УДК 620.179.152.1 DOI: 10.33622/0869-7019.2019.04.36-40

Цифровая радиография для контроля сварных соединений технологических трубопроводов и строительных конструкций

Константин Владимирович КОБЗАРЬ, кандидат технических наук, зав. отделом «Строительная испытательная лаборатория», e-mail: k.kobzar@ktbbeton.com

АО «Конструкторско-технологическое бюро бетона и железобетона» (АО «КТБ ЖБ»),
109428 Москва, 2-я Институтская ул., 6, стр. 15А

Аннотация. *При возведении несущих металлических конструкций, а также при устройстве технологических трубопроводов в нефтяной и газовой промышленности широко используются сварные соединения. Для контроля качества таких соединений применяют неразрушающие методы контроля. На сегодняшний день одним из наиболее востребованных методов контроля является радиографический. В последнее время происходит постепенный переход на современные технологии радиографического контроля — цифровую радиографию. Применение цифровой радиографии позволяет сразу получать цифровое изображение сварного соединения, что обеспечивает возможность более качественной и быстрой расшифровки снимков и выявление имеющихся дефектов. Приведены общие сведения о цифровой радиографии, ее особенности и преимущества по сравнению с аналоговой (выполнение работ в полевых условиях, отсутствие использования «мокрых» процессов и химических реактивов, многократное применение пленки и т. д.). Представлена последовательность выполнения операций метода радиографического контроля. Показана экономическая эффективность цифровой радиографии в сравнении с аналоговой. Сделан вывод о том, что для развития системы цифровой радиографии на территории России необходима разработка национальных стандартов, которые позволят охватить весь спектр проблем, возникающих при применении данного вида контроля, а также наладить качественную подготовку и обучение специалистов, способных работать со специализированной техникой.*

Ключевые слова: *цифровая радиография, радиографический контроль, неразрушающие методы контроля, сварные соединения, технологические трубопроводы, строительные конструкции.*

DIGITAL RADIOGRAPHY FOR INSPECTION OF WELDED JOINTS FOR INDUSTRIAL PIPELINES AND BUILDING CONSTRUCTIONS

Konstantin V. KOBZAR, e-mail: k.kobzar@ktbbeton.com

Design-Technological Bureau of Concrete and Reinforced Concrete (JSC «KTB RC»), 2nd Institutskaya ul., 6, str. 15A,
109428 Moscow, Russian Federation

Abstract. *When installing bearing metal structures as well as when constructing technological pipelines in the oil and gas industry, welded joints are widely used. Non-destructive testing methods are used to control the quality of such joints. To date, one of the most popular methods of control is radiographic. In recent times, there is a gradual transition to modern technologies of radiographic control — digital radiography. The use of digital radiography makes it possible to immediately obtain a digital image of the welded joint that provides the possibility of better and faster decoding of images and detection of existing defects. General information on digital radiography, its features and advantages compared to analog (works in the field, the lack of use of "wet" processes and chemical reagents, repeated use of film, etc.) is presented. The sequence of operations of the radiographic control method is also presented. The economic efficiency of digital radiography in comparison with analog radiography is shown. It is concluded that the development of digital radiography in Russia requires the development of national standards that will cover the full range of problems arising when applying this type of control, as well as to establish quality training and education of specialists capable of working with specialized equipment.*

Key words: *digital radiography, radiographic inspection, non-destructive testing methods, welded joints, technological pipelines, building constructions.*

Введение

Рентгеновское излучение было открыто более 120 лет назад. В настоящее время одним из наиболее востребованных методов неразрушающего контроля [1, 2], базирующимся на рентгеновском излучении, является радиографический метод. С момента появления радиографического метода контроля основным и фактически единственным средством фиксации рентгеновского излучения была рентгеновская пленка.

В процессе развития техники и технологий, предназначенных для проведения радиографического контроля, появились дополнительные средства фиксации рентгеновского излучения. В дополнение к рентгеновской пленке все активнее используются системы цифровой радиографии с

© КОБЗАРЬ К. В., 2019

запоминающими многоразовыми пластинами [3]. Кроме того, для сохранения архивных рентгеновских пленок часто выполняется их оцифровка с помощью специальных сканеров. В результате данной процедуры аналоговые рентгеновские снимки переводятся в цифровой формат и сохраняются в виде файлов. После оцифровки рентгеновский снимок становится набором пикселей (точек) с разными оттенками серого цвета.

В развитие ГОСТ 7512—82 «Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод» специалистами АО «КТБ ЖБ» разработан стандарт организации СТО 14258110-008-2015 «Строительные конструкции и изделия. Радиационный метод неразрушающего контроля». Данный стандарт распространяется на строительные конструкции и изделия, устанавливает радиационный метод определения их параметров, а также метод радиографического контроля сварных соединений с фиксацией параметров на рентгеновской пленке, фосфорных пластинах и плоскопанельных детекторах.

В настоящее время специалисты АО «КТБ ЖБ» ведут работы по неразрушающему контролю сварных соединений технологических трубопроводов на Московском нефтеперерабатывающем заводе и развивают направление цифровой радиографии.

Стандарты в области цифровой радиографии

За рубежом разработан ряд стандартов в области цифровой радиографии [4—9]. До последнего времени в России основным и фактически единственным государственным стандартом являлся ГОСТ 7512, который предусматривал применение в качестве детектора излучения рентгеновской пленки. С момента последнего издания ГОСТ 7512 появилось новое направление неразрушающего радиографического контроля — цифровая радиография.

В конце 2018 г. вступил в действие новый ГОСТ ISO 17636-2—2017 «Неразрушающий контроль сварных соединений. Радиографический контроль. Часть 2. Способы рентгено- и гаммаграфического контроля с применением цифровых детекторов». До появления этого документа, несмотря на отсутствие государственных стандартов, ряд крупных российских компаний, ориентированных на экспорт продукции в зарубежные страны, разработал собственные стандарты организаций для проведения цифровой радиографии. Данные СТО основывались на зарубежных стандартах качества.

ГОСТ ISO 17636-2—2017 позволит в значительной мере нивелировать отставание России от других стран в развитии цифровой радиографии. Однако несмотря на появление этого документа, цифровая радиография не может динамично развиваться без достаточного количества квалифицированных специалистов, выполняющих неразрушающий контроль согласно ГОСТ ISO 17636-2—2017. Кроме того, они должны быть квалифицированы в соответствии со стандартом [4].

Цифровая радиография

Все чаще на смену аналоговой радиографии, в которой используется рентгеновская пленка, приходит цифровая радиография с применением запоминающих многоразовых пластин. При цифровой радиографии контроль сварного соединения выполняется подобно аналоговой, за исключением проявки рентгеновской пленки.

Цифровой радиографический контроль выполняется в такой последовательности:

- гибкая фосфорная пластина закрепляется к объекту контроля (например, сварному шву);
- производится экспонирование с помощью источника рентгеновского излучения;
- пластина сканируется с помощью специализированного сканера и при необходимости очищается для последующего использования;
- выполняется обработка и расшифровка полученного изображения.

Для полноценного функционирования системы цифровой радиографии требуется методика проведения радиографического контроля [10, 11], которая в обязательном порядке должна содержать указания:

- по выбору типа запоминающей пластины;
- по определению времени экспонирования;
- по выбору режима считывания изображения при сканировании;
- прочие.

Преимущества цифровой радиографии перед аналоговой

Цифровая радиография обладает рядом значимых преимуществ перед аналоговой [10].

Выполнение работ в полевых условиях, например, при контроле сварных соединений несущих металлических конструкций на гражданских и промышленных сооружениях, или технологических трубопроводах на объектах нефтяной и газовой промышленности. Условия использования запоминающих пластин мало чем отличаются от применения рентгеновской пленки. Пластины легко изгибаются и могут быть обернуты вокруг трубопровода в зоне сварного шва. Кроме того, пластины не требуют внешнего источника электроэнергии и создания каких-то специальных условий контроля.

Отсутствие необходимости использования «мокрых» процессов и химических реак-

тивов. Для получения снимка на рентгеновской пленке необходимо выполнить ряд операций: проявка и закрепление изображения, промывка и сушка пленок. Эти операции выполняются ручным способом или с использованием проявочной машины. Для получения готового снимка нужно не менее 10 мин. Кроме того, необходимо утилизировать использованные химические реактивы. При применении запоминающих пластин химические реактивы не требуются: после экспонирования пластину устанавливают в специальный сканер, который считывает с нее изображение. Продолжительность операции по сканированию пластины составляет от нескольких секунд до нескольких минут и зависит от размера пластины и режима считывания.

Многократное использование пластин. После считывания сканером изображения с запоминающей пластины ее очищают. Очистка выполняется специальным встроенным в сканер лазером. Процессы считывания изображения и очистки пластины происходят последовательно и позволяют избежать расхода дополнительного времени. После завершения очистки пластина готова к новому использованию (разрешается повторное применение до нескольких тысяч раз).

Высокая чувствительность. По своей чувствительности запоминающие пластины не только не уступают рентгеновской пленке, а во многих случаях значительно превосходят ее.

Высокое разрешение. В настоящее время предложенные на рынке системы цифровой радиографии могут обеспечить разрешение до 12,5 мкм, которое позволяет использовать их для контроля трубопроводов в нефтегазовой отрасли, а также в атомной и авиационной промышленности.

Широкий диапазон экспозиций. Сканер, как правило, обладает широким диапазоном режимов усиления, т. е. в зависимости от выбора усиления снимок может иметь большую или меньшую яркость. Например, при первичном сканировании пластины сигнал получился недостаточно ярким, однако, если пластина не была очищена, можно выполнить ее повторное сканирование, но с использованием более высокого усиления. При повторном сканировании изображение будет более качественным и пригодным для расшифровки.

Цифровое изображение. Изображение, получаемое в процессе неразрушающего контроля, изначально выходит в цифровом формате. Многие крупные компании зачастую требуют производить оцифровку рентгеновских снимков, выполненных на пленке, поэтому данное обстоятельство является дополнительным преимуществом запоминающих пластин и позволяет снизить как финансовые издержки, так и временные затраты. Оцифровка аналоговых рентгеновских снимков — довольно затратная работа, так как специализированные сканеры, позволяющие с высоким качеством сканировать пленки, представляют собой достаточно дорогостоящее оборудование.

Хранение информации и архивирование. В зависимости от требований руководящих документов организаций аналоговые рентгеновские снимки подлежат хранению от одного года до нескольких лет. Для хранения таких пленок необходимо специализированное помещение, в котором должны поддерживаться определенная температура и влажность, а учитывая большое количество хранимых материалов, поиск конкретной пленки может быть затруднен. Цифровые снимки, полученные с использованием запоминающих пластин, могут находиться на сервере организации, в облачном хранилище и в архивах (на носителях информации, например, на CD или DVD дисках). Хранение цифровых снимков не требует устройства специализированного помещения, а поиск необходимого снимка может быть быстро выполнен при помощи компьютера. Данное преимущество также позволяет значительно снизить финансовые издержки.

Особенности применения систем цифровой радиографии

При использовании запоминающих пластин необходимо учитывать несколько важных условий [10]:

- *эксплуатация пластин.* При правильной эксплуатации пластины могут быть использованы многократно. Для предотвращения появления царапин их необходимо держать в специальных защитных чехлах. Не допускается сильно скручивать и перегибать пластины. Длинные пластины больше подвержены механическим воздействиям, поэтому они не рекомендуются к использованию;
- *расположение пластин.* Для исключения появления на пластинах областей с максимальной интенсивностью засветки рекомендуется при их установке на контролируемом участке избегать прямой засветки рентгеновским излучением. Очистка областей с интенсивной засветкой потребует несколько раз пропустить пластину через устройство очистки, в результате чего процесс работы замедлится. Однако данное неудобство отсутствует при контроле сварных соединений трубопроводов. Кроме того, засветку можно минимизировать путем правильного подбора размера пластины, установкой защитных экранов или специализированных фильтров рентгеновского излучения;

• *внешнее освещение.* Запоминающие пластины допускается использовать при обычном искусственном освещении, но стоит избегать яркого солнечного света, так как в его спектре содержатся компоненты, стирающие изображение, поэтому пластины должны находиться в защитных чехлах до момента их установки в сканер. Сканирование производят в помещении, куда не попадает солнечный свет и где отсутствует очень яркое искусственное освещение;

• *источник рентгеновского излучения.* Чувствительность запоминающих пластин превышает чувствительность рентгеновской пленки при энергии излучения до 200 кэВ и ниже — при энергиях около 1 МэВ. При использовании запоминающих пластин рекомендуется в качестве источника излучения использовать рентгеновские аппараты;

• *время экспозиции и режим усиления сканера.* Для получения качественного изображения необходимо правильно подобрать время экспозиции пластин и режим усиления сканера. Чтобы добиться максимального качества контроля, в зависимости от толщины контролируемого объекта, следует подобрать напряжение на рентгеновском аппарате (рентгеновской трубке), выбрать разрешение и тип пластины, а также установить режим усиления в сканере так, чтобы обеспечивалось минимальное время. Данные параметры могут быть подобраны как экспериментальным способом, так и при помощи моделирования на компьютере. Кроме того, они должны быть отражены в методических рекомендациях или технологической карте, в соответствии с которыми выполняется контроль.

Экономическая составляющая цифровой радиографии

При выполнении большого объема работ по неразрушающему контролю применение цифровой радиографии является экономически целесообразным.

Ниже приведены сравнительные затраты на 3000 экспозиций при использовании расходных материалов, представленных на отечественном рынке:

цифровая радиография, р.:

стоимость одной пластины размером 30×40 см 72 900

дополнительные расходы . . . . . —

итого затраты. 72 900

аналоговая радиография, р.:

стоимость 3000 листов пленки размером 30×40 см. 1 017 000

дополнительные расходные материалы (из расчета на обработку 3000 листов пленки):

7,2 комплекта проявителя G135. . . . . 56 900

10,8 комплекта фиксажа . . 28 100

итого затраты 1 102 000

Таким образом, затраты при использовании метода цифровой радиографии значительно меньше затрат при аналоговом методе.

Выводы

1. Система цифровой радиографии с применением гибких пластин является новым этапом развития неразрушающего контроля и позволяет:

• исключить «мокрые» процессы обработки и обеспечить экологическую безопасность (отсутствует необходимость в применении и утилизации химических реактивов);

• снизить себестоимость получения снимков за счет многократного использования пластин;

• повысить производительность работ за счет исключения «мокрых» процессов и получения цифрового изображения;

• использовать все преимущества современных компьютерных технологий для обработки и расшифровки полученных изображений, а также для хранения и архивирование результатов;

• без ограничений применять пластины при выполнении контроля сварных соединений несущих металлических конструкций или технологических трубопроводов.

2. Для динамичного развития системы цифровой радиографии на территории России необходимо:

• разработать национальные стандарты и апробированные методики, которые позволят охватить весь спектр проблем, возникающих при применении цифровой радиографии;

• наладить качественную подготовку и обучение специалистов, способных работать со специализированной техникой;

• вести разработку отечественных программных комплексов, позволяющих осуществлять автоматизированную обработку результатов неразрушающего контроля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Неразрушающий контроль: справочник. В 8 т. Т. 1 в 2 кн. Кн. 2. Соснин Ф. Р. Радиационный контроль. М. : Машиностроение, 2008. 560 с.
2. *Горбачев В. И., Семенов А. П.* Радиографический контроль сварных соединений. М. : Спутник+, 2009. 486 с.
3. *Мартынюк А. В.* Введение в цифровую радиографию. Фосфорные пластины вместо рентгеновской пленки. Киев, 2012. 52 с.
4. AENOR UNE-EN ISO 9712-2012 Non-destructive testing – Qualification and certification of NDT personnel [Неразрушающий контроль. Квалификация и сертификация персонала по неразрушающему контролю].

5. DIN EN ISO 5579-2014 Non-destructive testing – Radiographic testing of metallic materials using film and X- or gamma rays – Basic rules [Контроль неразрушающий. Радиографический контроль металлических материалов с помощью пленок и рентгеновских или гамма-лучей. Основные правила].
6. ISO 10675-1:2016 Non-destructive testing of welds – Acceptance levels for radiographic testing. Part 1. Steel, nickel, titanium and their alloys [Неразрушающий контроль сварных швов. Уровни приемки для радиографического контроля. Часть 1. Сталь, никель, титан и их сплавы].
7. DIN EN ISO 19232-1-2013 Non-destructive testing – Image quality of radiographs. Part 1. Determination of the image quality value using wire-type image quality indicators [Контроль неразрушающий. Качество изображения на рентгеновских снимках. Часть 1. Определение значения качества изображения с использованием показателей качества изображения проволочного типа].
8. DIN EN ISO 19232-2-2013 Non-destructive testing – Image quality of radiographs. Part 2. Determination of the image quality value using step/hole-type image quality indicators [Контроль неразрушающий. Качество изображения на рентгеновских снимках. Часть 2. Определение значения качества изображения с использованием показателей качества изображения типа шаг/отверстие].
9. DIN EN ISO 19232-4-2013 Non-destructive testing – Image quality of radiographs – Part 4. Experimental evaluation of image quality values and image quality tables [Контроль неразрушающий. Качество изображения на рентгеновских снимках. Часть 4. Экспериментальная оценка значений и таблиц качества изображения].
10. *Багаев К. А., Варламов А. Н.* Применение компьютерной радиографии на основе запоминающих пластин для контроля сварных соединений нефте- и газопроводов // Экспозиция Нефть Газ. 2012. № 2(20). С. 69–71.
11. *Кулешов В. К., Сертаков Ю. И., Ефимов П. В., Шумихин В. Ф.* Практика радиографического контроля. Томск : изд-во Томского политехнического университета, 2009. 288 с.

R E F E R E N C E S

1. *Nerazrushayushchij kontrol'* [Nondestructive testing]. Spravochnik v 8 t. T. 1 v 2 kn. Kn. 2. Sosnin F. R. Radiacionnyj kontrol' [Radiation control]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2008. 560 p. (In Russian).
2. Gorbachyov V. I., Semyonov A. P. *Radiograficheskij kontrol' svarnyh soedinenij* [Radiographic inspection of welded joints]. Moscow, Sputnik+ Publ., 2009. 486 p. (In Russian).
3. Martynyuk A. V. *Vvedenie v cifrovuyu radiografiyu. Fosfornye plastiny vmesto rentgenovskoj plenki* [Introduction to digital radiography. Phosphor plate instead of x-ray film]. Kiev, 2012. 52 p. (In Russian).
4. AENOR UNE-EN ISO 9712-2012 Non-destructive testing – Qualification and certification of NDT personnel.
5. DIN EN ISO 5579-2014 Non-destructive testing – Radiographic testing of metallic materials using film and X- or gamma rays – Basic rules.
6. ISO 10675-1:2016 Non-destructive testing of welds – Acceptance levels for radiographic testing. Part 1. Steel, nickel, titanium and their alloys.
7. DIN EN ISO 19232-1-2013 Non-destructive testing – Image quality of radiographs. Part 1. Determination of the image quality value using wire-type image quality indicators.
8. DIN EN ISO 19232-2-2013 Non-destructive testing – Image quality of radiographs. Part 2. Determination of the image quality value using step/hole-type image quality indicators.
9. DIN EN ISO 19232-4-2013 Non-destructive testing – Image quality of radiographs. Part 4. Experimental evaluation of image quality values and image quality tables.
10. Bagaev K. A., Varlamov A. N. Application of computer radiography based on storage plates for control of welded joints of oil and gas pipelines. *Ekspoziciya Neft' Gaz*, 2012, no. 2 (20), pp. 69–71. (In Russian).
11. Kuleshov V. K., Sertakov Yu. I., Efimov P. V., SHumihin V. F. *Praktika radiograficheskogo kontrolya* [Practice of radiographic control]. Tomsk, izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2009. 288 p. (In Russian).

Для цитирования: *Кобзарь К. В.* Цифровая радиография для контроля сварных соединений технологических трубопроводов и строительных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 4. С. 36–40. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.04.36-40.

For citation: Kobzar K. V. Digital Radiography for Inspection of Welded Joints for Industrial Pipelines and Building Constructions. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2019, no. 4, pp. 36–40. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2019.04.36-40.

Поправка

В № 3/2019 фразу на с. 24 (3-я колонка, строки 18–20) следует читать: В этой связи утверждение о том, «что пластическое деформирование кладки реализуется при физически линейной работе кирпича и раствора» [далее – по тексту]. Автор приносит извинение за допущенную неточность.