

ПЕРСПЕКТИВЫ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ И ДРУГИХ СЛОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В.А. Троицкий

ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Показана возможность автономного перемещения на магнитных платформах рентгеновских аппаратов и твердотельных радиоскопических преобразователей, которая делает радиационный неразрушающий контроль более информативным. Описаны принципы построения новых технологий контроля качества сварных соединений сложных металлоконструкций и магистральных трубопроводов, которые могут быть успешно распространены на ответственные трубы малого диаметра тепловых и атомных электростанций. Замена пленочной радиографии на портативную радиоскопию (рентген-телевидение) с использованием подвижных ПЗС-детекторов расширит области применения дефектоскопии в промышленности. Приведены примеры изготовления и использования радиоскопических детекторов, стоимость которых на порядок ниже, чем стандартных плоскопанельных преобразователей. Библиогр. 21, рис. 15.

Ключевые слова: радиационный беспленочный контроль, сварные кольцевые швы, трубопроводы, магнитная платформа, радиоскопический преобразователь, ПЗС-матрица, Wi-Fi, видеокамера, плоскопанельные и миниатюрные преобразователи

Трубопроводный транспорт – это один из важнейших способов коммуникаций в обществе и промышленности с большими объемами контроля и мониторинга. Так, по данным ПАО «Газпром», при эксплуатации ими 170 тыс. км газовых магистралей, ремонтно-восстановительные работы происходят ежегодно на 200 тыс. кольцевых сварных соединений. Кольцевые швы проверяются при строительстве и эксплуатации трубопроводов. Поэтому совершенствование технологий контроля их качества имеет большое значение.

Для магистралей большого диаметра используются три основных типа труб: прямошовные, спиральные и многосекционные трубы. Все трубопроводы имеют различные гибы, отводы, врезки разного диаметра и многие другие элементы, которые, как и основное тело магистрали, должны периодически диагностироваться. Не всегда и не везде может быть организовано прохождение внутритрубных дефектоскопов или пропускание кроулеров для панорамного просвечивания труб изнутри.

При строительстве и мониторинге состояния эксплуатируемых трубных магистралей, несмотря на обилие различных физических методов неразрушающего контроля (НК), главным остается радиационный контроль.

Статистика показывает, что чаще всего все разрушения трубопроводов происходят по кольцевым швам, производимым при строительстве.

На рис. 1 показаны основные схемы просвечивания сварных соединений трубопроводов [1, 2]. Схем просвечивания, как и элементов, подлежа-

щих контролю, намного больше, чем изображено на рис. 1. В будущем радиационный контроль будет реализовываться преимущественно с помощью твердотельных преобразователей. Это быстро, наглядно и дешево. Как в медицине, так и в технике пленочная радиография будет применяться только в исключительных случаях. При этом малогабаритные R-аппараты и твердотельные R-преобразователи будут крепиться и свободно перемещаться по объекту, по трубе (рис. 2).

Сначала необходимо научиться это делать на наиболее ответственных промышленных объектах, на трубах магистральных трубопроводов.

Устройство показанное на рис. 3 предназначено для R-контроля кольцевых монтажных швов, вдоль которых перемещаются R-аппарат и R-преобразователь, его конструктивные схемы представлены ниже.

На рис. 4 приведены примеры радиационного контроля кольцевых соединений магистральных трубопроводов. Это лучшее оборудование для цифрового радиационного контроля трубопроводов без рентгеновской пленки, в котором исполь-

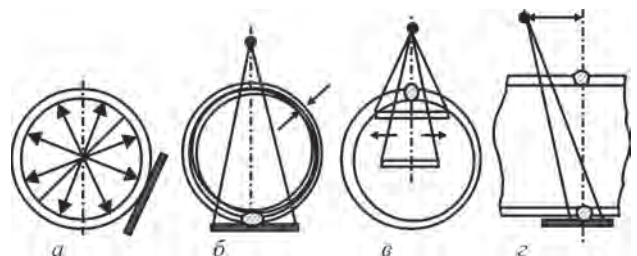


Рис. 1. Основные схемы просвечивания: а – панорамное просвечивание; б, з – контроль через две стенки; а, в – контроль одной стенки трубы

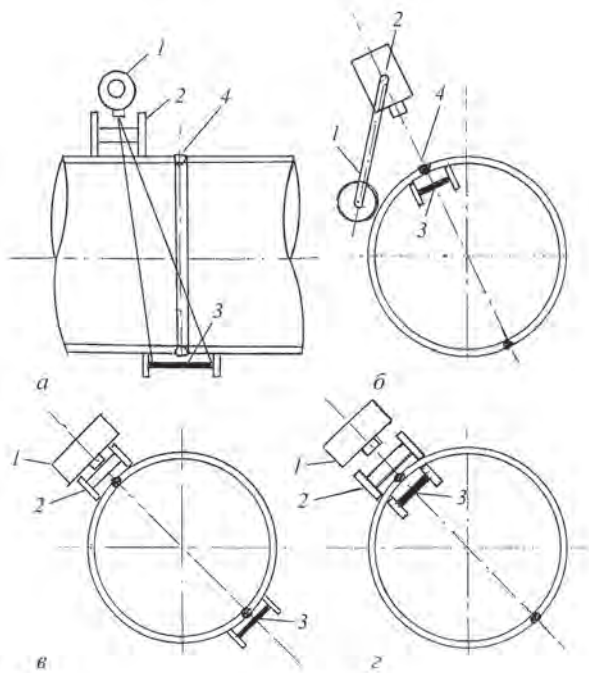


Рис. 2. Автономно перемещаемые R-аппарат (1) на магнитных колесах (2) вдоль сварного шва (4) и R-преобразователь (3) по внешней и внутренней поверхностям труб большого диаметра при просвечивании через две (а, в) и одну (б, г) стенки

зуются плоскопанельные стандартные R-преобразователи, т. е. твердотельные преобразователи.

Результаты просвечивания от твердотельного преобразователя отображаются на экране монитора, т. е. речь идет о замене пленочной радиографии на рентгеноскопию (рентген-телевидение), которая достаточно распространена на трубопрокатных заводах и в медицине.

В установках представленных на рис. 4 промышленный рентгеновский аппарат перемещается по мощной металлоконструкции, охватывающей трубу вблизи кольцевого сварного шва. Одновре-

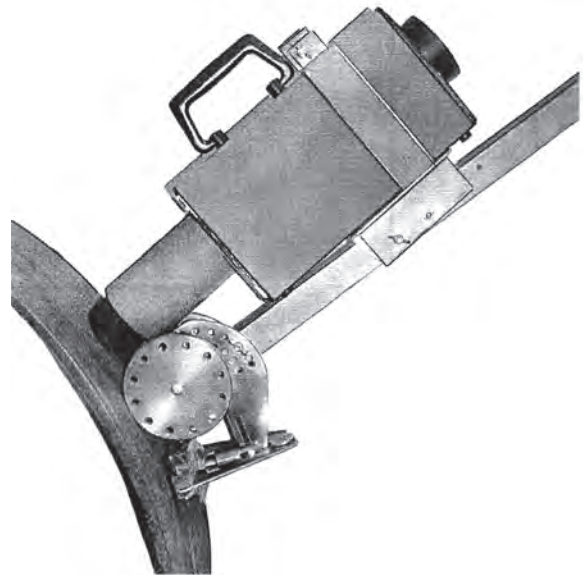


Рис. 3. Фото R-аппарата Арина-05 на подвижной магнитной платформе, располагаемой на трубе диаметром 920×12 мм

менно диаметрально противоположно ему перемещается плоскопанельный преобразователь, имеющий размеры 200×200 мм. Эта конструкция имеет массу 80 кг, монтируется на каждом кольцевом шве, подлежащему контролю.

Устройство (рис. 4) имеет узко специализированное назначение – просвечивание только кольцевых сварных соединений через две стенки (рис. 1, б, г). Оно не годится для просвечивания других видов сварных соединений, например, показанных на рис. 1, а также швов различных гиббов, отводов, врезок и других элементов трубных магистралей.

Основными недостатками контроля (рис. 4) является громоздкость металлоконструкции, ее привязанность к диаметру, большая продолжительность вспомогательных процедур, высокая стоимость, длительность контроля. Эта зада-



Рис. 4. Пример радиационного контроля качества кольцевых сварных соединений магистральных трубопроводов: масса комплекса – 80 кг; активная площадь плоскопанельного детектора – 200×200 мм; размер пикселя детектора – 200 мкм; скорость контроля сварного шва трубы 1420×25,8 мм – 40 мин; чувствительность контроля, класс по ГОСТ 7512 – 1 (журнал «Территория «Нефтегаз», 2016, № 10)

ча может быть решена лучше, если R-аппарат и R-преобразователь расположить и передвигать по поверхности трубы на автономных магнитных тележках (рис. 3). Такой способ мобильного контроля не имеет перечисленных недостатков, присущих контролю (см. рис. 4), и отличается универсальностью в реализации всех способов просвечивания, например, указанных на рис. 1, не имеет ограничений ни по диаметрам и ни по зонам просвечивания. Кроме того, при мобильном контроле можно отказываться от очень дорогих крупнопанельных R-детекторов (рис. 4). Желательно использование портативных рентгеновских аппаратов и миниатюрных твердотельных преобразователей, располагаемых на автономно радиоуправляемых магнитных платформах. Автономные передвижные дистанционно управляемые платформы излучателя и детектора должны иметь видеокamеры, что позволит одновременно фиксировать оптическую и радиационную информацию в зоне контроля.

На рис. 5, 6 показаны примеры предполагаемых схем просвечивания кольцевого сварного соединения через две стенки с помощью портативного рентгеновского аппарата 1, располагаемого на подвижной магнитной платформе 2. Схемы (рис. 5, 6) могут быть использованы для выполнения просвечивания любых элементов трубопроводов, продольных, спиральных и других швов.

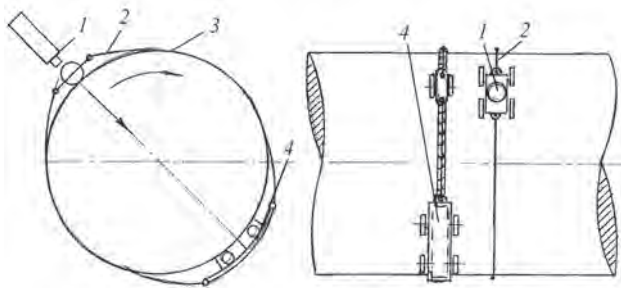


Рис. 5. Схема автономного перемещения на собственных платформах R-аппарата 1 и R-преобразователя 4 на страховочных тросах 2, 3 – труба

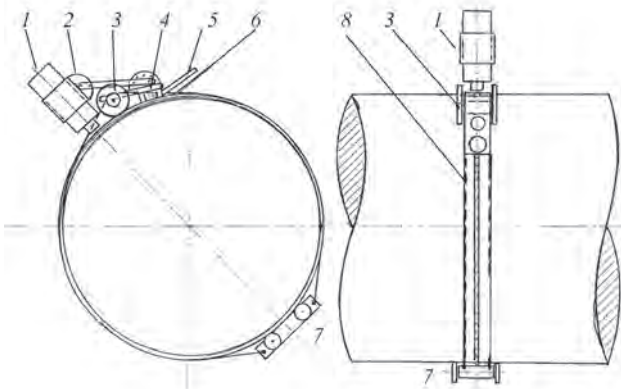


Рис. 6. Схема связанного с помощью тросов 8 перемещения R-аппарата 1 и R-преобразователя 7; 2–6 – элементы магнитной платформы

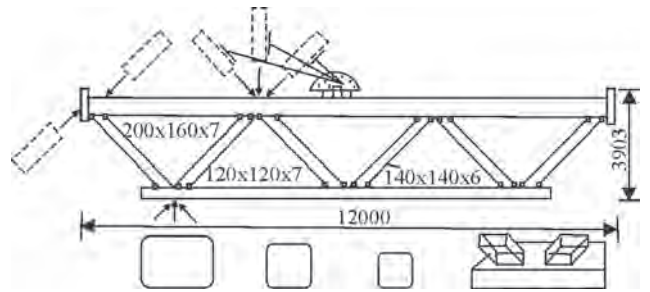


Рис. 7. Сваренная с помощью роботов ферма, подлежащая обязательному просвечиванию

На рис. 5 R-аппарат 1 и R-преобразователь 4 автономны, а на рис. 6 они связаны между собой. На рис. 6 показано, как R-аппарат 1 и подвижный твердотельный преобразователь 7 с помощью двух тросов (гибкой ленты и т. п.) объединяются в единое устройство, способное одновременно вращаться вокруг трубы так, как это делается при контроле с помощью специальной металлоконструкции (рис. 4). При этом на порядок снизится металлоемкость контролирующего устройства.

Очевидно, что R-аппарат и портативный твердотельный преобразователь могут занимать любые пространственные положения относительно друг друга и других трубопроводных элементов. Способ мобильного радиационного контроля с помощью автономно перемещаемых по внешней поверхности объекта источника излучения и R-преобразователя, расширяет возможности НК не только трубопроводов, но и других конструкций, например, ферм (рис. 7) и т. п. металлоконструкций.

Важным преимуществом отдельного перемещения R-аппарата и R-преобразователя является возможность рассматривать внутренние несплошности металла под разными углами в разных ракурсах и открывает новые технологические возможности. Для сложных металлоконструкций (рис. 7) важно сочетание точечного и подвижного расположения R-аппарата на сооружении.

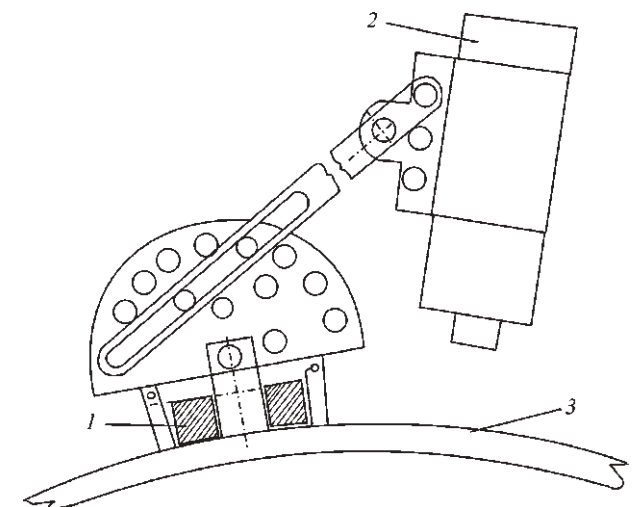


Рис. 8. Магнитное крепление (1) на трубе (3) портативного R-аппарата (2)

На рис. 8 показано крепление R-аппарата, с помощью которого удобно выполнять изучение металлоконструкций, например, показанной на рис. 7 стандартной фермы. Крепление R-аппарата 2 осуществляется с помощью постоянного магнита 1, изготовленного из редкоземельных металлов, сила удержания которого в несколько раз превышает вес R-аппарата. С помощью точечного крепления можно с двух диаметрально противоположных размещений R-аппарата просветить и все кольцевое соединение трубопровода (рис. 9). Сочетание точечного и ограничено подвижного крепления излучателя показано на рис. 10. Здесь диск с отверстиями для штанги, на которой крепится R-аппарат, вынесен на подвижное магнитное колесо. Такое подвижное крепление R-аппарата изображено на рис. 6. Здесь мощный удерживающий магнит 4 обеспечивает расположение R-аппарата в любых пространственных положениях.

При реализации автономного расположения на объекте подвижных R-аппарата и R-преобразователя способ R-контроля будет состоять из следующих обязательных процедур:

- разметка на поверхности объекта мест, подлежащих просвечиванию и другие подготовительные работы;

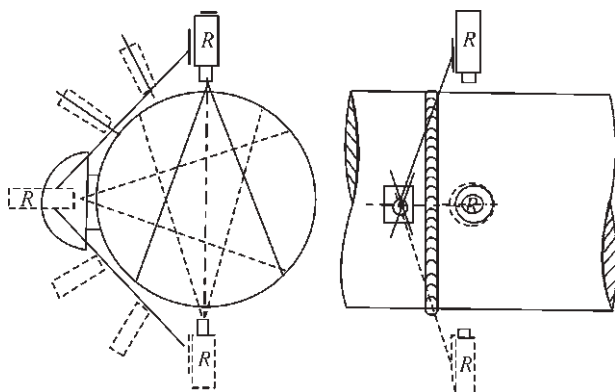


Рис. 9. Просвечивание кольцевого шва с трех позиций R-аппарата

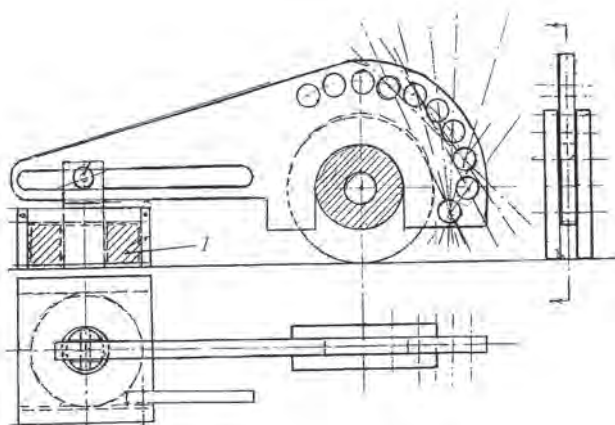


Рис. 10. Ограничено подвижное крепление R-аппарата (1 – удерживающий магнит)

- размещение подвижных магнитных платформ на поверхности объекта (трубы) для последующего крепления на них источника излучения и R-преобразователя и проверка их подвижности и взаимных положений;

- по видео изображениям на мониторе, полученным от web-камер, установленных на этих платформах, определяется их взаимное расположение и положение их относительно контролируемой зоны;

- выполняются все мероприятия по технике безопасности, прописанные регламентом, перед монтажом R-аппарата и включением излучения;

- устанавливаются на платформах излучатель и R-детектор;

- после подачи высокого напряжения и начала излучения на экране монитора пульта управления высвечиваются три изображения: рентгеновское, которое дает R-преобразователь, и два оптических изображения от видеокамер R-аппарата и R-преобразователя;

- дистанционное перемещение R-аппарата и R-преобразователя до и в процессе просвечивания позволяет уточнить форму, размеры и глубину залегания несплошности в реальном времени;

- обнаруженный недопустимый дефект фиксируется на электронных средствах записи информации и отмечается на поверхности объекта;

- далее R-аппарат и твердотельный преобразователь на магнитных платформах перемещаются на следующее по регламенту место просвечивания.

Обычно для кольцевых швов труб малого диаметра, просвечиваемых через две стенки, делается 2–3 экспозиции. Количество экспозиций зависит от ответственности трубопровода, диаметра, возможностей используемой техники. Поэтому, чем ответственнее трубопровод, тем больше требуется экспозиций, тем больше преимуществ в практической эффективности мобильного способа радиационного контроля, автономности излучателя и R-преобразователя, способности их перемещаться друг относительно друга.

Для массовых многократно повторяющихся однотипных процедур, уменьшения вспомогательного технологического времени эффективно жесткое соединение магнитных платформ (см. рис. 6), т. е. для контроля, подобного рис. 4. При этом исключаются ошибки в диаметрально противоположном расположении R-аппарата и R-преобразователя, исключается электропривод одной из платформ. Жесткое объединение R-аппарата и R-преобразователя может быть выполнено с помощью троса, цепи (тонкой полосы металла).

Удобство работы с излучателем, располагаемым на внешней поверхности трубы, с освоением описанных новых возможностей со временем изменит отношение к кроулерам и другим средствам панорамного внутритрубного излучения (рис. 1, а). Расширятся и другие возможности радиоскопического НК, который будет выполняться только с помощью R-аппаратов, располагаемых на внешней поверхности объекта (трубы).

В Японии, странах Европы интенсивно развивается радиоскопия на основе портативных высокочастотных рентгеновских аппаратов непрерывного излучения. Импульсные R-аппараты с их ограниченными дефектоскопическими возможностями распространены только в постсоветских странах. Для размещения и перемещения по поверхности объекта важно иметь портативные R-аппараты непрерывного излучения, которые выпускаются в достаточном количестве в разных странах.

При расположении R-аппарата на внешней поверхности трубы в качестве R-детектора может быть любое радиоскопическое (радиографическое) устройство, включая рентгеновскую пленку. Для получения результата контроля в цифровом виде [1–4] должна быть применена компьютерная обработка. Все разнообразие [5–14] схем получения цифровых изображений сводится к трем:

- традиционная пленочная радиография с компьютерной цифровой обработкой;
- технологии с различными промежуточными носителями информации, более совершенными, чем R-пленка;
- непосредственное радиоскопическое преобразование на основе ПЗС и КМОП-матриц.

Сравнение этих принципиальных схем детектирования показало, что по основным потребительским показателям: расход времени и стоимость

получения цифровой информации эти технологические процедуры приблизительно соотносятся как 10:5:1, а стоимость оборудования и расходных материалов как 5:20:1. Это ориентировочное соотношение. В каждой стране оно зависит от многих ситуативных обстоятельств. Эти соотношения непостоянны во времени из-за текущей конъюнктуры рынка. Они зависят от технической культуры, заинтересованности сторон и т. д. Не подлежит сомнению, что время, развитие электроники работают на электронную радиоскопию, на рентген-телевидение, которая в этом сравнении взята за единицу. Без сомнений радиоскопия в реальном времени без расходных материалов должна заменить два других предыдущих подхода.

Для того чтобы перейти от пленочной радиографии к автоматизированной высококачественной радиоскопии необходимо было создать соответствующее программное обеспечение (ПО), которое уточняется под каждое конкретное техническое решение и функциональные требования. Была создана и апробирована целая серия модулей ПО: измерения, коррекции, фильтрации и улучшения качества изображений, модули документирования и архивирования, сшивания отдельных фрагментов в полное радиоскопическое изображение. Основой этой многолетней работы стала адаптация наработок по цифровой обработке рентгеновских пленок применительно к электронным радиоскопическим изображениям, получаемым от твердотельных ПЗС-сенсоров. Высокая разрешающая способность миниатюрных R-детекторов дала старт новым технологиям радиационного контроля. Например [10, 15], сочетание контактного крупноформатного просвечивания, на котором намечаются зоны возможных скрытых дефектов, и удаленное от поверхности (рис. 11) расположение R-сенсора высокого разрешения позволяет изучать в реальном времени сомнитель-

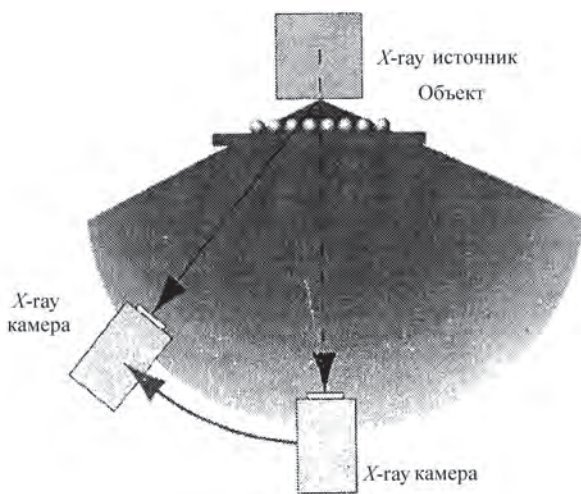


Рис. 11. Диаграмма излучения R-аппарата и удаленные расположения R-сенсоров для увеличенных изображений внутренних несплошностей объекта

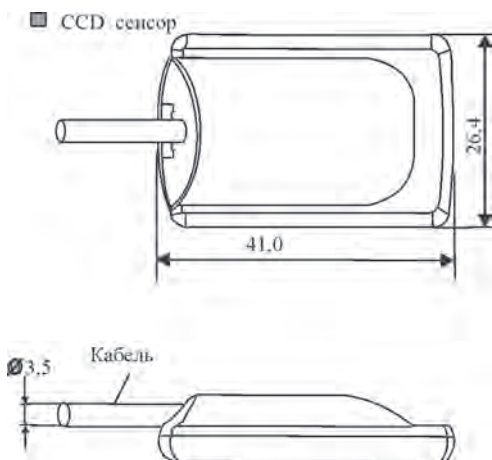


Рис. 12. Миниатюрный сенсор S10810-11 фирмы «Hamamatsu», перемещаемый по металлической пластине внутри R-преобразователя

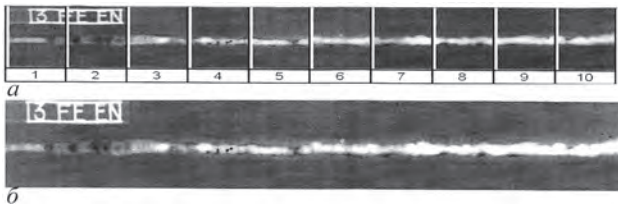


Рис. 13. R-снимки десяти участков сварного шва (а) и результаты их сшивания в единую радиограмму (б)

ную зону большого объекта, измерять размеры и расположение в ней внутренних дефектов.

Поэтому далее будем рассматривать только прямое радиоскопическое преобразование на основе ПЗС и КМОП-матриц.

В работе [1] описан R-детектор разработанный в ИЭС им. Е.О. Патона для контроля протяженных объектов, состоящий из миниатюрного ПЗС-преобразователя типа S10810-11 (рис. 12) фирмы «Hamamatsu» и гибкой направляющей, по которой перемещается этот преобразователь (сенсор). В процессе контроля сенсор выполняет остановки продолжительностью в несколько секунд (до 10). Так, вдоль контролируемого объекта (сварного шва), по его поверхности, находясь в поле излучения (рис. 11) R-аппарата перемещается миниатюрный ПЗС-сенсор (рис. 12). На рис. 13, а показаны 10 рентгенограмм размером 24×36 мм, соответствующих 10 экспозиционным остановкам сенсора (рис. 12) внутри R-детектора, располагаемого на поверхности сварного соединения. На рис. 13, б показан результат сшивания этих 10 отдельных радиограмм, размеры каждой из которых 24×36 мм соответствуют размерам активной зоны (рис. 12) миниатюрного преобразователя S10810-11, в единую протяженную радиограмму (рис. 13, б), соответствующую размерам объекта – сварного соединения. Данный R-преобразователь на порядок дешевле, чувствительнее, чем крупнопанельные преобразователи со стандартными размерами 200×200 мм, например, примененные в устройстве, показанном на рис. 4. Малоформатные ПЗС-матрицы, примененные в сенсоре (см. рис. 12, 13), отличаются высокими техническими данными, превышающими возможности крупноформатных радиоскопических панелей.

Основная стоимость такого R-преобразователя определяется стоимостью миниатюрного ПЗС-сенсора (рис. 12), активная зона которого в 6–7 раз меньше чем избыточная площадь активной зоны крупнопанельного преобразователя (рис. 4). Сенсор S10810-11 имеет размеры пикселя 25 мкм, разрядность АЦП 14 бит, Wi-Fi для передачи файлов, набор программ для отчетов и улучшения качества изображений, а так же др. программы.

Время получения одного цифрового рентгеновского снимка 36×24 мм (см. рис. 12, 13) не более одной минуты, разрешение 20 пар линий на 1 мм.

Контроль адаптирован к постоянным и переменным X-ray полям.

В ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ изготавливаются [16–20] и другие, более дешевые радиоскопические, рентгентелевизионные преобразователи (рис. 14, а, б) на основе фотоэлектронного преобразования излучений и оптического объектива. На рис. 14, а, б показан такой R-преобразователь разработанный ИЭС им. Е.О. Патона с размерами 225×425×110 мм и результаты его применения для просвечивания кольцевого шва стальной трубы диаметром 57×5 мм. Подобные R-преобразователи с размерами активной зоны до 300×350 мм успешно [21] использовались в ИЭС им. Е.О. Патона для контроля качества пластин бронежилетов. Устройство такого типа R-преобразователей поясняется на рис. 14, а. Здесь на флуоресцентный экран 3 направлено зеркало, далее следуют оптический объектив и видеокамера 4. Внешний вид преобразователя показан на рис. 14, б, а на рис. 14, в, г – негативное и позитивное изображение сварного шва, просвеченного на эллипс. Для получения этих изображений был использован R-аппарат РАП-150/300, фокусное расстояние 60 см, анодные напряжение и ток – 120 кВ и 10 мА. Полученное качество просвечивания (рис. 14) соответствует 1 классу ГОСТ 7512-82, выявляются канавки глубиной 0,2 мм. На рис. 14, в, г приведены рентгенограммы стальной трубы диаметром 57×5 мм. В этом преобразователе была применена телекамера QHYSL-II, выпускаемая для астрономических съемок. Это недорогая (порядка 150 дол. США) черно-белая моно матрица размером 4,83×3,63 мм с динамическим диапазоном 14 бит. Подобных сенсоров, подходящих для контроля качества сварных

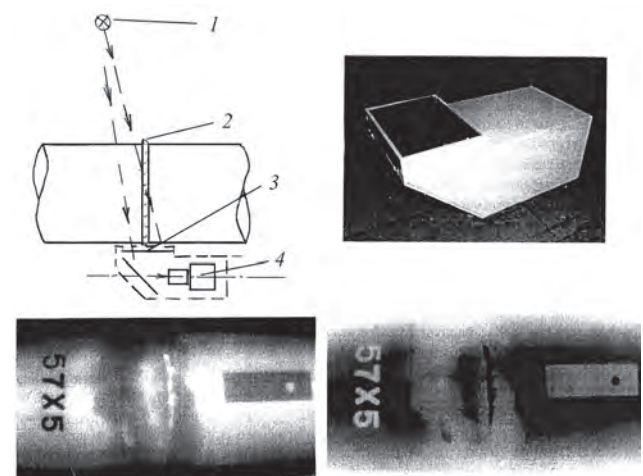


Рис. 14. Рентген-телевизионный контроль на основе радиоскопического преобразователя стальной трубы диаметром 57×5 мм: а – схема просвечивания (1 – излучатель; 2 – сварной шов; 3 – флуоресцирующий экран; 4 – оптический объектив и видеокамера); б – R-детектор 225×125×110; в, г – негативное и позитивное изображение сварного шва, просвеченного на эллипс

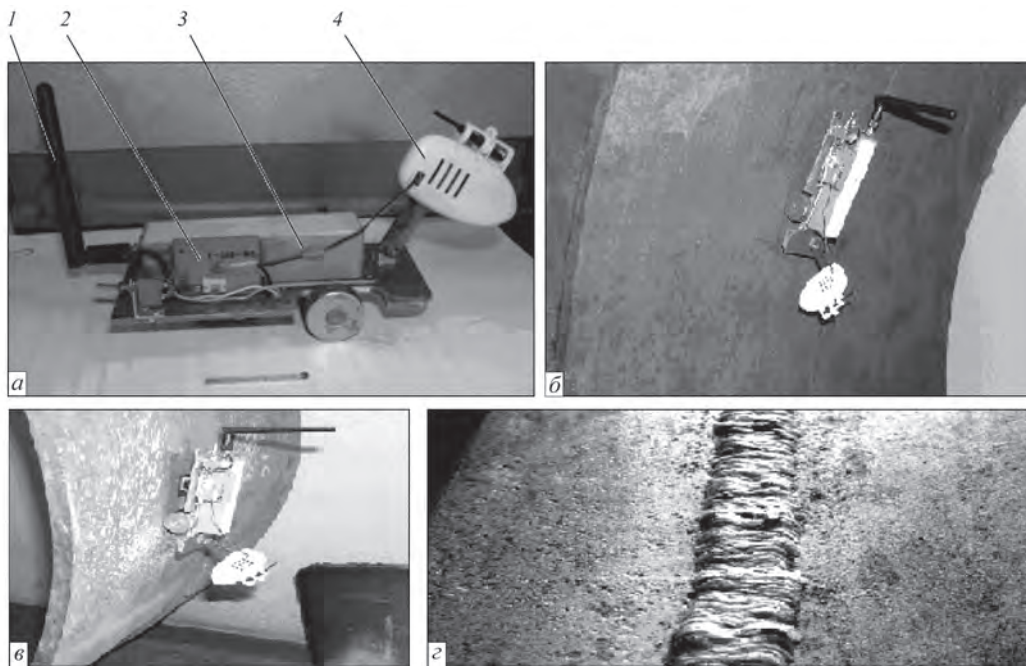


Рис. 15. Универсальная радиоуправляемая гибкая платформа для R-контроля качества поверхностей и металла: а – общий вид (1 – антенна 2,4 ГГц; 2 – блок радиоуправления; 3 – аккумулятор; 4 – Wi-Fi камера); б, в – потолочное и боковое положение на трубе диаметром 1200 мм; г – запись сварного шва

соединений достаточно много, их производят во многих странах. Для просвечивания сварных швов могут быть использованы линейные сенсоры, которые должны располагаться вдоль сварных швов (по оси и по околошовным зонам).

Фирма «Hamamatsu» выпускает различные линейные сенсоры, активная зона которых составляет 256, 409, 512 мм при напряжении до 160 кВ. Кроме линейности для сварных соединений, в которых могут быть мало раскрытые трещины, важно высокое разрешение, которое имеется в R-преобразователях (рис. 12–14).

R-сенсоры любого типа могут располагаться на радиоуправляемых гибких платформах (рис. 15), оборудованные Wi-Fi камерами, способными перемещаться в любых направлениях, в любых пространственных положениях. Подвижное устройство (рис. 15) оборудовано видеокамерой для объективного и точного визуально-измерительного контроля, для нахождения зон, подлежащих НК на наличие внутренних дефектов и повышенных напряжений. Подвижная платформа (рис. 15) имеет повышенную проходимость, гибкое тело и только два магнитных колеса, может нести измерители магнитного поля, лазерные измерители размеров, портативные R-преобразователи и др. средства НК. Сила отрыва от ферромагнитной поверхности этого транспортного средства составляет приблизительно 12 кг.

Выводы

1. Развитие электронных и цифровых технологий с каждым годом будет все больше сокращать

использование в промышленности пленочной радиографии и другие технологии радиационного контроля с промежуточными носителями информации.

2. Миниатюрные твердотельные R-преобразователи на основе ПЗС и КМОС-матриц обладают более высоким разрешением, чем аналогичные крупнопанельные R-преобразователи, и дают новые технологические решения в автоматизации и роботизации, получения дополнительной информации о внутренних несплошностях просвечиваемого объекта. Стоимость и размеры таких R-преобразователей на несколько порядков ниже.

3. Новые технологические возможности при промышленном радиационном контроле открываются при автономном перемещении R-аппарата и R-преобразователей по поверхности изучаемого объекта. Каждый из этих основных элементов может занять более информативное положение для оценки качества зоны просвечивания, а внутренняя несплошность в реальном времени рассмотрена в разных ракурсах.

4. При массовом производстве однотипных дефектоскопических процедур, например, при контроле качества большого количества кольцевых монтажных соединений, R-аппарат и R-преобразователь, располагаемые на собственных магнитных платформах, с помощью троса, металлической ленты и т. п. объединяются в единую конструкцию.

5. Для протяженных объектов, например, сварных швов, удобно использовать линейные R-дат-

чики или R-преобразователи, содержащие один миниатюрный датчик (34×24 мм), перемещаемый по гибкой металлической полосе внутри преобразователя. Протяженность таких преобразователей может быть большая.

6. С появлением высокочувствительных видеокамер появилась возможность изготавливать радиоскопические недорогие, чувствительные преобразователи на основе флюорографических экранов. Стоимость таких устройств наименьшая среди рассмотренных решений и она мало зависит от формата и размеров R-преобразователя.

7. Мобильная рентгеноскопия (рентген-телевидение) с использованием подвижных R-аппаратов и R-сенсоров более информативна, портативна, требует меньше времени и материальных средств, легче вписывается в основные технологические процедуры изготовления механизмов и сооружений, чем технологии с промежуточными носителями информации.

8. В ИЭС им. Е.О. Патона по согласованным техническим условиям с Заказчиками изготавливаются магнитные платформы для перемещения по поверхности металлоконструкции R-аппаратов и R-преобразователей, описанных в данной работе.

Список литературы

- Троицкий В.А., Карманов М.Н., Шалаев В.А. *Портативная рентген-телевизионная система на основе твердотельного преобразователя. Мат. конф. УкрНКТД-2019.*
- Троїцький В.О., Михайлов С.Р. та ін. *Патент на корисну модель «Пристрій для рентгентелевізійного контролю»*, № 135146 від 25.06.2019р., бюл. 12.
- Троїцький В.А. (2015) Развитие радиационного контроля сварных соединений, *Территория NDT*, **3**, 38–43.
- Dilrr NDT GmbH and Co. KG*. URL: [http://duerr-ndt.de/ru/product Panels NDT. html](http://duerr-ndt.de/ru/product/Panels%20NDT.html).
- Усачев Е.Ю., Валиков В.В. и др. (2014) Комплекс цифровой радиографии для ревизии сварных соединений трубопроводов. *Контроль. Диагностика*, **6**, 60–64.
- Соснин Ф.Р. (2008) *Не разрушающий контроль: справочник в 8 т.* Ключев В.В. (ред.). Т. 1., Кн. 1. Визуальный и измерительный контроль. Кн. 2. Радиационный контроль. Изд. 2-е, перераб. и испр. Москва, Машиностроение.
- Троїцький В.А. (2013) Флэш-радиография. *Территория NDT*, **4**, 44–49.
- Майоров А.А. (2009) Цифровые технологии в радиационном контроле. *В мире неразрушающего контроля*, **3**, 5–12.
- Троїцький В.А., Михайлов С.Р., Пастовенский Р.О., Шило Д.С. (2015) Современные системы радиационного неразрушающего контроля. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **1**, 23–35.
- Грудский А.Я., Величко Ю.Я. (2011) Оцифровка радиографических снимков – это не очень просто. *В мире неразрушающего контроля*, **4**, 74–76.
- Варламов А.Н. (2007) Опыт эксплуатации комплекса цифровой радиографии в полевых условиях. *Там же*, **1(35)**, 4–9.
- Майоров А.А. (2007) Рентгеновское телевидение в промышленном НК. *Там же*, **1(35)**, 4–9.
- Яценко С.Я., Кокоровец Ю.Я., Лозенко А.П. и др. (2015) Рентгентелевизионные системы «Полискан». *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **1**, 60–62.
- Троїцький В.А., Михайлов С.Р., Бухенский В.Н. и др. (2014) Флэш-радиография объектов АЭС на основе плоскопанельных детекторов. *НК-информ*, **3(63)**, 6–14.
- Цветкова Н.К., Новицкая К.А., Кологов А.В., Смирнов В.Г. (2014) Особенности применения комплексов цифровой радиографии при неразрушающем контроле корпусного производства. *Технология машиностроения*, **7**, 47–50.
- Troitskiy V.A. Quik Industrial X-ray Testing without Intermediate Data carriers of Information, ASNT. «*The NDT Technician*», **15**, 4.
- Troitskiy V.A. (2016) *Perspective of development of radiation testing of welded joints. 19 th WCNDT-2016*, Munich, Germany.
- Troitskiy V.A. (2018) Digital radiographic systems for NDT of Welding joints. *Труды 12-й Европейской конференции. Cothenburd – 2018, Jone*, pp. 11–15.
- Troitskiy V.A. (2018) Indust X-ray testing without intermediate data carriers of information. Польша. *Badanja Nieniszczace Diagnostyka*, **2**, 29–34.
- Троїцький В.А. (ред.) (2018) *Дефектоскопия XXI века. Основные направления работ ИЭС им. Е.О. Патона по развитию технологий НК*. Киев, Издательство ИЭС.
- Троїцький В.А., Михайлов С.Р. и др. (2019) Высокочувствительные рентгентелевизионные системы на основе рентгеновских экранов и ПЗС-камер с накоплением изображений. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **3**, 41–46.

References

- Troitskiy, V.A., Karmanov, M.N., Shalaev, V.A. *Portable X-Ray TV system based on solid-state transducer. In: Proc. of Conf. UkrNDT-2019* [in Ukrainian].
- Troitskiy, V.O., Mykhailov, S.R. et al. *Patent for utility model of «Device for X-Ray-TV Control»*, № 135146 of 25.06.2019, Bul. 12 [in Ukrainian].
- Troitskiy, V.A. (2015) Development of radiation control of welded joints. *Territoriya NDT*, **3**, 38–43 [in Russian].
- Dilrr NDT GmbH and Co. KG*. URL: [http://duerr-ndt.de/ru/product Panels NDT. html](http://duerr-ndt.de/ru/product/Panels%20NDT.html).
- Usachev, E.Yu., Valikov, V.V. et al. (2014) Digital radiography complex for revision of pipeline welded joints. *Kontrol. Diagnostika*, **6**, 60–64 [in Russian].
- Sosnin F.R. (2008) *Nondestructive testing: Refer. Book, In 8 Vol.* Ed. By V.I. Kluev. Vol. 1.: Visual and measuring control. Book 2: Radiation Control. 2nd Ed. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
- Troitskiy, V.A. (2013) Flash radiography. *Territoriya NDT*, **4**, 44–49 [in Russian].
- Majorov, A.A. (2009) Digital technologies in radiation control. *V Mire Nerazrushayushchego Kontrolya*, **3**, 5–12 [in Russian].
- Troitskii, V.A., Mikhajlov, S.R., Pastovenskii, R.O., Shilo, D.S. (2015) Modern systems of radiation non-destructive testing. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **1**, 23–35 [in Russian].
- Grudskii, A.Ya., Velichko, V.Ya. (2011) Digitizing of radiographic images – it is not very simple. *V Mire Nerazrushayushchego Kontrolya*, **4**, 74–76 [In Russian].
- Varlamov, A.N. (2007) Experience of field operation of digital radiography complex. *Ibid.*, **1(35)**, 4–9 [in Russian].
- Majorov, A.A. (2007) X-Ray TV technique in industrial NDT. *Ibid.*, **1(35)**, 4–9 [in Russian].
- Yatsenko, S.Ya., Kokorovets, Yu.Ya., Lozenko, A.P. et al. (2015) «Polyscan» X-Ray TV systems. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **1**, 60–62 [in Russian].
- Troitskii, V.A., Mikhajlov, S.R., Bukhensky, V.N. et al. (2014) Flash-radiography of NPS facilities based on plane-parallel detectors. *NK-inform*, **3(63)**, 6–14.
- Tsvetkova, N.K., Novitskaya, K.A., Kologov, A.V., Smirnov, V.G. (2014) Features of application of digital radiography complexes at nondestructive testing of housing parts production. *Tekhnologiya Mashinostroeniya*, **7**, 47–50 [in Russian].
- Troitskiy, V.A. ? Quik industrial X-ray testing without intermediate data carriers of information, ASNT. *The NDT Technician*, **15**, 4.
- Troitskiy, V.A. (2016) *Perspective of development of radiation testing of welded joints. In: Proc. of 19th WCNDT-2016*, Munich, Germany.
- Troitskiy, V.A. (2018) *Digital radiographic systems for NDT of welding joints. In: Proc. of 12th Europ. Conf. (Cothenburd – 2018, Jone)*, pp. 11–15.
- Troitskiy V.A. (2018) Industial X-ray testing without intermediate data carriers of information. Poland, *Badanja Nieniszczace Diagnostyka*, **2**, 29–34.

20. Troitskii V.A. (ed.) (2018) *Flaw detection of the XXI century. Main directions of PWI activities on development of NDT technologies*. Kiev, PWI [in Russian].
21. Troitskii, V.A., Mikhailov, S.R. et al. (2019) Highly-sensitive X-Ray TV systems based on the X-Ray shields and CCD-cameras with image accumulation. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, 3, 41–46 [in Russian].

ПЕРСПЕКТИВИ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ ТА ІНШИХ СКЛАДНИХ КОНСТРУКЦІЙ

В.О. Троїцький

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Показана можливість автономного переміщення на магнітних платформах рентгеновських апаратів та твердотільних радіоскопічних перетворювачів, яка робить радіаційний неруйнівний контроль більш інформативним. Описано принципи побудови нових технологій контролю якості зварних з'єднань складних металоконструкцій та магістральних трубопроводів, які можуть бути успішно поширені на відповідальні труби малого діаметру теплових і атомних електростанцій. Заміна плівкової радіографії на портативну радіоскопію (рентген-телебачення) з використанням рухомих ПЗЗ-детекторів розширить галузі застосування дефектоскопії у промисловості. Наведено приклади виготовлення та використання радіоскопічних детекторів, вартість яких на порядок нижча, ніж стандартних плоскочастинних перетворювачів. Бібліогр. 21, рис. 15.

Ключові слова: радіаційний безплівковий контроль, зварні кільцеві шви, трубопроводи, магнітна платформа, радіоскопічний перетворювач, ПЗЗ-матриця, Wi-Fi, відеокамера, плоскочастинні та мініатюрні перетворювачі

PROSPECTS FOR RADIATION CONTROL OF MAIN PIPELINES AND OTHER COMPLEX STRUCTURES

V.A. Troitskii

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: office@paton.kiev.ua

Shown in the possibility of autonomous movement of X-ray units and solid-state radioscopic transducers on magnetic platforms, which makes nondestructive radiation testing more informative. Described are the principles of construction of new technologies for quality control of welded joints in complex metal structures and main pipelines, which can be successfully transferred to critical tubes of thermal and nuclear power stations. Replacement of film radiography by portable radioscopy (X-Ray-TV), using mobile CCD-detector will widen the area of flaw detection application in industry. Examples of manufacture and application of radioscopic detectors are given, the cost of which is by an order of magnitude lower than that of standard plane-parallel transducers. 21 Ref., 15 Fig.

Keywords: radiation filmless control, circumferential welds, pipelines, magnetic platform, radioscopic transducer, CCD-matrix, Wi-Fi, video camera, plane-parallel and miniature transducers

Поступила в редакцію 13.02.2020

ВЕДУЩАЯ ВЫСТАВКА В МИРЕ
СВАРКА • РЕЗКА • ОБРАБОТКА

SCHWEISSEN
& SCHNEIDEN
No. 1

LET'S JOIN
THE WORLD!

РЕГИСТРИРУЙТЕСЬ
СЕЙЧАС!

13.-17. сентября 2021