

# ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ РАДИОГРАФИИ НА ОСНОВЕ ЗАПОМИНАЮЩИХ ПЛАСТИН ДЛЯ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НЕФТЕ- И ГАЗОПРОВОДОВ

THE APPLICATION OF COMPUTED RADIOGRAPHY-BASED PHOSPHORUS  
PLATES FOR TESTING OF WELDED JOINTS OF OIL AND GAS PIPELINES

**К.А. БАГАЕВ**  
**А.Н. ВАРЛАМОВ**

технический директор, ООО «Ньюком-НДТ»  
начальник лаборатории неразрушающего контроля  
Управления Аварийно-Восстановительных Работ  
ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург»

Санкт-Петербург  
kb@newcom-ndt.ru

**K.A. BAGAIEV**  
**A.N. VARLAMOV**

Technical director, Newcom NDT LLC  
Head of the Laboratory of Nondestructive Testing, the rescue and recovery operations office. «Gazprom-Transgaz»

Saint-Peterburg

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

компьютерная радиография, цифровая радиография, фосфорные пластины, рентгеновская плёнка

**KEYWORDS:**

computed Radiography, Digital Radiography, X-Ray films, phosphorus plates

В статье рассмотрена технология компьютерной радиографии с помощью запоминающих пластин. Обсуждаются преимущества цифровой радиографии перед плёночной. Освещается физика процесса взаимодействия рентгеновского излучения с фосфорными пластинами, обсуждаются способы подбора времени экспозиции при контроле с помощью пластин. Рассказывается о применении компьютерной радиографии для контроля сварных соединений трубопроводов.

The article describes the Computed Radiography technology using the phosphorus plates. The review of digital radiography advantages is presented. The article highlights the physics of the X-rays interactions with the phosphorus plate material. Also methods of choosing the exposure time are discussed. Article demonstrates the application of Computed Radiography for the NDT purposes in welded joints of pipelines.

## Введение

Рентгеновская радиография на протяжении многих лет является одним из наиболее востребованных методов неразрушающего контроля. С момента появления этого метода НК основным и, по сути, единственным детектором рентгеновского излучения являлась рентгеновская плёнка. Однако с развитием техники появилось несколько альтернативных детекторов для рентгеновской радиографии.

На смену рентгеновской плёнке всё активнее приходят линейные и плоскостные детекторы (ЛД и ППД), рентгено-телевизионные системы и комплексы на основе рентгеновских электронно-оптических преобразователей (РЭОП), системы компьютерной радиографии с запоминающими многократными пластинами.

В последние годы также прослеживается тренд по оцифровке архивов рентгеновских плёнок с помощью специальных сканеров. В результате данной процедуры аналоговый сигнал с рентгеновской плёнки конвертируется в цифровой формат и сохраняется в виде файла на компьютере, т.е. рентгеновский снимок объекта – это набор точек с различными уровнями интенсивности серого цвета.

## Компьютерная радиография с применением запоминающих пластин

Компьютерная радиография с применением запоминающих многократных пластин все активнее приходит на смену традиционной плёночной радиографии. Крупные корпорации, такие как «Транснефть» или «Газпром» разрабатывают новые и вносят изменения в имеющиеся стандарты организаций с учётом технологии цифровой радиографии [1], [2].

Предлагаемые на рынке системы ком-

пьютерной радиографии обычно состоят из трёх частей:

1. Сканер для считывания и очистки пластин.
2. Запоминающие многократные пластины.
3. Программное обеспечение, установленное на компьютере и предназначенное для управления сканером, считывания и обработки изображений.

Для использования систем компьютерной радиографии также необходима методика проведения радиографического контроля, которая должна содержать указания по выбору типа запоминающей пластины, времени экспонирования, режима считывания изображения сканером и т.д.

## Преимущества систем компьютерной радиографии на пластинах

Компьютерная радиография с помощью запоминающих пластин имеет ряд существенных преимуществ перед традиционной радиографией на плёнку:

1. Возможность применения в полевых условиях. Применение запоминающих пластин практически не отличается по условиям от рентгеновской плёнки. Они легко гнутся и могут быть обернуты вокруг сварного шва трубопровода; для пластин не требуется внешнего источника электроэнергии, создания каких-то особых условий контроля – все это является конкурентным преимуществом плёнки и пластин в сравнении с ППД, РЭОП, которые затруднительно применять при контроле нефте- и газопроводов.
2. Отсутствие химической обработки. Как известно, для получения снимка на рентгеновскую плёнку необходимо провести ряд операций, затратных с точки зрения времени, денег и экологической безопасности. Рентгеновскую плёнку

требуется проявлять, закреплять, промывать и сушить – для чего используются передвижные или стационарные фотолаборатории. Происходит постоянный расход химикатов. При этом время получения снимка после экспонирования на плёнку составляет не менее десяти минут. В случае запоминающих фосфорных пластин химическая обработка не требуется. После экспонирования пластину необходимо вставить в специальный сканер, который считывает изображение с пластины. Вся операция занимает от нескольких секунд до нескольких минут, в зависимости от размера пластины и режима считывания.

3. Возможность многократного использования пластины. После того, как считывающий сканер получил изображение с запоминающей пластины, её подвергают очистке. Процедура осуществляется специальным встроенным мощным лазером, т.е. процесс считывания снимка и очистка пластины происходят последовательно и не расходует дополнительное время. Сразу же после очистки пластина готова к повторному использованию.
4. Высокая чувствительность. Запоминающие пластины не уступают в чувствительности рентгеновской плёнке, а во многих случаях превосходят её.
5. Высокое пространственное разрешение. Имеющиеся на рынке системы компьютерной радиографии могут обеспечить пространственное разрешение до 12,5 мкм. Такое пространственное разрешение позволяет использовать их не только для контроля нефте- и газопроводов, но также в атомной и авиационной промышленности. При контроле трубопроводов достаточно разрешения в 50-100 мкм.

6. Широкий диапазон возможных экспозиций объекта контроля. Считывающий сканер обычно обладает широким диапазоном режимов усиления. Это означает, что в зависимости от выбора усиления снимок может быть более или менее ярким. Например, при первичной оцифровке пластины сигнал получился неярким. Тогда, если пластина не была очищена, её можно ещё раз оцифровать, но с уже более высоким усилением. В этом случае снимок станет более тёмным и приемлемым для анализа и расшифровки. Регулировка усиления особенно полезно при подборе режима контроля или при применении слабых импульсных аппаратов.

7. Снимок объекта контроля сразу же получается в цифровом формате. С учётом того, что в последнее время многие крупные компании предъявляют требование к оцифровке рентгеновских снимков, полученных на плёнку, это является дополнительным экономическим преимуществом запоминающих пластин. (Процедура оцифровки рентгеновских плёнок весьма дорогостоящая ввиду того, что на рынке мало представлено оборудование, способное оцифровать плёнки с высокой плотностью потемнения и при этом обеспечить низкий уровень шумов).

8. Удобство хранения информации. Рентгеновские плёнки необходимо сохранять от года до нескольких лет в зависимости от руководящих документов организаций. Хранение плёнки подразумевает наличие специальных помещений, с определённой температурой и влажностью. При этом поиск конкретной плёнки весьма затруднён. Снимки, полученные с помощью запоминающих пластин, можно хранить как на сервере предприятия, так и в архиве на CD или DVD дисках. Процедура хранения не требует организации специального помещения, поиск нужного снимка осуществляется очень быстро – с помощью компьютера. Это ещё одно экономическое преимущество запоминающих пластин.

#### Особенности применения систем компьютерной радиографии

Существует несколько важных аспектов, которые необходимо учитывать при использовании запоминающих пластин.

- Правильное обращение с пластинами. Срок службы пластины во многом определяется аккуратностью обращения с ней. При правильной эксплуатации, пластину можно использовать несколько тысяч раз (в зависимости от типа и производителя). Пластины необходимо держать в специальных защитных чехлах из мягкого материала, предотвращая появление царапин. Их нельзя сильно скручивать, резко перегибать. Нужно правильно подбирать размер пластин под конкретную задачу. Не рекомендуется использовать очень длинные пластины, так как они больше подвержены механической деформации.
- Правильный подбор источника рентгеновского излучения. Чувствительность запоминающих пластин превосходит

чувствительность рентгеновской плёнки в области низких энергий излучения – до 200 кэВ и уступает при высоких энергиях – порядка 1 МэВ. В связи с этим при контроле на запоминающие пластины рекомендуется в качестве источника излучения использовать рентгеновские аппараты, а не источники – радионуклиды.

- Правильное расположение пластин. При установке пластин на объекте контроля желательно избегать прямой засветки рентгеновским излучением, т.к. прямое попадание излучения может оставлять на пластинах области с максимальной интенсивностью засветки. Для стирания этих областей требуется пропустить пластину через устройство очистки несколько раз, что замедляет процесс работы. Данное неудобство отсутствует при контроле сварных швов трубопроводов. Его также можно минимизировать правильным подбором размера пластины, установкой защитных масок или специальных тонких фильтров рентгеновского излучения.
- Правильный учёт внешнего освещения. Запоминающие пластины можно использовать при обычном освещении. Однако яркий солнечный свет содержит компоненты спектра, которые стирают изображение с пластины. В связи с этим её нельзя вынимать из защитного чехла до оцифровки, саму оцифровку нужно производить в помещении, куда не попадает солнечный свет и отсутствует очень яркое освещение.
- Правильный подбор времени экспозиции пластин и режима усиления сканера. Для того, чтобы добиться максимальной чувствительности контроля в зависимости от толщины объекта контроля, необходимо подобрать напряжение на рентгеновской трубке, выбрать пространственное разрешение и тип пластины, установить величину усиления в считывающем сканере таким образом, чтобы время экспозиции было минимальным. Эти величины подбираются либо экспериментальным способом, либо с помощью компьютерного моделирования. В дальнейшем они должны быть вписаны в методику или технологическую карту контроля.

#### Подбор времени экспонирования на запоминающие пластины с помощью компьютерного моделирования

На кафедре «Экспериментальной ядерной физики» СПбГПУ разработан метод моделирования прохождения гамма-квантов и электронов через вещество и на его основе создан программный комплекс «МСС 3D» (Monte Carlo Calculation 3D, [3], [4], [5]) для расчета функций отклика детекторов. Программа позволяет моделировать взаимодействия гамма квантов, электронов и позитронов с атомами различных веществ. Для расчетов используются современные базы данных по сечениям взаимодействия частиц с веществом. С помощью достаточно простого интерфейса можно создавать трехмерные модели объектов. Существует возможность создания объемных и точечных источников излучения. Спектральный состав источников может быть непрерывным, моноэнергетическим, каскадным.

Таким образом, существует возможность моделирования спектров от традиционных источников, применяемых в радиографическом контроле – рентгеновских трубок и радионуклидов. На программный комплекс «МСС 3D» получен сертификат из института метрологии им. Менделеева – ВНИИМа – подтверждающий, что программа адекватно описывает процессы взаимодействия гамма- и электронного излучения с веществом в энергетическом диапазоне характерном для целей неразрушающего контроля.

Комплекса «МСС 3D» используется для подбора времени экспозиции несколькими организациями, работающими в области НК. В частности, для выбора времени экспозиции при контроле сварных соединений трубопроводов. Результаты компьютерного моделирования дают хорошее согласие с экспериментом и позволяют правильно подобрать время и режим экспонирования, без трудоёмкой и затратной с точки зрения времени процедуры, которую пришлось бы проводить в полевых условиях. Комплекс «МСС 3D» также может быть применён для правильного подбора режима работы рентгеновской трубки – для достижения требуемой чувствительности контроля при минимальном времени экспозиции [5].

Резюмируя, можно отметить, что компьютерное моделирование позволяет сэкономить время подготовки к контролю объекта и добиться оптимального значения чувствительности контроля при минимальном времени экспозиции.

#### Применение запоминающих пластин при контроле сварных соединений трубопроводов.

В лаборатории неразрушающего контроля Управления Аварийно-Восстановительных работ филиала ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург» проводились испытания одной из известных систем компьютерной радиографии на предмет ее возможности применения при контроле сварных соединений, а также с целью выявления достоинств и недостатков системы. Оценивались чувствительность контроля и выявляемость дефектов, особенность технологии использования запоминающих пластин при проведении просвечивания, а также проводился подбор оптимальных режимов просвечивания и параметров сканирования для выявления наилучшей чувствительности контроля.

Испытания системы проводились на следующих объектах:

##### 1. Волховское ЛПУМГ:

- конкурс сварщиков;
- огневые работы по выполнению захлеста г. о. к ГРС «Волхов-1» и подключению г. о. к МГ «Грязовец-Ленинград»;
- огневые работы на крановом узле 515-2.7.

##### 2. Валдайское ЛПУМГ, ГРС «Короцко».

##### 3. Колпинское ЛПУМГ:

- подключение участка на ГРС «Шоссейная», лупинг-2;
- монтаж АГРС, выход на АГНКС и вход на АГРС «Радуга».

При испытании проводилось просвечивание сварных стыков труб диаметром от

32 до 720 мм, с толщинами стенок от 4 до 10 мм. Со стороны источника излучения были установлены канавочные эталоны чувствительности по ГОСТ 7512-82 [6]. Параметры просвечивания соответствовали требованиям ГОСТ 7512-82 [6] и ГОСТ 20426-82 [7].

Просвечивание проводилось импульсными рентгеновскими аппаратами «Арина-3», «Арина-5» и «Арина-7».

По результатам испытаний можно отметить следующие преимущества цифровой радиографической системы:

- при часто возникающей ситуации нестабильной работы рентгеновских аппаратов в трассовых условиях, можно добиться требуемой чувствительности контроля на пластине путем подбора параметров сканирования и обработки изображения (повышение или понижения контрастности, его затемнения или осветления) – это также актуально при разнотолщинности сварного соединения;
- пластины можно использовать повторно – несколько тысяч циклов без потери качества изображения;
- при расшифровке снимков с использованием системы не требуются негатоскоп, денситометр и фотолаборатория;
- существует возможность быстрого и точного определения размеров отмеченных на снимке дефектов;
- существует возможность выдачи заключения по результатам контроля в установленной форме, заключение и изображения можно отправить по электронной почте для консультаций со специалистами

в головном офисе.

- все операции дефектоскописта со снимком протоколируются;

Были выявлены также недостатки и вопросы, требующие доработки. Для увеличения эффективности работы, программное обеспечение комплекса должно включать в себя следующие возможности:

1. распознавать сварные соединения малых диаметров (Ø57, Ø89, Ø108 мм), просвеченные на эллипс. Использовать эти области снимка в целях автоматической расшифровки.
2. распознавать и классифицировать все типы дефектов согласно нормативной документации, по которой ведётся контроль (СТО Газпром [1], РД Транснефть [2] и т.д).
3. автоматически применять критерии по уровням качества в соответствии с нормативной документации, оценивать допустимость размеров дефектов и выдавать решение о годности или негодности сварного соединения.
4. распознавать мерный пояс на сварном соединении и выдавать координаты недопустимых дефектов по текущей координате пояса.

#### Вывод

Системы компьютерной радиографии имеют много преимуществ перед рентгеновской пленкой и при соответствующем развитии программного обеспечения, применении современных средств компьютерного моделирования смогут существенно облегчить контроль стыков нефте- и газопроводов.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ОАО «АК «ТРАНСНЕФТЬ» РД 19.100.00-КТН-001-10 «Неразрушающий контроль сварных соединений при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов».
2. ОАО «Газпром» Стандарт Организации «Газораспределительные системы. Методика проведения рентгенографического контроля сварных соединений стальных газопроводов с применением метода цифровой рентгенографии», СТО Газпром 2-2.3-561-2011.
3. К.А.Багаев, С.С.Козловский, И.Э. Новиков, Программа для имитационного трёхмерного моделирования систем детектирования и регистрации ионизирующего излучения на базе развитого графического интерфейса. Журнал «Анри» №4 (2007) 35-40.
4. К.А. Багаев. Расчёт активности источника по поглощённой в детекторе дозе с помощью компьютерного моделирования. Доклад на Всероссийском Форуме «Наука и инновации в технических университетах», СПб, СПбГПУ (2007) 7-8.
5. С.С. Козловский, К.А. Багаев, Выбор типа рентгеновской трубки и времени экспозиции с помощью компьютерного моделирования. Ежеквартальное журнальное обозрение «В мире НК» №1 (39) (2008) 61-62.
6. ГОСТ 7512, Контроль неразрушающий, соединения сварные, радиографический метод.
7. ГОСТ 20426-82, Контроль неразрушающий, методы дефектоскопии.



## Система компьютерной радиографии Duerr HD-CR 35 NDT – это:

- Высококачественная техника из Германии, сертифицированная BAM\* по классу чувствительности IP1 в соответствии со стандартом EN14784-1 и IP Special по стандарту ASTM E 2446 с пространственным разрешением 40 мкм.
- Высочайшее сканирующее разрешение от 25 мкм, позволяющее контролировать детали для авиа-космической и атомной промышленности.
- Минимальный вес и габариты оборудования, высокая надёжность, низкое энергопотребление, возможность работы от аккумуляторов – все это позволяет использовать его в полевых условиях.
- Программное обеспечение «X-Vizor» (св-во о регистрации № 2012610620), разработано специально для российских потребителей, осуществляющих контроль по ГОСТ 7512, СТО Газпром 2-2.4-083-2006, СТО Газпром № 2-2.3-561-2011, РД Транснефть 19.100.00-KTN-001-10 и другим нормативным документам.

 **Гарантия качества – сделано в Германии!**

\* Федеральный Институт Исследования и Тестирования материалов, Берлин, Германия.



## Автоматический сканер Duerr HD-CR 43 NDT

исключает механическое повреждение активной поверхности пластины за счет жесткой кассеты и специального подающего устройства внутри сканера и позволяет достичь более 20 000 (двадцати тысяч!) циклов записи/стирания на пластину с кассетой.



«ООО «Ньюком-НДТ», 195220,  
Санкт-Петербург, пр. Непокоренных, д. 49А»

www.newcom-ndt.ru  
e-mail: info@newcom-ndt.ru

+7 (812) 313-9674  
+7 (812) 313-9675