11, 12.

Здесь ПО автоматически выделило несколько пор. Три близко расположенные поры (взаимные расстояния меньше одного размера наименьшей поры) объединены в один дефект. Рядом три поры, расстояние между которыми больше одного размера минимальных размеров, объединены в скопление пор. Скопление обведено штриховой линией, объединение в один дефект — сплошной. Остальные дефекты — одиночные.

К сожалению, реализованный алгоритм требует подстройки при переходе от одного типа снимков к другим. Выбранная настройка параметров поиска будет корректно работать, если условия получения снимка (детектор, источник, объект контроля, фокусное расстояние) одинаковы. При переходе, скажем, к другому типу сварки шва или к другой толщине объекта контроля придётся заново настраивать параметры поиска дефектов.

В связи с этим автоматический поиск работает только при повторяемости условий контроля. Наилучший результат достигается, когда контролируются литые изделия и используется плоскопараллельный детектор.

Если дефектоскопист не согласен с решением программы относительно того, что выбранная область является дефектом, он имеет возможность удалить её. Также оператор может изменить тип дефекта.

Альтернативой автоматическому поиску дефектов является максимальная автоматизация данного процесса. Под автоматизацией подразумевается

оконтуривание дефектов программными средствами с участием дефектоскописта. Для этого в программу встроены удобные инструменты для выделения контура-дефекта — изолиния, карандаш, эллиптический контур и т.п. Затем дефектоскописту предоставляется возможность присвоить дефекту тип из выпадающего списка. Этот список формируется в зависимости от выбранного стандарта, нормативной документации.

После того как дефекты отмечены на снимке дефектоскопистом, программное обеспечение автоматически вычисляет их размеры, проводит группировку близкорасположенных дефектов (касается пор, шлаков и включений) и принимает решение о допустимости сварного соединения согласно выбранной нормативной документации.

Группировка дефектов вручную — это итеративный процесс, достаточно сложный и трудоёмкий, к тому же чреватый ошибками. Программное обеспечение делает это практически мгновенно и безошибочно, чем существенно облегчает и ускоряет работу специалиста. То же самое справедливо для измерения размеров дефектов.

Тип и размеры дефектов автоматически заносятся в таблицу дефектов (рис. 13). Снизу генерируется строка расшифровки снимка с условной записью дефектов согласно выбранному стандарту.

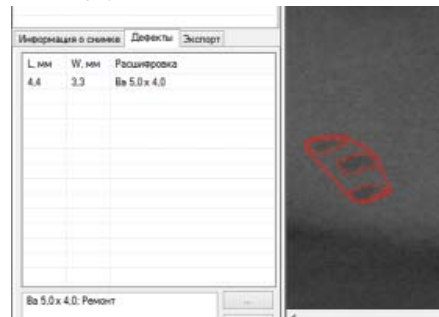


Рис. 13. Объединение трёх близкорасположенных неметаллических включений в одно, автоматическая условная запись, автоматическая генерация заключения — «Ремонт»

Имея список дефектов и форму протокола контроля, программное обеспечение автоматически переносит условную запись дефектов в соответствующие столбцы таблицы дефектов. Это существенно экономит время работы дефектоскописта по формированию протокола контроля.

Помимо этого, программное обеспечение помогает дефектоскописту методически. Например, если данный дефект ПО признает недопустимым со-

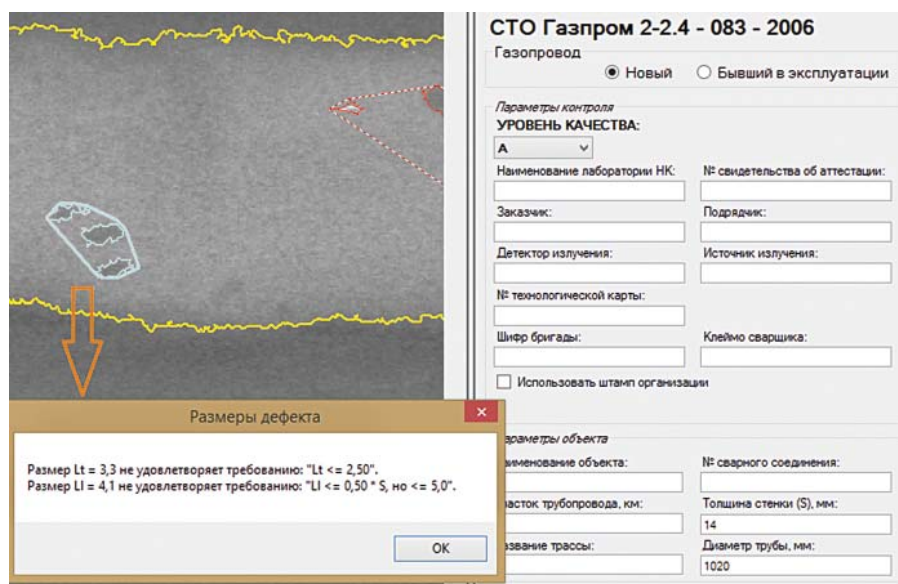


Рис. 14. Комментарий к причинам недопустимости дефекта

гласно выбранному стандарту, оно пишет краткое пояснение, почему данный дефект недопустим (рис. 14).

Выводы

1. Применение автоматических и полуавтоматических программных средств анализа снимков может существенно сократить время работы дефектоскописта и помочь избежать ряда ошибок при выдаче заключения по результатам контроля.
2. Чем больше действий оператора программы можно автоматизировать, тем объективнее результат контроля.
3. Как и для любого другого метода контроля, самые совершенные методы автоматизации анализа результатов контроля разрабатываются в помощь человеку; конечное решение о годности того или иного объекта контроля всё равно остаётся за дефектоскопистом.

Литература

1. Деч А.В. О компьютерной расшифровке рентгеновских плёнок. — В мире НК. 2014. № 2 (64). С. 21–24.
2. ISO/FDIS 17636–2, Non-destructive testing of welds — Radiographic testing. Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors. 2013-01-15.
3. EN 14784–1. 2. Non-destructive testing — Industrial computed radiography with storage phosphor imaging plates. Part 1: Classification of systems. Part 2: General principles for testing of metallic materials using X-rays and gamma rays.
4. ГОСТ 7512–82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиграфический метод. — М.: Изд-во стандартов, 1982.
5. ASTM E 2597–07. Standard Practice for Manufacturing Characterization of Digital Detector Arrays. 2007.

References

1. Dech A.V. V mire NK [NDT World]. 2014, no. 2 (64), pp. 21–24 (in Russ.).
2. ISO/FDIS 17636–2. Non-destructive testing of welds — Radiographic testing. Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors. 2013-01-15.
3. EN 14784–1. 2. Non-destructive testing — Industrial computed radiography with storage

Коротко

ВПЕРВЫЕ В МИРЕ CR-СИСТЕМА DUERR NDT СЕРТИФИЦИРОВАНА ПО ПЕРВОМУ КЛАССУ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ 30 МИКРОН

28 мая 2015 года Федеральный институт исследования и тестирования материалов BAM (Германия) опубликовал отчет по проведенным исследованиям в области компьютерной радиографии. В результате проведенного исследования был выдан сертификат, подтверждающий Базовое Пространственное Разрешение (BSR) сканера Duerr HD-CR35 NDT PLUS с фосфорными пластинами UH-IP на уровне 30 микрон. Таким образом, система компьютерной радиографии Duerr стала первой и единственной в мире, получившей сертификат, подтверждающий BSR = 30 микрон. Ранее лучший подтвержденный результат был BSR = 40 микрон, также впервые в мире достигнутый системами Duerr в 2007 году.

phosphor imaging plates. Part 1: Classification of systems. Part 2: General principles for testing of metallic materials using X-rays and gamma rays.

4. GOST 7512–82. Kontrol nerazrushayushchiy, soedineniya svarnye, radiograficheskiy metod [Nondestructive testing. Welded joints. Radiography method], IPK Izdatelstvo Standartov, Moscow, 1982 (in Russ.).

5. ASTM E 2597–07. Standard Practice for Manufacturing Characterization of Digital Detector Arrays. 2007.

Статья получена 9 июля 2015 г., в окончательной редакции — 22 июля



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2012610620
Программа для получения и обработки рентгеновских изображений X-Vizor
Автор(ы): Балаев Кирилл Александрович (RU)
Заявка № 2011618386
Дата поступления 1 ноября 2011 г.
Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 10 января 2012 г.

- Получение изображений с различных типов детекторов (CR, DR, оцифровщики, РЭОП, линейные детекторы),
- Автоматизированный поиск шва и эталонов,
- Поддержка алгоритмов поиска и расшифровки дефектов, формирование отчетов по ГОСТ и отраслевым стандартам.

Сканеры запоминающих пластин:
Duerr (HD) CR 35 NDT Plus,
Duerr HD-CR 43 NDT

Оцифровщики рентгеновских плёнок:
Vidar **NDT PRO,**
Array **2095 HD,**
Microtek **MII 900Plus,**
Epson **Expression 10000XL**

Плоскопанельные детекторы рентгеновского излучения (DR)
Perkin Elmer

newcom-ndt www.newcom-ndt.ru +7 812 313 9674
info@newcom-ndt.ru +7 812 313 9675

X-Vizor ver. 6.01.1500

Поддерживает нормативную документацию

- СТО Газпром 2-2.4-083-2006,
- ТРАНСНЕФТЬ РД 19.100.00-КТН-001-10,
- ГОСТ 23055 + ГОСТ 7512,
- РД МГ Бованенково - Ухта,
- ISO 14096, ISO 16371 и EN14784,
- EN 12517-1:2006

Возможно добавление нормативов под проекты заказчика.

Масштаб: Масштаб 27,80% | (1749; 125) l = 22512,00 | 1 - ИНТ. LUT: --- | GDI, 8 бит Language: РУССКИЙ