
О компьютерной расшифровке рентгеновских пленок



Деч
Антон
Викторович

Ведущий специалист компании ООО «АСК-РЕНТГЕН», II уровень по рентгеновскому контролю.

Введение

Для начала немного лингвистики.

«**Автоматический**»: значит функционирующий без вмешательства человека в соответствии с заранее заданным алгоритмом. Именно исключение человеческого фактора является главной особенностью применения средств, работающих в автоматическом режиме.

«**Автоматизированный**»: в отличие от термина «автоматический», «автоматизированный» режим работы подчёркивает сохранение за человеком-оператором некоторых функций либо наиболее общего, целеполагающего характера, либо не поддающихся автоматизации.

Все просто: автоматический — без участия человека, автоматизированный — с его участием.

Именно об **автоматической** расшифровке мечтают руководители организаций, осуществляющих контроль. Но в реальной жизни никакой речи об **автоматическом** контроле пока не идет.

Хочется подчеркнуть, что никаких американских или европейских стандартов по поводу автоматической или автоматизированной расшифровки рентгеновских пленок не существует. Очень странно, что в нашей стране, при общем значительном отставании от запада в сфере цифровых рентгеновских технологий такая практика существует. Неужели мы опять впереди планеты всей?

На самом деле все проще. Мы по-прежнему позади, как это ни печально. А **автоматическая** расшифровка пленок на сегодняшний день — это миф, который используется в коммерческих интересах некоторых нечистоплотных продавцов.

Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Комплекс по оцифровке рентгеновских пленок состоит из сканера и программного обеспечения. Про то, какие бывают сканеры, уже неоднократно писалось [1–3]. Подробнее остановимся на программном обеспечении [4], особенно на той его части, которая относится к расшифровке снимков.

Задача автоматической расшифровки снимков состоит из нескольких этапов:

1. **Разметка снимка.** Поиск основных компонентов на снимке — шва, эталонов чувствительности, ограничительных меток, текстовых меток. Определение взаимного расположения объектов на снимке и проверка взаимного расположения на соответствие ГОСТ 7512 [5].
2. **Чувствительность.** Определение чувствительности контроля по эталонам чувствительности.
3. **Оптическая плотность.** Определение пределов изменения оптической плотности на соответствие ГОСТ 7512.
4. **Поиск дефектов и классификация дефектов.**
5. **Выдача заключения по найденным дефектам.**

Рассмотрим эти этапы по порядку.

Разметка снимка

Выделение и оконтуривание контрастных объектов на снимке, в общем, задача простая и хорошо формализуемая (рис. 1). Определение расстояний между контурами объектов тоже труда не представляет. Плохо решаемой является задача по поиску проводочных эталонов.

Чувствительность

В отечественных ГОСТ чувствительность является абсолютно субъективной величиной и никак не сопоставляется с цифровым изображением. Так по ГОСТ 7512-82 **чувствительность** — это наименьший диаметр выявляемой на снимке проволоки проволочного эталона, наименьшая глубина выявляемой на снимке канавки канавочного эталона, наименьшая толщина пластинчатого эталона, при которой на снимке выявляется отверстие с диаметром, равным удвоенной толщине эталона.

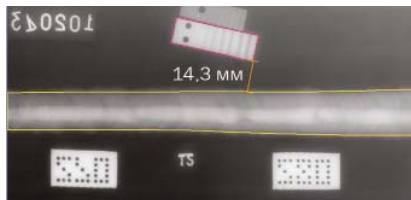


Рис. 1. Поиск шва, поиск эталона чувствительности, определение взаимного расположения шва и эталона

В европейских и американских стандартах существуют четкие алгоритмы определения качества цифрового изображения, получаемого посредством плоскопанельных детекторов и сканирования многоразовых пластин [6].

Например, аналогичный чувствительности параметр называется **«достижимая контрастная чувствительность»**, **CSa** (Achievable Contrast Sensitivity) и определяется следующим образом.

Для его измерения используется эталон строго определенной толщины с канавкой, составляющей 5% от толщины основного металла (рис. 2). В областях 1, 2, 3 при помощи программного обеспечения производятся замеры оценки среднего сигнала D_1, D_2, D_3 и среднеквадратичного отклонения $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$.



Рис. 2. Области для определения достижимой контрастной чувствительности CSa

В этом случае контрастная чувствительность вычисляется по формуле:

$$CSa = \frac{5 \cdot (\sigma_1 + \sigma_3)}{2 \cdot \left(\frac{D_1 + D_3}{2} - D_2 \right)}.$$

Алгоритм оценки контрастной чувствительности строго формализован и имеет понятную физическую основу. Отношение перепада сигнала D на канавке к размеру шумовой дорожки фактически определяет видимость той или иной канавки (рис. 3).

Аналогичную величину можно вычислить, к примеру, по канавочному эталону.

Проблема в том, что в России вообще не существует стандартов на оценку контрастной чувствительности по цифровому изображению эталона чувствительности, и каждый производитель программного обеспечения устанавливает свои критерии видимости канавки или проволочки.

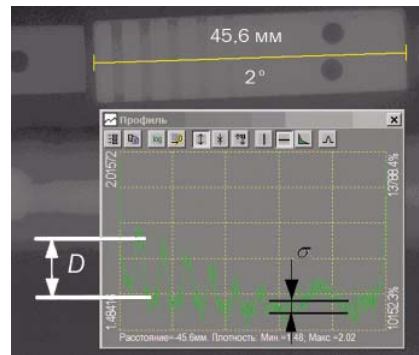


Рис. 3. Физический смысл цифровой оценки чувствительности контроля

Изначально все задумывалось для ухода от человеческого фактора. Что делать, если программа «видит» три канавки, а дефектоскопист — две или четыре, кому верить? Дефектоскопист имеет уровень квалификации и скрепляет протокол расшивки своей подписью. А программист, который писал программу, возможно, никакого уровня не имеет, и реализовал некий одному ему известный алгоритм.

Поэтому программная оценка чувствительности по изображению эталона чувствительности может иметь смысл только после появления **единого алгоритма** этой оценки. А также требуется единый стандарт на поверку подобного программного обеспечения.

Оптическая плотность

В оценке оптической плотности по цифровому изображению, казалось бы, проблем нет. Для этого требуется заранее произвести калибровку по оптической плотности, то есть сопоставить числовому коду конкретную оптическую плотность.

Для самой возможности калибровки по оптической плотности сканирующее устройство в любом месте снимка и в любой момент времени должно выдавать один и тот же цифровой код для одной и той же плотности. То есть сканирующее устройство фактически должно быть денситометром.

Также должна быть четко прописана единая процедура поверки сканирующих устройств.

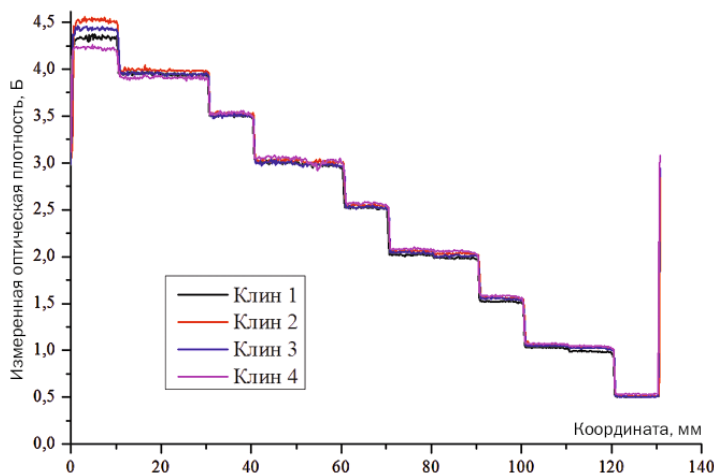


Рис. 4. Расхождение в определении оптической плотности в разных местах снимка

Наши исследования показывают, что даже самые дорогие сканирующие устройства не являются денситометрами. Код, который выдает устройство для участков с одинаковой плотностью, зависит от интенсивности окружающего света, температуры, от оптической плотности соседних участков. Работа сканирующего устройства как денситометра не заявляется ни одним производителем подобных устройств.

Даже в идеальных условиях, в темной комнате при сканировании клина на лучшем на рынке сканере «Array» участки с одинаковой плотностью кодируются разными числами (рис. 4). То есть при отсутствии у сканирующих устройств функции денситометра и при полном отсутствии документации на данную процедуру определение оптической плотности по оцифрованному изображению абсолютно бессмысленно.

Интересно, что ни в одном западном стандарте данная процедура тоже не предусмотрена [8].

Поиск дефектов и классификация дефектов

Остановимся на этом этапе подробнее.

Под поиском дефектов подразумевается очерчивание замкнутым контуром локального дефекта.

Под классификацией дефекта подразумевается определение типа дефекта (пора, шлак, непровар, трещина и т. д.)

Нельзя сказать, что задача не решается вообще. Автоматические комплексы применяются, например, для контроля литых изделий. В чем же отличие цифровой копии изображения сварного шва на рентгеновской пленке от цифровой копии изображения литого изделия? Отличия очень существенные:

- литые изделия, которые контролируются, повторяют друг друга; в то время как все сварные швы разные, так как свариваются разными сварщиками, по разным технологиям, при разных погодных условиях и т. д.;
- литые изделия позиционируются при помощи манипулятора с большой точностью, тогда как изображение сварного шва «гуляет» относительно снимка, все метки и эталоны располагаются достаточно случайным образом;
- при контроле литые изделия снимаются при помощи одного и того же цифрового детектора, обладающего низким уровнем шума, который можно контролировать при помощи времени накопления. То есть параметры шума заранее известны. Изображение сварного шва получают на разные пленки с разным уровнем шума. Условия проявки также



Рис. 5. Стол классический



Рис. 6. Стекланный стол в стиле модерн



Рис. 7.
Нарисованный
стол



Рис. 8. Стол, как он есть в жизни

Дефект - Дефект

Рис. 9. Распознавание образов

сильно влияют на характеристики шума пленки. При сканировании пленки сканер также обладает индивидуальными шумовыми особенностями.

Сразу скажем, что алгоритмов, которые ищут дефекты лучше или так же, как человек, пока не существует. Более того, даже самое продвинутое программное обеспечение во многом уступает человеку. В чем же сложность?

Во-первых, это задача плохо формализуемая. Человеческий мозг способен классифицировать объекты. Рассмотрим этот аспект на примере стола (рис. 5–8).

В реальности задача выглядит примерно так. Вид на стол за окном, в котором отражается улица и бликует люстра. Стол виден частично. Стол покрыт скатертью. За столом сидят люди. На столе стоят столовые приборы. Тем не менее, даже трехлетний ребенок без труда найдет на этом изображении стол и даже не один. Для компьютера поиск стола на этом снимке (рис. 8) — задача невыполнимая.

Также человеческий мозг способен достраивать недостающие части объектов и преобразовывать их формы (рис. 9). Для алгоритма распознавания символов прочтение первого слова не представляет труда, прочтение второго слова — задача практически невыполни-

мая. В то время как мозг человека справляется с обеими задачами практически одинаково.

Как работает классический алгоритм поиска дефектов? Берется оригинальное изображение (рис. 10). Пропускается через линейный фильтр, подавляющий зерновой шум (рис. 11). В идеале надо сравнивать данное изображение с «идеальным» или «бездефектным». Но такого изображения не существует, так как каждый сварной шов уникален.

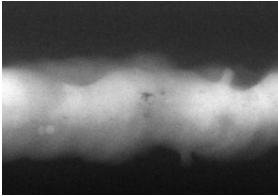


Рис. 10. Оригинальное изображение

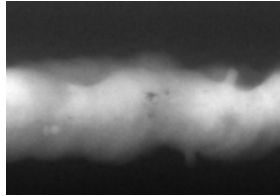


Рис. 11. Подавление высокочастотных помех

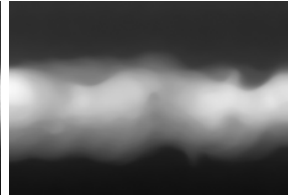


Рис. 12. Медианный фильтр

Поэтому находится эталонное (условно бездефектное) изображение в результате обработки исходного изображения медианным или близким по действию фильтром (рис. 12). Смысл обработки — удаление из изображения всех особенностей, радиус которых меньше заданного.

Из оригинального изображения вычитается эталонное (условно бездефектное) изображение. Полученная разность обрабатывается пороговым фильтром и все области, оказавшиеся выше порога, считаются местами, подозрительными на дефекты. Места изображения, превышающие порог, обводят контуром (рис. 13) и вычисляют дополнительные параметры для уменьшения доли ложных срабатываний.

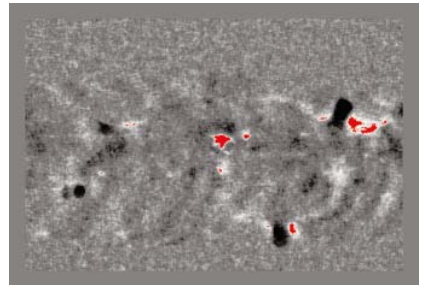


Рис. 13. Дефекты

Медианный фильтр дает ложные индикации, например, в местах изгибов усиления шва. Фильтры, которые дают меньше ложных индикаций, работают недопустимо долго и тоже не дают приемлемый результат. К тому же, работа фильтров сильно зависит от зернистости и качества пленки. И при переходе с одной пленки на другую требуется изменять параметры фильтров.

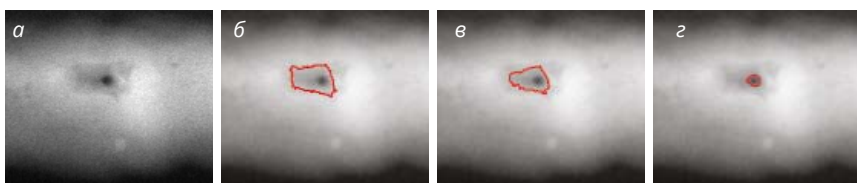


Рис. 14. Зависимость размера дефекта от порога чувствительности: а — исходное изображение; б — низкий порог; в — средний порог; г — высокий порог

Количество и размеры найденных дефектов зависят от параметров фильтров и порога обнаружения и формы. Например, оконтуривание данной поры (рис. 14а) может давать разный результат в зависимости от порога (рис. 14б–г). В любом случае алгоритм будет занижать размеры крупных дефектов и увеличивать размеры небольших, но ярких дефектов.

Алгоритм поиска дефектов не дает никакой гарантии обнаружения всех дефектов, более того, существуют группы дефектов, которые **гарантированно** не обнаруживаются алгоритмами поиска дефектов. Среди них слабоконтрастные непровары и трещины, не попавшие в раскрытие, которые человеческий глаз в совокупности с работой мозга хорошо различает, а компьютерный алгоритм, анализируя изображение локально, оставляет за порогом чувствительности. Серьезную проблему составляют также слабоконтрастные шлаки, контраст которых существенно меньше характерных особенностей усиления шва.

Например, непровар на рис. 15 легко виден глазом как слабоконтрастная,

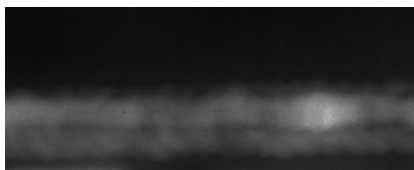


Рис. 15. Слабоконтрастный непровар

но прослеживаемая линия вдоль корня шва. Но не будет найден программой поиска дефектов в силу его низкой контрастности.

В программе поиска дефектов задается некоторый порог. Если порог занижен, программа ищет почти все дефекты, при этом дает недопустимо много ложных срабатываний. И наоборот, завышение порога приводит к пропуску значительного количества реальных дефектов.

По моему опыту создать программу по **автоматическому** поиску дефектов на стыковых швах по оцифрованному изображению пленок с приемлемой вероятностью пропуска дефектов и небольшим количеством ложных срабатываний вообще **невозможно**.

После поиска дефектов программой дефектоскопист вынужден вручную корректировать дефекты, найденные программой, удалять ложно найденные дефекты, добавлять не найденные программой дефекты, корректировать границы неправильно обведенных дефектов. По времени это занимает не меньше, чем разметка дефектов вручную.

Следующим шагом поиска дефектов является их квалификация. Здесь тоже не существует алгоритмов, как отличить вытянутую пору от непровара. И так же, как и в случае поиска дефектов, дефектоскопист вносит коррективы в результаты. То, что программа может правильно квалифицировать дефекты — это миф. Это можно формализовать только в самом простом случае.

Выдача заключения по найденным дефектам.

Это последний этап работы программы расшифровки. По отмеченным контурам дефектов программа измеряет их параметры и взаимное расположение. Это единственная вещь, которую можно действительно отлично формализовать. Корректно измеряются размеры контуров дефектов (сами контуры дефектов, правда, могут быть не корректными из-за особенностей работы программы поиска).

Дефекты разбиваются на скопления, одиночные поры, их размеры корректно сравниваются с требованием ГОСТ, СНИП и РД. Все это имеет смысл, только если до этого дефекты были корректно размечены и классифицированы.

Заключение

Несмотря на все сказанное, на рынке продолжают предлагать программы «автоматического поиска дефектов».

Никто не задается вопросом, что у программы поиска дефектов должны быть характеристики, выраженные числами. Это нужно для сравнения и справедливой конкуренции программ, существующих на рынке, а также для того, чтобы покупатель знал, что именно он покупает.

Эти характеристики могут быть, например, такие:

- вероятность пропуска дефекта, по группам дефектов;
- вероятность пропуска бракующего дефекта по группам дефектов;
- среднее количество найденных ложных дефектов на 100 мм шва;
- вероятность ошибки при квалификации дефекта;
- точность оконтуривания дефектов в автоматическом режиме.

Что бы сказал покупатель, если бы знал, что вероятность пропуска дефекта равна 30%, а число найденных ложных дефектов на 100 мм для чешуйчатого шва составляет десятки?

Как у всяких характеристик, должны быть методики их измерения, единые для всех. Чтобы статистически достоверно измерить все эти параметры, надо прогнать через аппаратно-программный комплекс сотни заранее расшифрованных пленок с различным составом дефектов.

Но таких методик нет ни на западе, ни у нас. На западе таких методик нет, так как там не занимаются мошенничеством, а у нас их нет, так как если появятся методики, то мошенничество исчезнет и перестанет приносить доход.

Литература

1. Грудский А. Я., Величко В. Я. Оцифровка радиографических снимков — это не очень просто. — В мире НК. 2011. № 4 (54). С. 74–76.
2. Грудский А. Я., Величко В. Я., Деч А. В. Как гарантировать достоверность и качество цифрового архива рентгеновских снимков кольцевых сварных соединений магистрального трубопровода? — В мире НК. 2012. № 4 (58). С. 34–40.
3. Багаев К. А., Козловский С. С. Оцифровка рентгеновских пленок. Что следует учесть при разработке и внедрении российских стандартов. — В мире НК. 2013. № 3 (61). С. 30–35.
4. Деч А. В. Требования к программным комплексам улучшения и архивирования рентгеновских изображений. — В мире НК. 2003. № 3 (21). С. 66–68.
5. ГОСТ 7512–82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод. — М.: Изд-во стандартов, 1982.
6. ASTM E 2445–05. Standard Practice for Qualification and Long-Term Stability of Computed Radiology Systems. 2005.
7. ASTM E 2597–07. Standard Practice for Manufacturing Characterization of Digital Detector Arrays. 2007.
8. ISO-14096–1. Non-destructive testing — Qualification of radiographic film digitization systems — Part1: Definitions, quantitative measurements of image quality parameters, standard reference film and qualitative control. 2005-06-15.