



Цифровая радиография изделий с большой радиационной толщиной

Статья подготовлена техническим директором
ООО «Центр Цифра» к.т.н. А. Ю. Кострюковым

Здравствуйте, хотела узнать подойдет ли Цифракон 1230 для контроля качества детали диаметром 160, толщиной 80 мм. И какая максимальная чувствительность может быть достигнута на Цифраконе.

Вопрос от подписчика

Здравствуйте!

Не могу никак добиться чувствительности на D1200 x 70мм, просвет-направленная Egresco 300. Ставим 280кВ, 3.0мА, 120 сек на 2 экспозиции, плотность снимка около 25000, но чувствительность плохая, фокусное расстояние было около 400мм. Помогите, пожалуйста, какие подобрать параметры...

Вопрос от пользователя

Нам часто поступают подобные вопросы, и сегодня мы решили разобраться в этой непростой, но интересной теме. В обоих случаях вполне реально получить хорошее радиографическое изображение. При этом, в обоих случаях детали толстые, они достаточно сложные и требуют внимательного подхода и тщательной подготовки к съемке.

Давайте сначала разберем общие правила съемки для подобных ситуаций, а затем покажем, как их применить на конкретных изделиях.

Хороший снимок получится если Вы выполните следующие условия:

- Подходящий детектор
- Подходящий источник излучения
- Правильно выбранная схема контроля
- Правильная подготовка изделия
- Правильно выполненная калибровка детектора
- Правильно подобранные параметры контроля

Детектор

Традиционно производители детекторов подбирают толщину Gadox сцинтиллятора под размер пикселя таким образом, чтобы разрешающая

способность, задаваемая размером пикселя, не ухудшалась из-за размытия света в сцинтилляторе. Поэтому на детекторы с размером пикселя от 75 до 99 микрон часто ставят тонкий сцинтиллятор, обеспечивающий высокое разрешение, но не способный получить яркое контрастное изображение при съемке деталей большой толщины.

Поэтому очень важно еще при подборе типоразмера детектора изначально определиться с теми задачами, которые вам предстоит решать. Среди типоразмеров Цифракона вы можете подобрать тот, который наиболее точно подойдет под них.

Например, такие детекторы как Цифракон 1723 (75 микрон) всегда комплектуются тонким сцинтиллятором, а детектор Цифракон 1025А (99 микрон) может поставляться как с тонким, так и со стандартным сцинтиллятором.

Популярная в России модель Цифракон 1230, как правило, изготавливается со стандартным сцинтиллятором, который пригоден для съемки достаточно толстых деталей.

Начиная с 2025 года мы предлагаем модели 1230 с сцинтиллятором GadoxT, специально подобранным для съемки толстых деталей. Базовое пространственное разрешение детекторов 1230 сцинтиллятором GadoxT SRbdet = 0.2 мм. Таким образом, они подходят для съемки изделий с толщиной стенки от 25 мм с качеством, соответствующим классу А по ГОСТ 17636-2.

В.4 Нерезкость

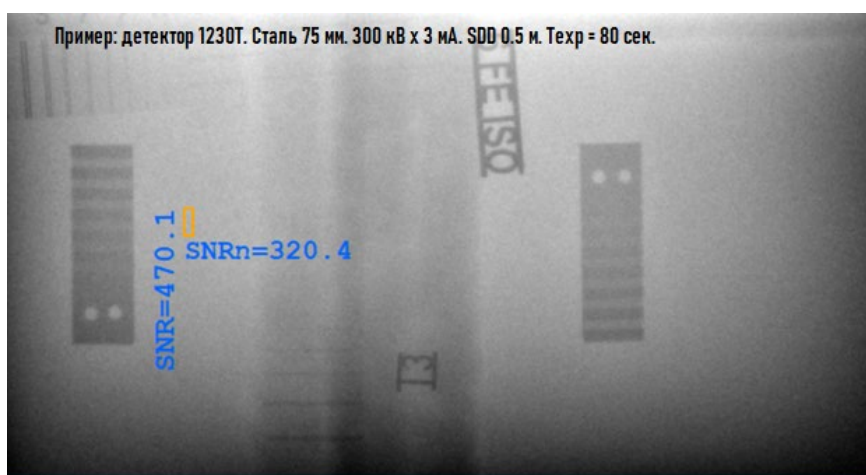
Т а б л и ц а В.13 — Максимальная нерезкость для класса качества изображения А для всех способов

Класс качества изображения А: IQI двухпроволочного типа по ISO 19232-5		
Просвечиваемая толщина w^a , мм	Минимальное значение показателя IQI и максимальная нерезкость (ISO 19232-5) ^b , мм	Максимальное базовое пространственное разрешение (равное толщине проволоки и зазору) ^b SR_b^{image} , мм
5,0 < w ≤ 10,0	D9	0,130
	0,260	
10,0 < w ≤ 25,0	D8	0,160
	0,320	
25,0 < w ≤ 55,0	D7	0,200
	0,400	
55,0 < w ≤ 150,0	D6	0,250
	0,500	
^a Для схемы контроля через две стенки с одним изображением вместо просвечиваемой толщины w должна применяться номинальная толщина l . ^b Считывание показаний IQI для выбора системы (см. приложение С) применяется для контактной радиографии. Если используется способ геометрического увеличения (см. 7.7), то считывание показаний IQI должно быть выполнено на соответствующих проверочных радиограммах.		

Тесты показали, что, начиная с толщины стали 30 мм, детектор с сцинтиллятором GadoxT дает лучшее качество изображения по сравнению с детекторами с сцинтиллятором CsI, а также по сравнению с детекторами со стандартными

сцинтилляторами Gadox.

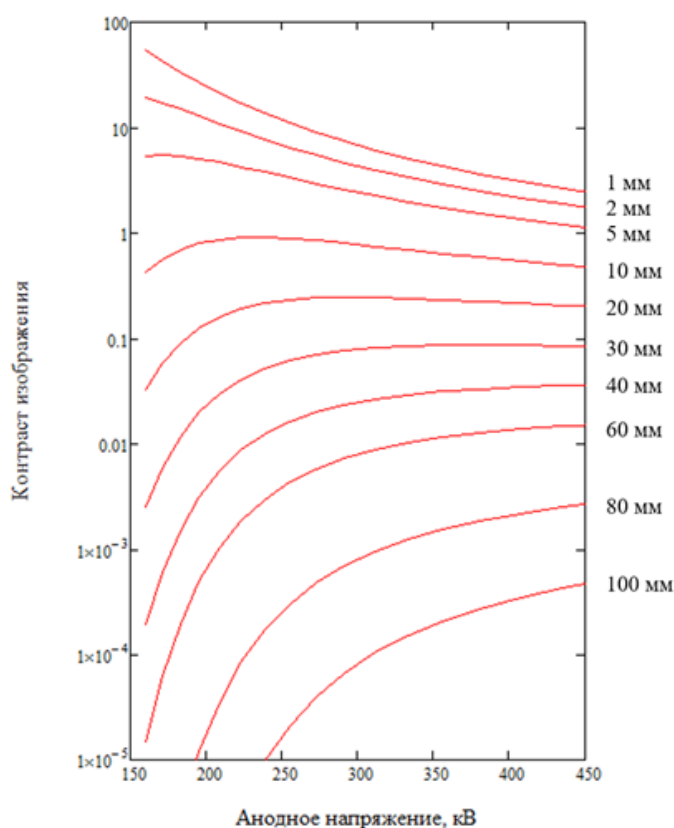
Таким образом, модель 1230 GadoxT является однозначно лучшим выбором для съемки толстых изделий. Модели с тонким сцинтиллятором (например, 1723 или 1025A) для съемки таких изделий однозначно непригодны. Универсальные детекторы 1230 могут быть использованы для радиографии достаточно толстых, но не сверх толстых изделий, при аккуратном выполнении остальных условий. На практике, используя аппарат постоянного анодного потенциала 300 кВ, Вы сможете снять на универсальный детектор 1230 детали толщиной до 65 мм или две стенки с суммарной радиационной толщиной 70-75 мм. Детектор 1230T дает возможность снимать толщины до 90 мм, а иногда и чуть больше.



Источник излучения

В руководстве по эксплуатации комплексов Цифракон есть набор графиков, показывающий при каких анодных напряжениях детектор обеспечивает наилучший контраст изображения для изделий различной толщины.

Как видно из графиков, для радиационной толщины 30 мм лучший контраст получается при анодных напряжениях от 300 кВ. Для толщин от 40 мм и более действует правило «чем больше анодное напряжение, тем лучше», а для толщин более 60 мм это правило следует понимать как «чем больше анодное напряжение, тем намного лучше».



На практике пользователям доступны портативные аппараты постоянного анодного потенциала 300 кВ (Eresco 65, ICM SITE-X CP300D, SMART 300 HP от Yxlon, отечественный РПД-300). Все эти аппараты мы проверили экспериментально, сравнив изображения на стальных изделиях большой толщины, полученные на различных аппаратах на один и тот же детектор в одинаковых условиях. Перечисленные аппараты мы готовы рекомендовать, как «честные 300 кВ».

Значительное количество полупериодных аппаратов с заявленным анодным напряжением от 300 кВ такую проверку не прошли. В зависимости от модели и партии аппаратов, изображение, получаемое на такой аппарат при анодном напряжении 300 кВ соответствует по качеству изображению с Eresco 65, работающему с напряжением от 230 до 260 кВ. Как видно из графиков, показанных на рисунке выше, для контрастного изображения толстых деталей важны каждые 20 кВ анодного напряжения.

Выбирайте, пожалуйста, честные 300 кВ аппараты и включайте их на максимальное напряжение. Как объясняют наши партнёры, ремонтирующие аппараты Eresco уже более 30 лет, если аппарат исправен, работа на максимальном напряжении ему не повредит. Если начались пробои по высокому напряжению - аппарат требует обслуживания: медленной тренировки или ремонта.

Существующие импульсные аппараты предлагают напряжение на разряднике в момент пробоя до 600 кВ. Мы проверили, насколько этот аппарат пригоден для контроля толстостенных изделий и, к сожалению, пришли к выводу, что получить контрастные изображения он не позволяет. Слишком мала доля квантов с высокой энергией, которые появляются в момент разряда. Основная доля излучения импульсных аппаратов – мягкое излучения, генерируемое при постепенном разряде электрической емкости через разрядник.

Отдельный вопрос – можно ли использовать панорамный рентгеновский аппарат вместо направленного, если направленного аппарата нет в наличии. Ответ – да, можно.

Учитывайте при этом два момента:

- мощность излучения панорамного аппарата в 1.6 раза меньше, чем мощность аналогичного направленного аппарата при тех же рабочих параметрах;
- размер фокусного пятна панорамного аппарата в направлении поперек его оси составляет 5-6 мм. Это может ограничить минимальное расстояние от аппарата до объекта контроля (см. ниже).

Перечислим правила организации оптимальной схемы контроля:

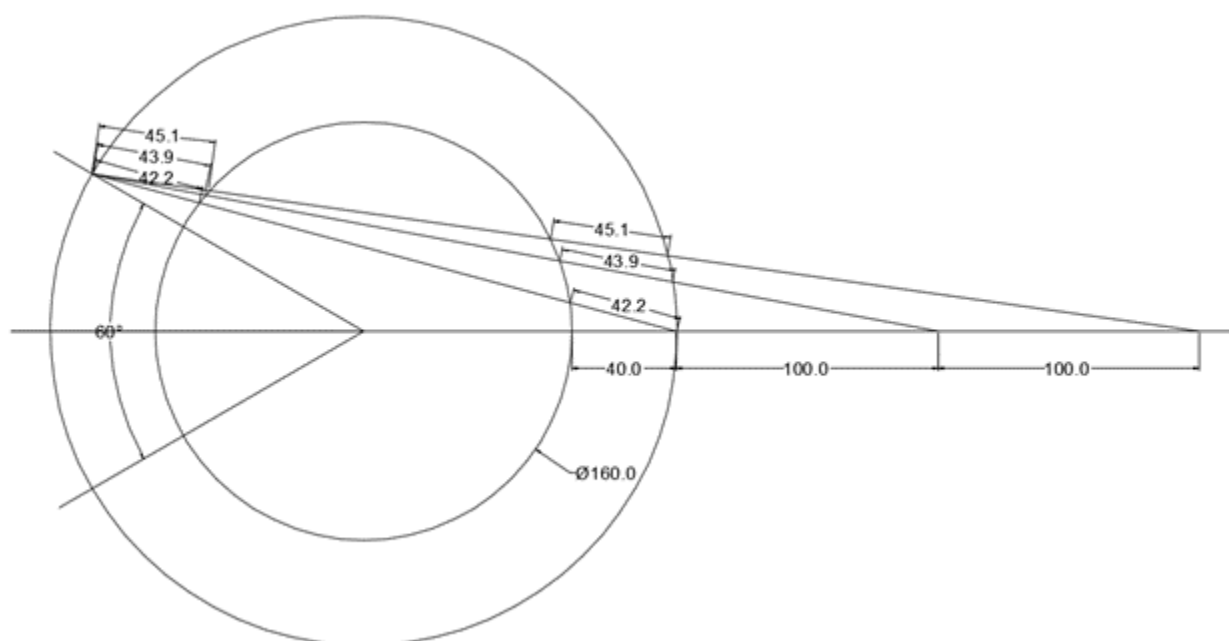
1. Детектор чем ближе к изделию, тем лучше

На практике детектор в чехле крепится на сварное соединение магнитами, штативами или другими подручными средствами или устанавливается рядом с изделием на пол. Убедитесь в том, что детектор стоит действительно максимально вплотную к изделию. В особенных случаях имеет смысл вынуть детектор из чехла.

2. Минимальная радиационная толщина

В простых случаях это правило сводится к установке источника на тонкую сторону разнотолщинного кольцевого стыка или выбору минимального угла наклона пучка к нормали к поверхности изделия. Для сложных деталей выбрать наилучший ракурс съемки поможет конструктор и компьютерная модель изделия

Особый и очень распространенный на практике случай – съемка толстостенной трубы через две стенки. На рисунке видно, что оптимальным с точки зрения минимизации радиационной толщины является положение источника излучения прямо на внешней поверхности трубы, что на практике реализуемо только для гамма-изотопов. Для трубы с внутренним диаметром 160 мм и толщиной стенки 40 мм радиационная толщина в центре снимка всегда будет 80 мм. При этом радиационная толщина на краях снимка сектора 60° увеличивается с 84.4 мм до 90.2 мм при удалении источника излучения на 200 мм от стенки трубы. Лишних 6 мм стали ослабит и без того слабое излучение, проходящее сквозь трубу еще сильнее. Вывод – ставьте аппарат как можно ближе к стенке.



3. Минимальный перепад радиационной толщины на всей зоне контроля

Это очевидное требование противоречит стремлению повысить производительность и получить за одну экспозицию изображение как можно большего участка изделия. Выбирайте по месту экспериментируя и считая, что быстрее.

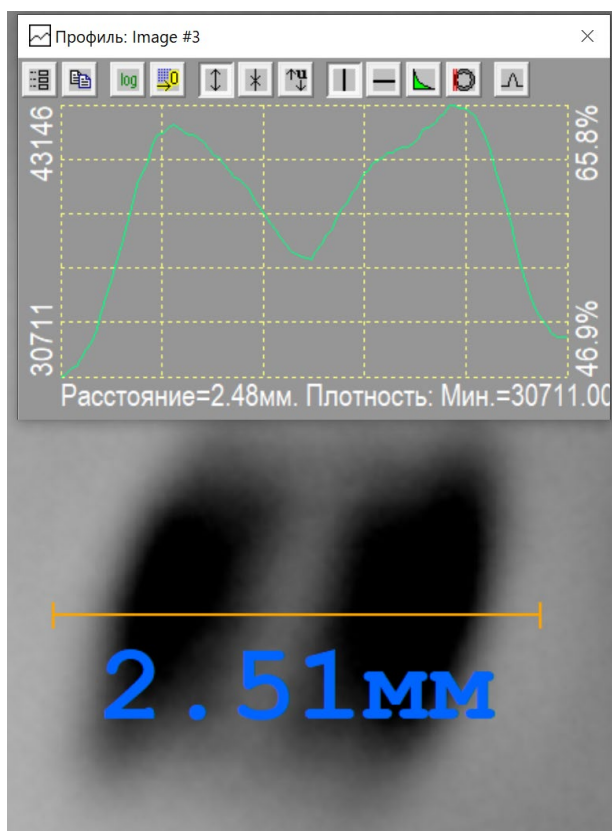
4. Аппарат настолько близко к детектору, насколько позволяет геометрическая нерезкость

Причина такого выбора очевидна – чем ближе аппарат к детектору, тем больше излучения, причем зависимость потока излучения от расстояния квадратичная. Расстояние от источника излучения до изделия ограничиваются существующими требованиями к геометрической нерезкости изображения. Традиционно геометрической нерезкости уделяется много внимания в нормативных документах. В ГОСТ ИСО 17636-2 расстояние от источника излучения до трубы регламентируется формулами 1,2,3,4 и номограммой на рис. 21.

Формулы там довольно сложны. Постараемся привести здесь более простое и интуитивно понятное правило для выбора разумного расстояния от источника до объекта контроля.

Расположим источник излучения как можно ближе к трубе, показанной на рисунке выше. Поскольку с гамма-изотопами мы работаем редко, и поставить источник излучения прямо на трубу не сможем, возьмем расстояние от стенки до фокусного пятна равное 100 мм.

Заявленный производителем размер фокусного пятна большинства аппаратов равен 3 мм по EN12543. Этот стандарт предписывает измерять размер почти всего фокусного пятна, от края до края. На практике геометрическая нерезкость лучше рассчитывается исходя из размера фокусного пятна измеренного примерно на уровне 50% от максимума излучения. Этот размер несложно измерить самостоятельно получив изображение фокусного пятна с помощью излучения, прошедшего на детектор через свинцовый лист с маленьким отверстием. Для аппаратов Egresco фокусное пятно представляет из себя два вытянутых максимума,



соответствующих двум витка спирали катодной нити. Размер фокусного пятна по уровню 50% от максимума составляет 1.5-2 мм. Такое же значение, 1.5 мм, заявлено производителем аппарата по стандарту измерения фокусного пятна IEC336.

Используя значение 1.5 мм, как размер фокусного пятна, можно оценить геометрическую нерезкость изображения из простой пропорции

$$1.5 \text{ мм} \times (40 \text{ мм}/300 \text{ мм}) = 0.2 \text{ мм}$$

Здесь 300 мм – расстояние от фокуса до внутренней стенки трубы, 40 мм расстояние от внутренней стенки до детектора, при условии, что вы поставили детектор вплотную к стенке (см. выше).

Вывод – выбранное положение аппарата вплотную к трубе даст требуемое стандартом 17636-2 пространственное разрешение, оно близко к оптимальному. Ставьте аппарат вплотную.

Стоит отметить, что в последнее время на рынке появились портативные острофокусные аппараты с анодным напряжением до 200 кВ (отечественный 0,3 СБК 200 С РК F 0,8x0,8) или 300 кВ (ICM CP300DS). Проверки показала, что заявленные производителями размеры фокусных пятен (от 0.5 мм до 1.2 мм) реальны. Используя подобные аппараты, вы можете ставить их вплотную даже к маленьким трубам.

5. Заблокировать рассеянное излучение, попадающее на детектор в обход контролируемого изделия

При съемке резервуара или сварного шва трубы через одну единственный путь, которым излучение может попасть на детектор – через объект контроля.

Совсем другая ситуация если вы снимаете объект через две стенки.

Излучение может попасть на детектор двумя нежелательными путями:

- Излучение, рассеянное ближней к аппарату стенкой изделия, приходит на детектор спереди.
- Излучение, рассеянное окружающими предметами, например стенками камеры или землей, приходит на детектор сзади.

При съемке толстых изделий используйте два простых приема, которые позволят вам существенно улучшить изображение:

- Установите на аппарат свинцовый коллиматор толщиной 6-12 мм. Это снизит дозу излучения в месте контроля и одновременно уменьшит сигнал, связанный с рассеянным излучением. Уровень серого на изображении уменьшится, но качество изображения улучшится примерно на «половину проволоки» эталона.

- Поставьте на заднюю сторону детектора какой-либо предмет, блокирующий мягкое рассеянное излучение. Достаточно 1 мм свинца или 3-4 мм стали. Для проверки эффекта от последнего приема можно закрыть половину сзади

половину детектора и посмотреть разницу между двумя половинами изображения. Как правило обратно рассеянное излучение накладывает на основное радиографическое изображение размытое изображение электроники самого детектора.

Подготовка изделия

Высокая шероховатость поверхности, чешуйчатость шва, окалина, грязь, жидкий продукт или осадок внутри трубы могут ухудшить изображение. Следите за тем, чтобы детектор и изделие были чистыми, шов зачищен.

Калибровка детектора

Не повторяя заново инструкцию по калибровке детектора, обратим внимание на особенности калибровки детектора при съемке толстых изделий:

- **Калибровка по плохим пикселям** – подходит стандартная калибровка. Ничего специально делать не нужно.
- **Калибровка по смещению.** Прогрейте детектор, включив его за 20-30 минут до начала работы. Тогда детектор не будет прогреваться в процессе съемки и калибровка по смещению, сделанная непосредственно перед началом съемки сработает оптимальным образом. Всегда проводите калибровку по смещению непосредственно перед съемкой. Установите достаточное количество кадров для калибровки по смещению. Калибровка по смещению не должна занимать время, сравнимое с временем экспозиции толстого изделия. При этом калибровка по смещению должна накапливать данные в течение 30-60 секунд.
- **Калибровка по усилению.** Плохо выполненная калибровка по усилению – типичная причина, по которой операторы не могут достичь требуемого качества изображения на толстых деталях. Основная проблема как правило заключается в том, что калибровка по усилению делается с небольшим числом кадров (небольшим временем экспозиции). Такая калибровка получается «шумной» и шум калибровки переносится при калибровке исходного не калиброванного, но чистого изображения и делает итоговое изображения шумным.

Придерживайтесь следующих правил:

- Выполните калибровку по усилению на том же уровне усиления, на котором будете проводить съемку.

- Если вы работаете с детекторами Цифракон 2532 выберите для калибровки по усилению тоже время экспозиции, которое вы собираетесь использовать при съемке. Это правило также необходимо соблюдать для детектора Цифракон 1723, но этот детектор плохо применим для съемки толстых изделий.

Для детекторов Цифракон 1230, 1025A, 2531, 3543 это правило соблюдать не обязательно.

- Прогрейте детектор до начала калибровки по усилению, также как и перед началом работы (см. выше).

- Используйте для калибровки рентгеновский аппарат постоянного

анодного потенциала. Достаточно напряжения 150-160 кВ, даже если снимать потом вы будете на аппарат с напряжением 300 кВ или выше.

- Установите достаточное число кадров для калибровки по усилению. Например, вы проводите съемку с временем экспозиции 20 сек и накапливаете 20 кадров, получая уровень серого 10000. Тогда вам достаточно будет выполнить калибровку также с временем экспозиции 20 сек и с накоплением 20 кадров при условии, что средний уровень серого при калибровке будет не менее 20000. То есть произведение (количество кадров) $\times$ (время экспозиции) $\times$ (средний уровень серого) при калибровке по усилению должен быть как минимум в 2 раза больше, чем тоже самое произведение при съемке.

Параметры контроля

При съемке толстых изделий выбирайте параметры контроля по следующему алгоритму:

1. Напряжение на аппарате – чем выше, тем лучше (см. выше)
2. Ток на аппарате – чем выше, тем лучше
3. Уровень усиления – как правило 100%
4. Время экспозиции – достаточное, чтобы получить средний уровень серого не менее 2000-4000 отсчетов. Не следует стремиться к уровню серого 25000 устанавливая слишком большие (более 60 секунд) времена экспозиции. Это может привести к лишнему шуму, вызванному прогревом детектора в процессе работы после калибровки по смещению.
5. Количество кадров – столько, сколько нужно, чтобы добиться требуемого качества изображения. Увеличивайте количество кадров постепенно и следите за тем, как увеличение количества кадров влияет на качество изображения. Если вы все сделали правильно, то качество будет сперва расти по правилу «удвоение числа кадров дает еще одну проволоку на эталоне и увеличивает SNRn в 1.4 раза». При дальнейшем увеличении числа кадров улучшение изображения будет замедляться и наконец полностью прекратится. Это значит, что вы вышли на предел качества для данного источника излучения, контролируемого изделия, схемы контроля и детектора.

Если вы добились качества на уровне 2% от общей радиационной толщины по стали – что-то не так. Точно можно улучшить. 1% - хорошая качественная работа. 0.5% - вы мастер и вышли на известный нам предел чувствительности для цифровой радиографии, лучше 0.5% - позвоните нам, пожалуйста, и расскажите, как вам это удалось.

- Опыт внедрения ЦР на производстве полимеров
- Опыт внедрения ЦР в судостроении
- Динамический диапазон КЦР Цифракон и Транскан на примере снимка СОП



Эти и другие статьи читайте на нашем сайте

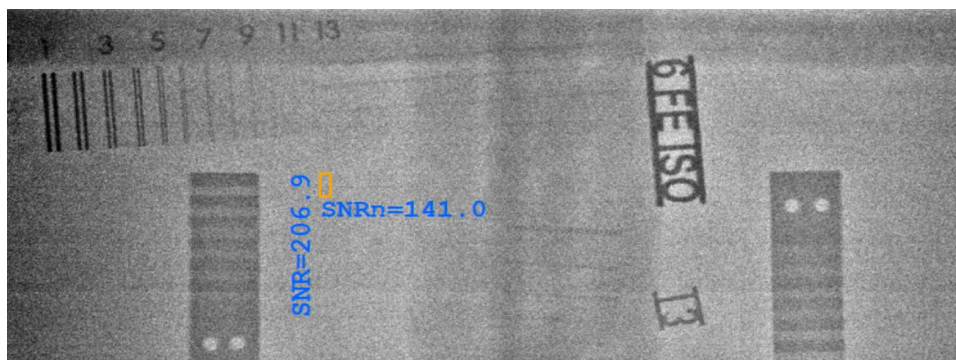
Если вы все прочли и поняли, то можете теперь сами дать рекомендации для съемки по заданным в начале вопросам:

Здравствуйте, хотела узнать подойдет ли Цифракон 1230 для контроля качества детали диаметром 160, толщиной 80 мм. И какая максимальная чувствительность может быть достигнута на Цифраконе.

- Цифракон 1230 подойдет, но лучше использовать Цифракон 1230 GadoxT.
- Если 80 мм – суммарная толщина, например труба с внутренним диаметром 160 мм и стенкой 40 мм, то реально получить чувствительность 0.63-0.8 мм с аппаратом 300 кВ x 3 мА с свинцовым коллиматором. Аппарат поставлен вплотную к трубе. Время экспозиции примерно 300 секунд (например, 15 кадров x 20 секунд). Если мы неправильно поняли и деталь сильно отличается – лучше прислать эскиз.

Здравствуйте! Не могу никак добиться чувствительности на D1200 x 70мм, просвет- направленная Eresco 300. Ставим 280кВ, 3.0мА, 120 сек на 2 экспозиции, плотность снимка около 25000, но чувствительность плохая, фокусное расстояние было около 400мм. Помогите, пожалуйста, какие подобрать параметры...

- Ставьте 300 кВ x 3 мА, не бойтесь Eresco выдержит. Коллиматор не обязательно нужен, но хуже не будет.
- 400 мм – правильное расстояние.
- Откалибруйте детектор заново, на усилении 100%, суммарное время проведения калибровки должно быть не менее 300 секунд (например, 60 кадров x 5 сек) при уровне серого на калибровочном изображении не менее 20000.
- Прогрейте детектор перед калибровкой по усилению и перед работой.
- Снимайте на времени экспозиции около 20 секунд.
- Вполне реально получить чувствительность 0.4 – 0.5 мм



Чувствительность 0.5 мм на стенке 75 мм. 300 кВ x 3 мА. 20 секунд x 12 кадров. SDD = 0,5 м



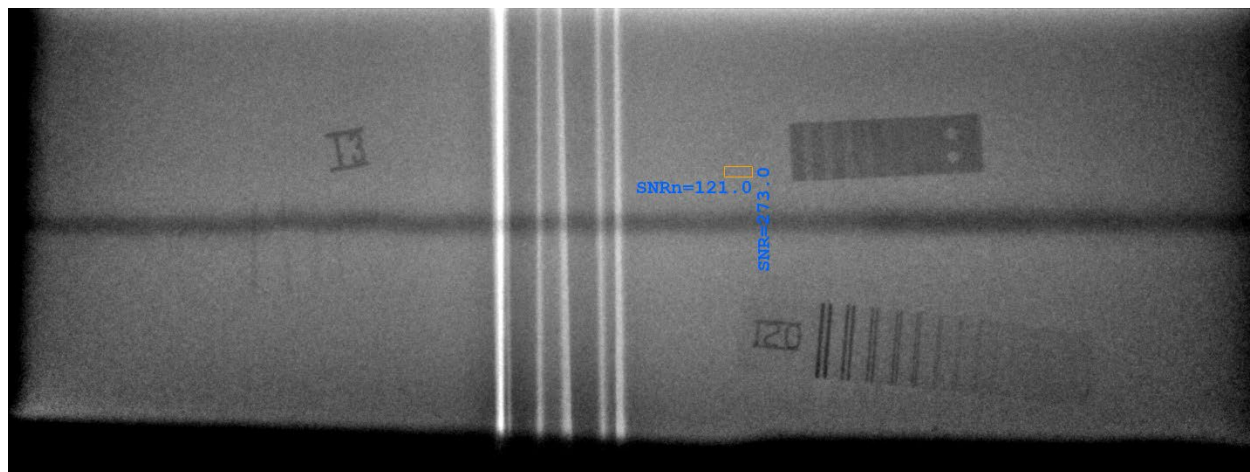
ЦР изделий с большой радиационной толщиной - практикум

Для наглядности давайте посмотрим, как изменяется изображение, если мы будем менять по одному различные параметры контроля.

Сталь 74 мм, SDD = 500 мм, 300 кВ x 3 мА, коллиматор, IQI со стороны источника
Детектор 1230T, усиление 100% 3 сек x 10 кадров, детектор закрыт сзади свинцовой резиной Pb 1 мм.

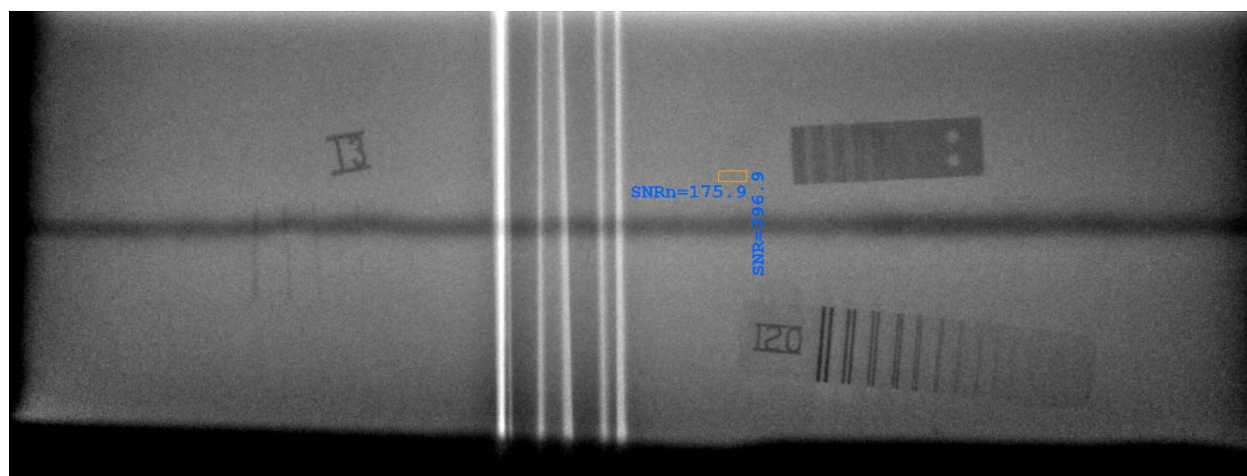
Чувствительность 0.8 мм – класс А по ГОСТ ИСО 17636-2.

Уровень серого – от 4000 до 5000. SRbimage = 0.25 мм – класс А по ГОСТ ИСО 17636-2

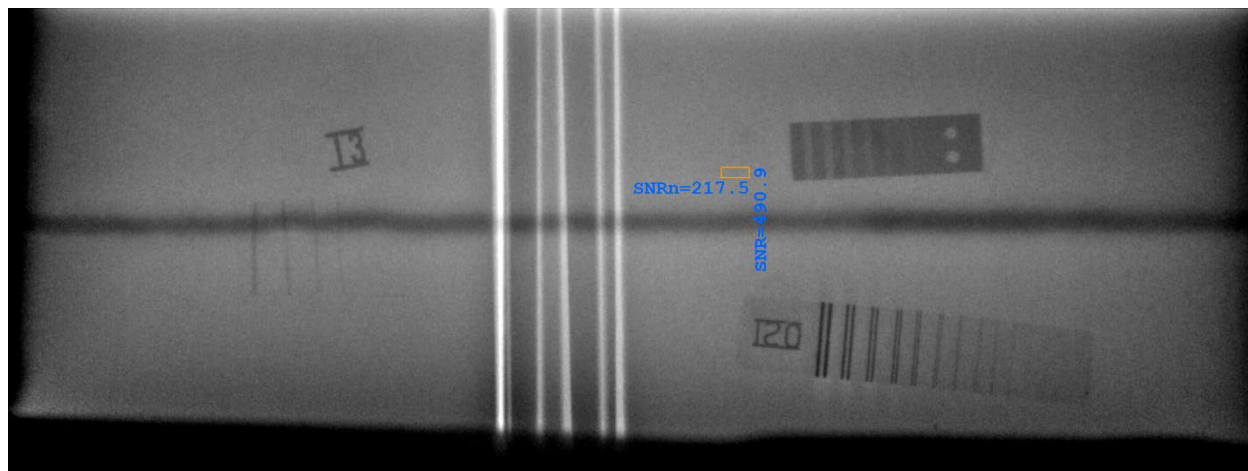


Увеличиваем число кадров стараясь повысить качество изображения.

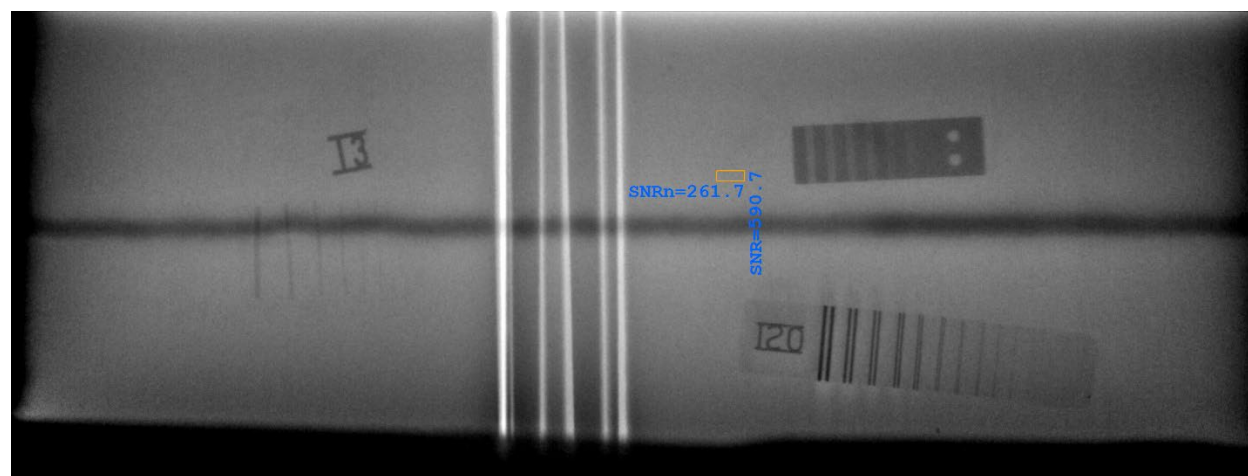
Сталь 74 мм, SDD = 500 мм, 300 кВ x 3 мА, коллиматор, IQI со стороны источника
Детектор 1230T, усиление 100% 3 сек x 20 кадров, детектор закрыт сзади свинцовой резиной Pb 1 мм. Чувствительность 0.63 мм.



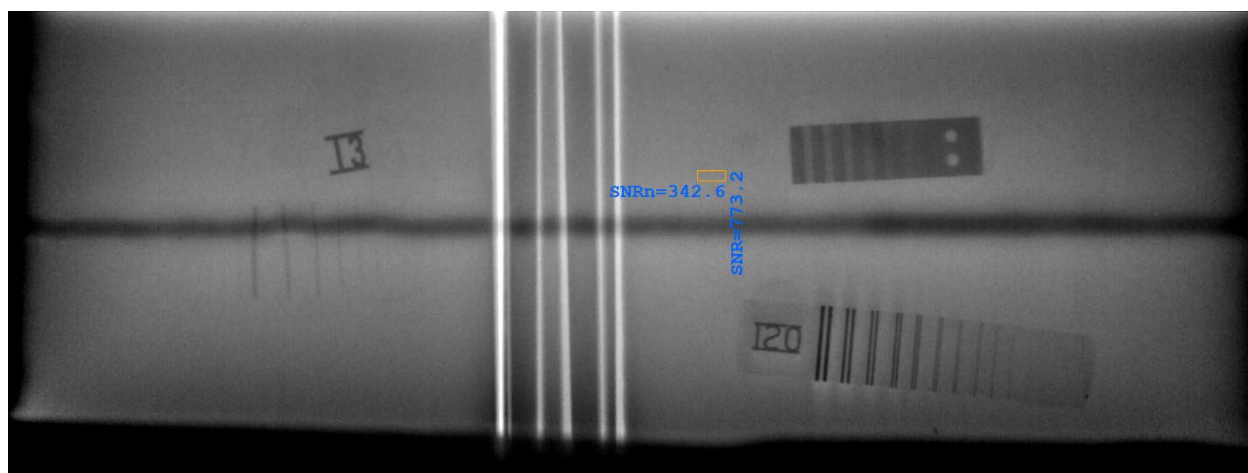
Сталь 74 мм, SDD = 500 мм, 300 кВ x 3 мА, коллиматор, IQI со стороны источника
Детектор 1230Т, усиление 100% 3 сек x 40 кадров, Детектор закрыт сзади
свинцовой резиной Pb 1 мм. Чувствительность 0.63 мм.



Сталь 74 мм, SDD = 500 мм, 300 кВ x 3 мА, коллиматор, IQI со стороны источника
Детектор 1230Т, усиление 100% 3 сек x 80 кадров,
Детектор закрыт сзади свинцовой резиной Pb 1 мм. Чувствительность 0.5 мм.



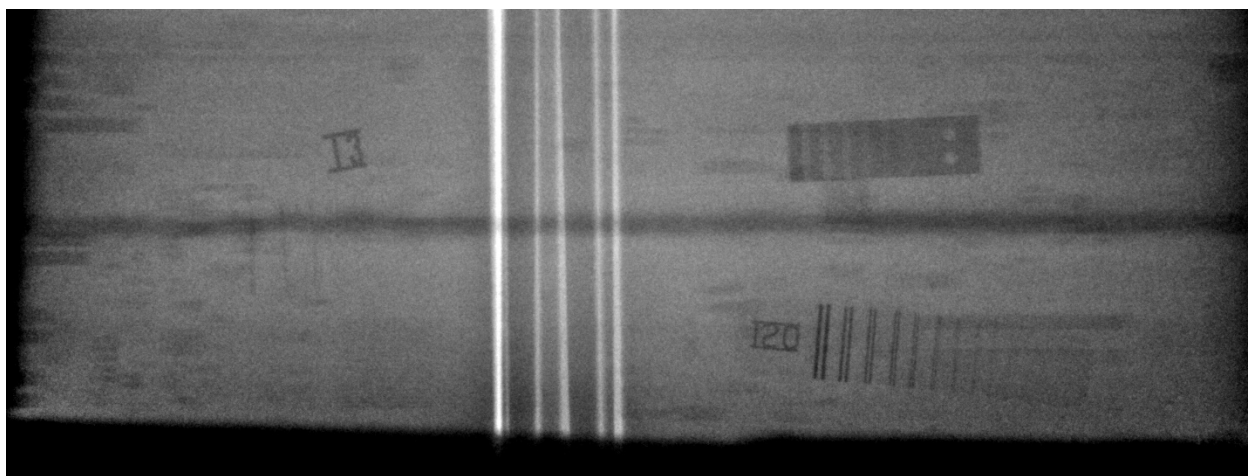
Сталь 74 мм, SDD = 500 мм, 300 кВ x 3 мА, коллиматор, IQI со стороны источника.
Детектор 1230Т, усиление 100% 3 сек x 160 кадров, детектор закрыт сзади
свинцовой резиной Pb 1 мм. Чувствительность 0.5 мм.
SNRn по проволока 0.32 мм видна нечетко. 0.32 мм – меньше, чем 0.5% от
радиационной толщины. Мы близки к пределу чувствительности технологии.



Вернемся к первому изображению, но уберем свинцовую резину со спины детектора.

Сталь 74 мм, SDD = 500 мм, 300 кВ x 3 мА, коллиматор, IQI со стороны источника
Детектор 1230Т, усиление 100% 3 сек x 10 кадров. Резина на обратной стороне детектора отсутствует. Чувствительность 0.8 мм – класс А по ГОСТ ИСО 17636-2.
Уровень серого – от 4000 до 5000.

На изображении видны тени от электроники детектора, создаваемые излучением, рассеянным стенками камеры и проходящими через заднюю стенку детектора на его матрицу.

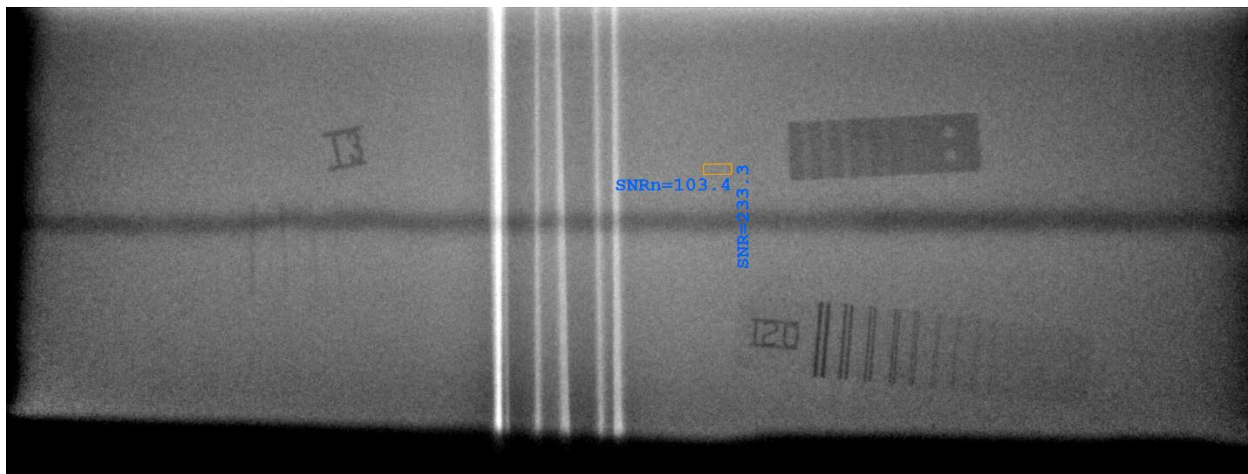


Вернемся к первому изображению и теперь снизим анодное напряжение аппарата.

Сталь 74 мм, SDD = 500 мм, 280 кВ x 3.2 мА, коллиматор, IQI со стороны источника
Детектор 1230Т, усиление 100% 3 сек x 10 кадров. Детектор закрыт сзади свинцовой резиной Pb 1 мм.

Чувствительность 0.8 мм – класс А по ГОСТ ИСО 17636-2.

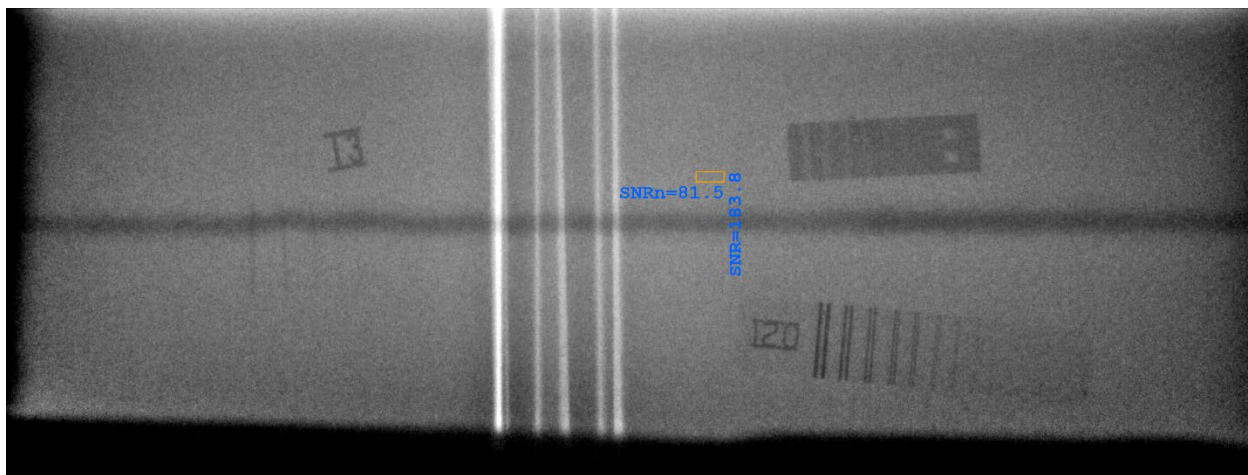
Уровень серого – от 3500 до 4000. Требование по SNRn выполняется с трудом.



Сталь 74 мм, SDD = 500 мм, 260 кВ x 3.4 мА, коллиматор, IQI со стороны источника.
Детектор 1230Т, усиление 100% 3 сек x 10 кадров,
Детектор закрыт сзади свинцовой резиной Pb 1 мм.

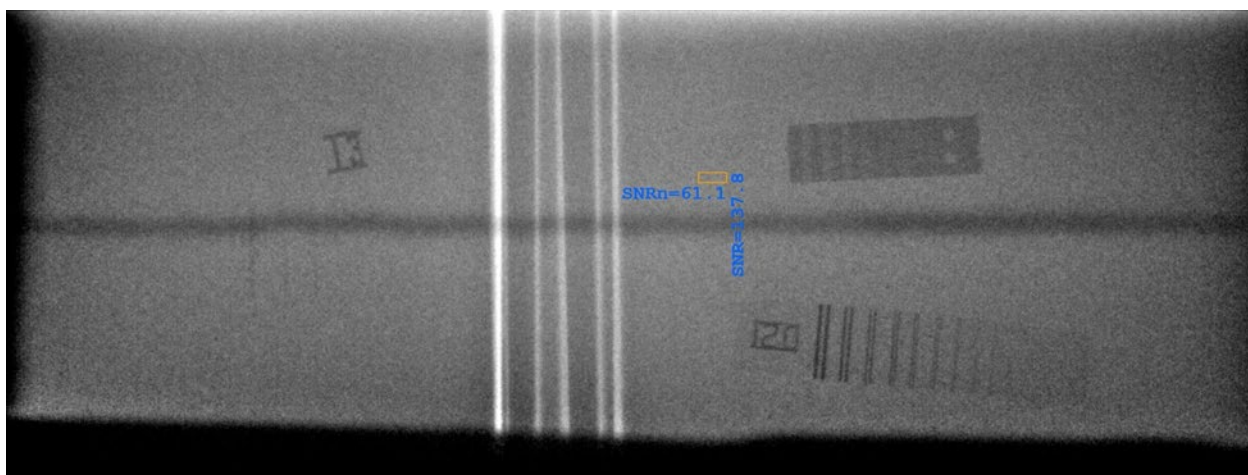
Чувствительность 0.8 мм – класс А по ГОСТ ИСО 17636-2.

Уровень серого – от 2500 до 3000. Требование по SNRn не выполняется.
(снимок ниже)



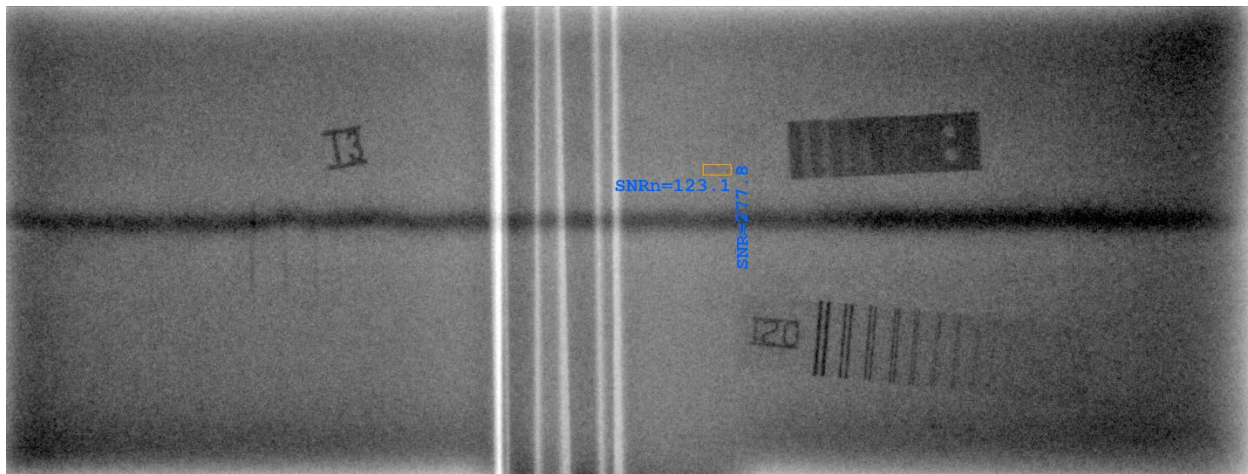
Сталь 74 мм, SDD = 500 мм, 240 кВ x 3.6 мА, коллиматор, IQI со стороны источника
 Детектор 1230Т, усиление 100% 3 сек x 10 кадров. Детектор закрыт сзади
 свинцовой резиной Pb 1 мм. Чувствительность 0.6 мм. Не выполнено требование
 по классу А по ГОСТ ИСО 17636-2.

Уровень серого – от 1500 до 2000. Требование по SNRn не выполняется.



**Вернемся еще раз к исходному изображению и попробуем убрать коллиматор с
 рентгеновского аппарата.**

Сталь 74 мм, SDD = 500 мм, 300 кВ x 3 мА, без коллиматора, IQI со стороны
 источника. Детектор 1230Т, усиление 100% 3 сек x 10 кадров. Детектор закрыт
 сзади свинцовой резиной Pb 1 мм. Чувствительность 0.8 мм – класс А по ГОСТ ИСО
 17636-2. Уровень серого – от 5500 до 6000. Уровень серого вырос, SNRn немного
 вырос, но качество немного ухудшилось (сравните видимость 4-й проволоки)



Если у вас остались какие-то вопросы по данной теме или вы хотели бы предложить какую-то тему для статьи – пишите нам!
klient@digital-xray.ru

**Цифровая
радиография**

теперь и в

RUTUBE

Подписывайся!



Перепечатка или использование любых материалов из данной статьи возможны только с письменного разрешения правообладателя © ООО «Центр Цифра».

