

МЕТОДИ І ЗАСОБИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

УДК 62-791.2

DOI 10.31471/1993-9981-2020-1(44)-5-15

РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ И МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

В. А. Троицкий

*Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины; 03061 г. Киев-150,
ул. К. Малевича, 11, тел.: (044)200466, e-mail: usndt@ukr.net*

Показана можливість розташування на магнітних платформах рентгенівських апаратів і твердотільних радіоскопічних перетворювачів. Це робить радіаційний контроль мобільним і більш інформативним. Описано принципи побудови такого обладнання і застосування його для різних зварних з'єднань складних металоконструкцій і трубопроводів замість плівкової радіографії. Портативна радіоскопія (рентген-телебачення) з використанням рухомих рентгенівських апаратів і ПЗС-детекторів розширить сфери застосування дефектоскопії в промисловості. Описано виготовляються в ІЕЗ ім.Є.О.Патона портативні радіоскопічні детектори, вартість яких на порядок нижча за вартість стандартних великопанельних промислових перетворювачів. Наведено висновки за результатами роботи, зокрема відзначено, що нові технологічні можливості при промисловому радіаційний контроль відкриваються при автономному переміщенні R-апарату і R-перетворювачів поверхнею досліджуваного об'єкта, кожен з яких може зайняти більше інформативне положення для оцінки якості зони просвічування, а внутрішня несучільність в реальному часі може бути розглянута в різних ракурсах; наведена інформація про те, що з появою високочувливих відеокамер з'явилася можливість виготовляти радіоскопічні недорогі, чутливі перетворювачі на основі флюорографічних екранів. Вартість таких пристроїв найменша серед розглянутих рішень і вона мало залежить від формату і розмірів R-перетворювача. Також зазначено, що мобільна рентгеноскопія (рентген-телебачення) з використанням рухомих R-апаратів і R-сенсорів більш інформативна, портативна, вимагає менше часу і матеріальних засобів, легше вписується в основні технологічні процедури виготовлення механізмів і споруд, ніж технології з проміжними носіями інформації.

Ключові слова: радіаційний контроль, магістральний трубопровід, магнітні платформи, рентгенівські апарати.

Показана возможность расположения на магнитных платформах рентгеновских аппаратов и твердотельных радиоскопических преобразователей. Это делает радиационный контроль мобильным и более информативным. Описаны принципы построения такого оборудования и применение его для различных сварных соединений сложных металлоконструкций и трубопроводов вместо пленочной радиографии. Портативная радиоскопия (рентген-телевидение) с использованием подвижных рентгеновских аппаратов и ПЗС-детекторов расширит области применения дефектоскопии в промышленности. Описаны изготавливаемые в ИЭС им.Е.О.Патона портативные радиоскопические детекторы, стоимость которых на порядок ниже стоимости стандартных крупнопанельных промышленных преобразователей. Приведены выводы по результатам работы, в частности отмечено, что новые технологические возможности при промышленном радиационном контроле открываются при автономном перемещении R-аппарата и R-преобразователей по поверхности изучаемого объекта, каждый из которых может занять более информативное положение для оценки качества зоны просвечивания, а внутренняя несплошность в реальном времени может быть рассмотрена в разных ракурсах, приведена информация о том, что 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. Также указано, что 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.

Ключевые слова: радиационный контроль, магистральный трубопровод, магнитные платформы, рентгеновские аппараты.

The possibility of arranging x-ray machines and solid-state radioscopic transducers on magnetic platforms is shown. This makes radiation monitoring mobile and more informative. The principles of constructing such equipment and its application for various welded joints of complex metal structures and pipelines instead of film radiography are described. Portable radioscopy (X-ray television) using mobile X-ray machines and CCD detectors will expand the scope of flaw detection in industry. Portable radioscopic detectors manufactured at the EO Paton Electric Welding Institute are described, the cost of which is an order of magnitude lower than the cost of standard large-panel industrial converters. Conclusions are given based on the results of work, in particular, it is noted that new technological capabilities in industrial radiation monitoring open up when the R-apparatus and R-transducers are independently moved over the surface of the object under study, each of which can occupy a more informative position for assessing the quality of the transillumination zone, and the internal real-time discontinuity can be considered from different angles; information is provided that with the advent of highly sensitive video cameras, it became possible to Press radioscopic low-cost, sensitive fluorographic screen converters. The cost of such devices is the smallest among the considered solutions and it does not depend much on the format and size of the R-converter. It is also indicated that mobile fluoroscopy (X-ray television) using mobile R-devices and R-sensors is more informative, portable, requires less time and material resources, fits more easily into the basic technological procedures for manufacturing mechanisms and structures than technologies with intermediate storage media .

Key words: radiation control, trunk pipeline, magnetic platforms, x-ray machines.

При оценке качества сварных соединений многих ответственных конструкций часто радиационный неразрушающий контроль (НК) является основным.

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 НК, главным остается радиационный контроль.

Чаще всего все разрушения магистральных трубопроводов происходят по кольцевым швам, производимым при их строительстве. Заводские продольные швы труб более надежны.

На рис. 1 показаны основные схемы просвечивания сварных соединений трубопроводов. Схем просвечивания, как и элементов, подлежащих контролю, намного больше, чем изображено на рис. 1. Со временем объемы пленочной радиографии будут сокращаться, радиационный контроль будет реализовываться преимущественно с помощью твердотельных R-преобразователей, объемы производства которых во всем мире растут.

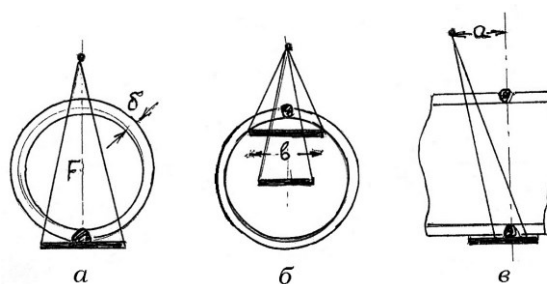


Рисунок 1 – Основные схемы просвечивания сварных соединений трубопроводов

Это быстро, наглядно и намного дешевле, чем пленочная радиография. Пленочная радиография будет применяться только при отсутствии радиоскопического оборудования в исключительных случаях. Получат большое распространение малогабаритные R-аппараты и твердотельные R-преобразователи, которые будут крепиться и свободно перемещаться по объекту (по трубе), например, так, как показано на схемах рис. 2. На рис. 3 дано фото на обечайке трубы диаметром 920 мм с рентгеновским аппаратом «Арина-05», закрепленным на подвижной магнитной платформе.

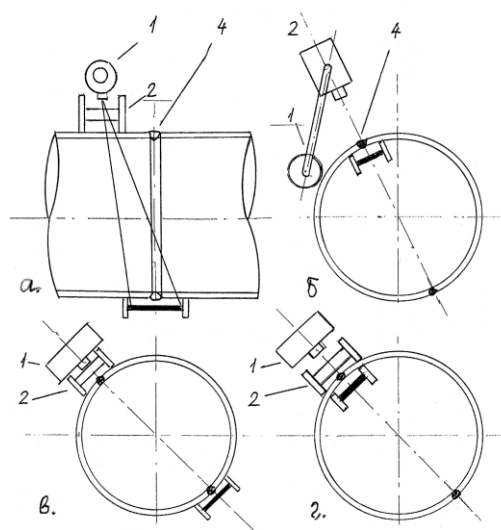


Рисунок 2 – Автономно перемещаемые R-аппарат и R-преобразователь по внешней и внутренней поверхностям труб большого диаметра

Магнитная платформа оборудована двумя магнитными колесами диаметром 110 мм. Платформа имеет диск для крепления штанги с R-аппаратом и удерживающий магнит, сила отрыва которого от поверхности ферромагнитного объекта 35 кг, что в несколько раз больше, чем вес R-аппарата. Поэтому R-аппарат может удерживаться на трубе в любом пространственном положении, включая потолочное.

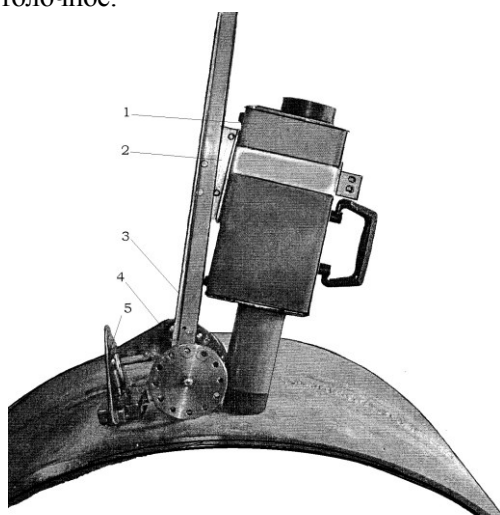


Рисунок 3 – Фото R-аппарата Арина-05 на подвижной магнитной платформе, располагаемой на трубе $\varnothing 920 \times 12$

Устройство по рис. 3 предназначено для R-контроля кольцевых монтажных швов, вдоль которых перемещаются R-аппарат и R-преобразователь, его конструктивные схемы показаны на рис. 6, 8, 10.

На рис. 4 приведено фото радиационного контроля кольцевых соединений магистральных трубопроводов, взятые из журнала «Территория нефтегаза», № 10, 2016. Это российское оборудование для цифрового радиационного контроля трубопроводов без рентгеновской пленки, в котором используются очень дорогие большие (200×200) плоскопанельные стандартные R-преобразователи.

Результаты просвечивания по рис. 2, 3, 4 при использовании твердотельных преобразователей наблюдаются в реальном времени на экране монитора, т.е. речь идет о замене пленочной радиографии на рентгеноскопию (рентген-телевидение), которая достаточно распространена на трубопрокатных заводах и в медицине [1]. В стране имеется много рентгенологов, которые способны освоить описываемую радиоскопическую технологию, внедрение которой сдерживается стоимостью оборудования (рис. 4).

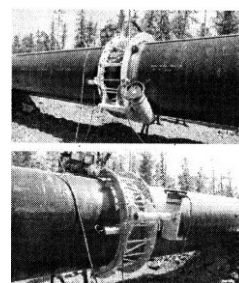


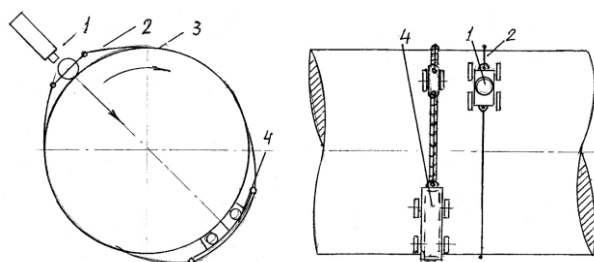
Рисунок 4 – Цифровой радиографический контроль качества сварных соединений в России (из журнала «Территория нефтегаза», № 10, 2016)

В установках по рис. 4 промышленный рентгеновский аппарат перемещается по мощной металлоконструкции, охватывающей трубу вблизи кольцевого сварного шва. Одновременно диаметрально противоположно положению R-аппарата перемещается плоскопанельный преобразователь, имеющий размеры 200×200 мм. Эта конструкция имеет вес 80 кг, монтируется на каждом кольцевом шве, подлежащем контролю, что занимает много времени.

Устройство по рис. 4 имеет узко специализированное назначение и предназначено только для просвечивания кольцевых сварных соединений через две стенки (рис. 1а, в). Оно не годится для просвечивания других видов сварных соединений, различных гибов, отводов, врезок и других элементов трубных магистралей. Предлагаемое подвижное крепление R-аппарата по рис. 2, 3 универсально. Оно может быть использовано для любых металлоконструкций, не только для трубопроводов.

Основными недостатками технологии контроля по рис. 4 является узкая специализация вспомогательной металлоконструкции, ее привязанность к размеру диаметра, большая продолжительность попутных процедур, высокая стоимость, длительность контроля. В нашем случае R-аппарат и R-преобразователь передвигаются по поверхности трубы на автономных магнитных тележках (рис. 2 – 5), т.е. исключаются основные недостатки, присущие технологии по рис. 4. Кроме того, надо отказываться от избыточной информации, получаемой от крупнопанельных R-детекторов и применять миниатюрные твердотельные R-преобразователи, ширина которых соизмерима с шириной изучаемого сварного шва.

На рис. 5, 6 показано, как в этом случае производить просвечивание кольцевого сварного соединения через две стенки. Крепления по рис. 5, 6 могут легко быть перестроены на выполнение просвечивания любых элементов трубопроводов, продольных, спиральных и других швов. 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 громоздкой металлоконструкции, показанной на рис. 4. При этом на несколько порядков снизится металлоемкость вспомогательных средств, объединяющих R-аппарат и R-преобразователь.



Риснок 5 – Схема крепления на трубе

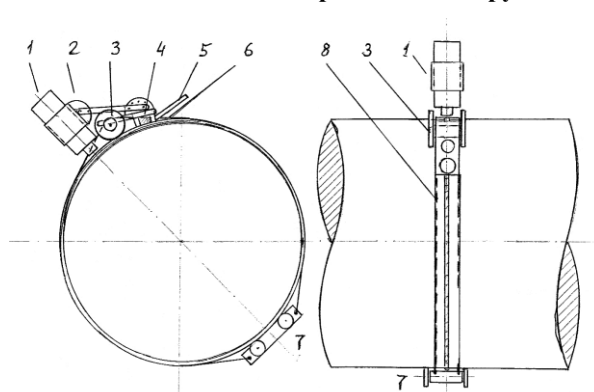


Рисунок 6 – Схема крепления на трубе

Очевидно, что R-аппарат и портативный твердотельный R-преобразователь, расположенные на автономных платформах (рис. 5) могут занимать любые пространственные положения относительно друг друга. Способ мобильного радиационного контроля с помощью автономно перемещаемых по поверхности объекта источника излучения и R-преобразователя, расширяет возможности мониторинга не только магистральных трубопроводов, но и других объектов, например, ферм (рис. 7) и т.п. металлоконструкций с их сложным сплетением элементов.

Если элементарное объединение R-аппарата и R-преобразователя (рис. 6) по сравнению с сооружением по рис. 4 даёт мобильность, сокращение времени и веса, то преимущество отдельного (рис. 5) перемещения R-аппарата и R-преобразователя позволяет рассматривать внутренние несплошности металла под разными углами в разных ракурсах, открывает новые технологические возможности в мониторинге.

Для просвечивания сложных металлоконструкций важно сочетание точечного и ограничено подвижного крепления R-аппарата в сочленениях элементов ферм, например, таких, как по рис. 7.

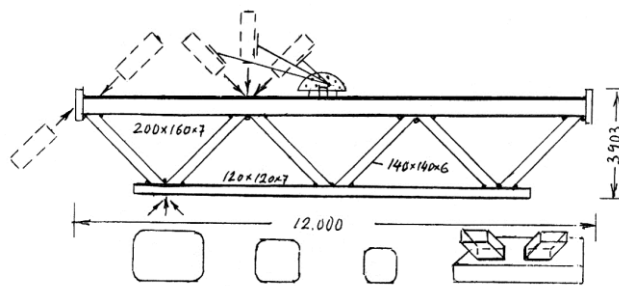


Рисунок 7 – Схема сочленения

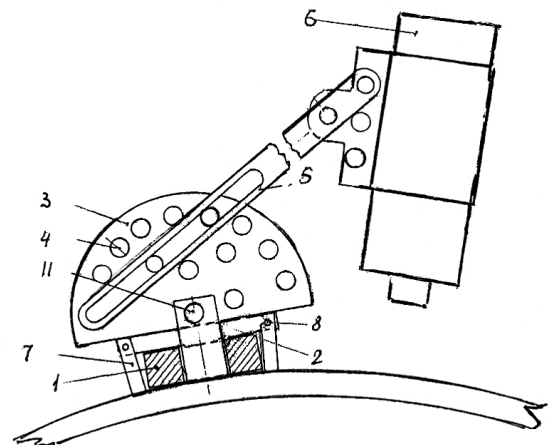


Рисунок 8 – Схема навешивания излучателя

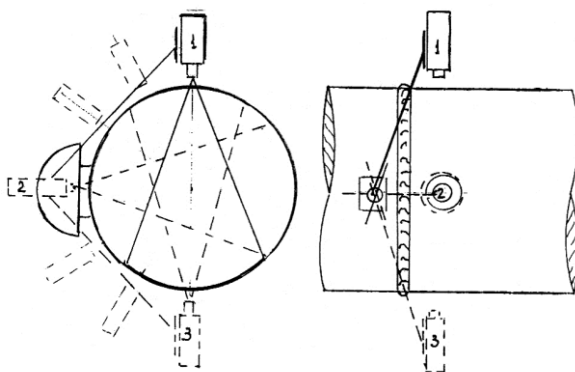


Рисунок 9 – Схема просвечивания

На рис. 8 показано точечное крепление R-аппарата, с помощью которого удобно выполнять изучение металлоконструкций типа ферм по рис. 7. Точечное крепление R-аппарата осуществляется с помощью мощного миниатюрного постоянного магнита, изготовленного из редкоземельных металлов, сила удержания которого в несколько раз превышает вес R-аппарата. С помощью точечного крепления (рис. 8) можно обследовать не только фермы, но и кольцевые швы труб с двух диаметрально противоположных размещений R-аппарата на поверхности трубопровода так, как это показано на рис. 9. Сочетание точечного и ограниченно подвижного крепления излучателя показано на рис. 3, 6 и 10. Здесь диск 3 с отверстиями 4 для штанги, на которой крепится R-аппарат, вынесен на подвижное магнитное колесо.

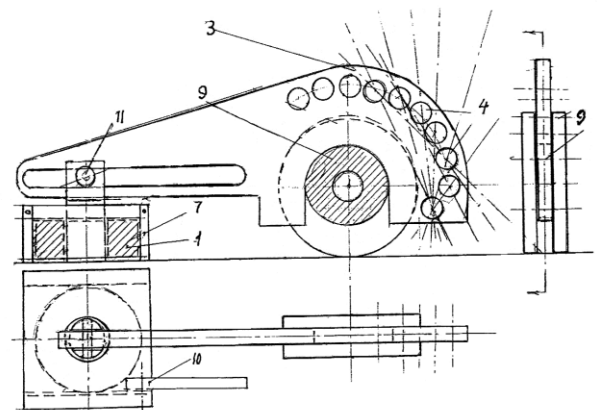


Рисунок 10 – Удерживающий магнитный рычаг

Ограниченно подвижное крепление R-аппарата обеспечивает расположение R-аппарата в любых пространственных положениях. Он может удаляться, приближаться, а также вращаться вокруг точки 11, центрального стержня удерживающего магнита. Для того, чтобы снять, переместить R-аппарат надо преодолеть силу его крепления, надо приподнять край удерживающего магнита рычагом 8 (рис. 10).

Устройство по рис. 3, 6, 10 позволяет крепить и перемещать R-аппарат по криволинейным поверхностям. Автономно перемещаемый R-преобразователь может иметь страховочный трос, как показано на рис. 5.

При реализации описанной R-технологии (рис. 5) с расположением на объекте независимо перемещаемых R-аппарата и R-преобразователя, процесс контроля будет состоять из следующих обязательных процедур:

- разметка на поверхности объекта мест, подлежащих просвечиванию;

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

- перед включением излучения выполняются все мероприятия по технике безопасности, прописанные регламентом.

После 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 в процессе просвечивания позволяет уточнить форму, размеры и глубину залегания несплошности в реальном времени, что можно сделать только при такой технологии радиационного контроля.

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.

Для кольцевых швов труб малого диаметра, просвечиваемых через две стенки, делается 2-3 экспозиции. Количество экспозиций [2 – 6] 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 перемещения излучателя и R-преобразователя.

Для массовых многократно повторяющихся однотипных экспозиций, уменьшения вспомогательного технологического времени эффективно жесткое соединение магнитных платформ так, как показано на рис. 6. Это будет копией контроля, выполняемого с помощью устройства 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). Возможность просвечивания во всех пространственных положениях с диаметрально противоположным расположением излучателя (рис. 6) и R детектора удобно и при пленочной радиографии. В этом случае кассета с R пленкой крепится на тросе, объединяющем R аппарат и R детектор.

Удобство работы с излучателем, располагаемым на внешней поверхности трубы, со временем изменит отношение к кроулерам и другим средствам панорамного внутритрубного излучения. Расширятся и другие возможности радиоскопического неразрушающего контроля, который будет выполняться только с помощью R-аппаратов, располагаемых на внешней поверхности трубы. Внутри трубы будут перемещаться не излучатели, а R-детекторы, подвижность которых внутри трубы даст много дополнительной информации о зоне просвечивания.

В Японии, странах Европы выпускаются малогабаритные высокочастотные рентгеновские аппараты непрерывного излучения. Импульсные R-аппараты с их ограниченными дефектоскопическими возможностями распространены только в постсоветских странах. Для перемещения по поверхности объекта важно иметь портативные R аппараты непрерывного излучения, при этом тип R детектора может быть любой, включая R пленку.

Для получения результата контроля в цифровом виде [1, 2, 3, 15] должна быть применена компьютерная программа. Схемы [4, 5, 6, 9, 11] получения цифровых изображений основаны на использовании идентичных компьютерных программ. Все они сводятся [7 – 10] к трем типам:

- традиционная пленочная радиография с последующей компьютерной цифровой обработкой;

- технологии с многократно используемыми промежуточными носителями информации, более совершенные, чем технологии с R-пленкой, но требующие специальных считывающих устройств;

- непосредственное радиоскопическое изображение на основе ПЗС и КМОП-матриц, развиваемое в ИЭС им.Е.О.Патона.

Эти три принципа получения цифровой информации [12] сильно отличаются по основным потребительским показателям. Так по расходу, времени и стоимости получения цифровой информации эти три технологических принципа приблизительно соотносятся, как 10:5:1, а стоимость используемого оборудования и расходных материалов, как 5:20:1. Это сугубо ориентировочные соотношения. В каждом странах оно зависит от многих ситуативных обстоятельств. Эти соотношения непостоянны во времени из-за текущей конъюнктуры на рынке. Обсуждение этих цифр прошло [7] в США, Германии, Украине, Тайване. Они зависят и от технической культуры, от заинтересованности сторон и т.д. Не подлежит сомнению, что время, развитие техники работают на электронную радиоскопию, на рентген-телевидение, которое в этом сравнении взято за единицу. Без сомнений радиоскопия в реальном времени без расходных материалов должна заменить два других выше упомянутых цифровых принципов получения цифровой информации. Все технологии с промежуточными носителями будут все реже применяться, уступая радиоскопии (рентген-телевидению).

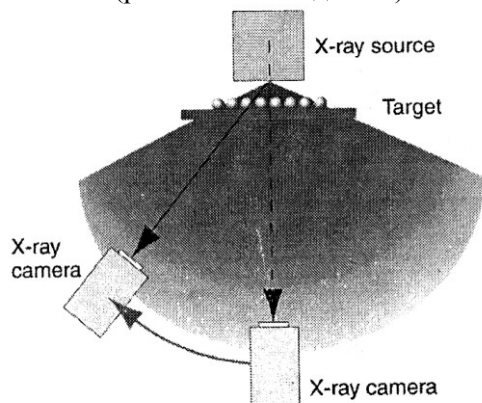


Рисунок 11 – Диаграмма излучения R аппарата и удаленные расположения R сенсоров для увеличенных изображений внутренних несплошностей объекта

Для того чтобы перейти от пленочной радиографии к автоматизированной высококачественной радиоскопии надо 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, [9, 10], 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 сомнительную зону большого объекта, измерять размеры и расположение в ней внутренних дефектов.

В работе [14] описан R детектор ИЭС им.Е.О.Патона для контроля протяженных объектов, состоящий из миниатюрного ПЗС-сенсора типа S10810-11 (рис. 12) ф. «Hamamatsu» и гибкой направляющей, по которой перемещается этот сенсор внутри преобразователя. В процессе контроля сенсор выполняет остановки продолжительностью в несколько секунд. Так вдоль контролируемого объекта (сварного шва), по его поверхности, находясь в поле излучения (рис. 11) R-аппарата внутри R-преобразователя перемещается миниатюрный ПЗС-сенсор, например, показанный на рис. 12. На рис. 13а показаны 10 рентгенограмм размером 24×36 мм, соответствующих 10 экспозиционным остановкам сенсора (рис. 12) внутри R детектора, располагаемого на поверхности сварного соединения. На рис. 13б показан результат сшивания этих 10 отдельных радиограмм, размеры каждой из которых 24×36 мм соответствуют размерам активной зоны (рис. 12) миниатюрного сенсора S10810-11, в единую протяженную радиограмму (рис. 13б), соответствующую размерам объекта – сварного соединения. Данный R-преобразователь на

порядок дешевле, чувствительнее, чем крупнопанельные преобразователи с размерами 200×200 мм, например, примененные в устройстве, показанном на рис. 4. Малоформатные ПЗС-матрицы, примененные в сенсоре по рис. 12, 13, отличаются более высокой разрешающей способностью, чем возможности крупноформатных радиоскопических панелей.

■ CCD sensor

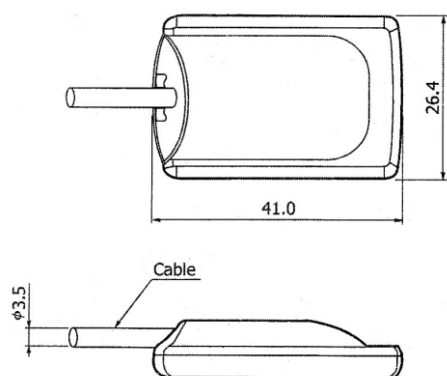


Рисунок 12 – Миниатюрный сенсор S10810-11 ф. «Hamamatsu», перемещаемый по металлической полосе внутри R преобразователя ИЭС им. Е.О.Патона

Основная стоимость такого протяженного высокочувствительного R-преобразователя определяется стоимостью миниатюрного ПЗС-сенсора (рис. 12), активная зона которого в 6-7 раз меньше чем избыточная площадь активной зоны крупнопанельных преобразователей, примененных в устройстве по рис. 4. Сенсор S10810-11 имеет размеры пикселя 25 мкм, разрядность АЦП 14 бит, имеет WiFi передачу, набор Программ для отчетов, улучшения качества изображений и пр.

Время получения одного цифрового рентгеновского снимка 36×24 мм по рис. 12, 13 не более одной минуты, разрешение 20 пар линий на 1 мм. Сенсор по рис. 12 адаптирован к постоянным и переменным X-ray полям.

В ИЭС им.Е.О.Патона НАНУ изготавливают [13] другие еще более дешевые радиоскопические, рентгентелевизионные преобразователи, например, показанные на рис. 14а, б, основными элементами которых являются люминесцентный экран 3, видеокамера 4 оптического объектива. На рис. 14а,б показан такой R-преобразователь ИЭС им.Е.О.Патона с размерами 225×425×110 мм и результаты его применения для просвечивания кольцевого шва стальной трубы $\varnothing 57 \times 5$ мм. Подобные большие R-преобразователи с размерами активной зоны до 300×350 мм (существенно больше, чем 200×200 мм) создавались и успешно использовались в ИЭС им.Е.О.Патона для контроля качества пластин бронезилетов [11, 13]. Схема такого типа R-преобразователей поясняется на рис. 14а. Здесь на флуоресцентный экран 3 направлено зеркало, далее следуют оптический объектив и видеокамера 4. Внешний вид преобразователя показан на рис. 14б, а на рис. 14в,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.

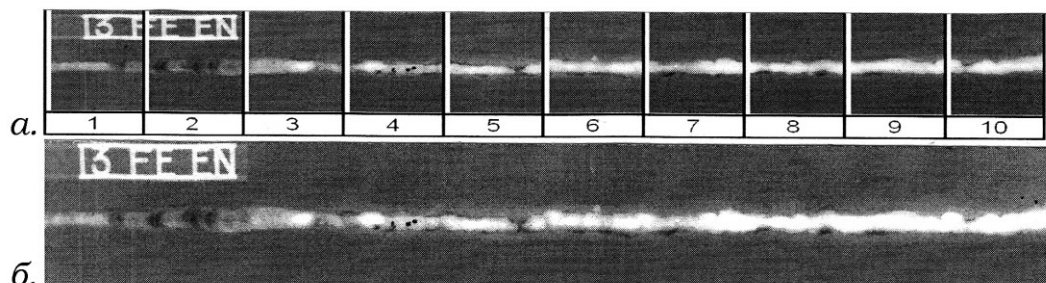


Рисунок 13 – R-снимки (а) десяти участков сварного шва и результаты их сшивания (б) в единую радиограмму

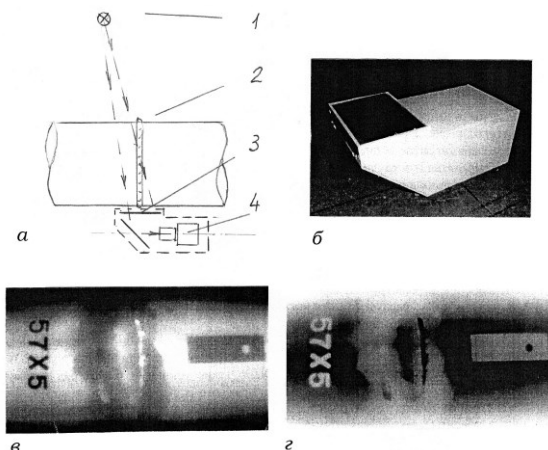


Рисунок 14 – Рентген-телевизионный контроль на основе радиоскопического преобразователя стальной трубы $\varnothing 57 \times 5$ мм: а – схема просвечивания: 1 – излучатель, 2 – сварной шов, 3 – флуоресцирующий экран, 4 – оптический объектив и видеокамера; б – R детектор $225 \times 125 \times 110$;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

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 (~ 150 \$) черно-белая моно

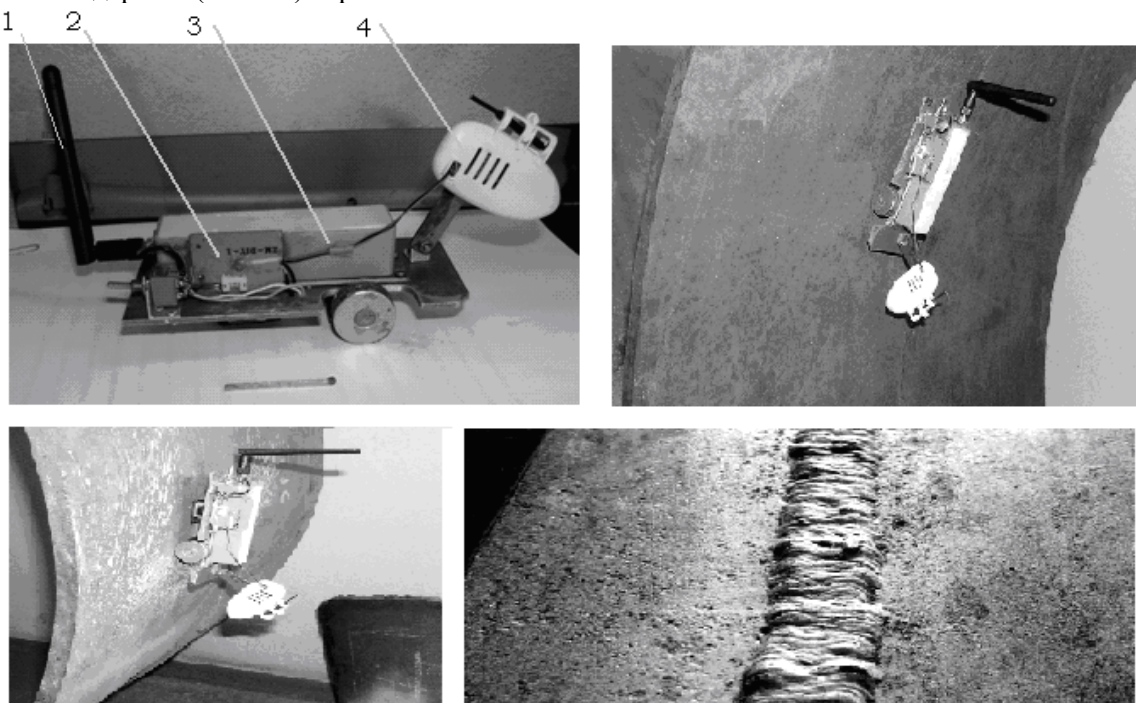


Рисунок 15 – Универсальная радиоуправляемая гибкая платформа: а – общий вид; б, в – потолочное и боковое положение на трубе диаметром 1200 мм; г – запись сварного шва; 1) антенна 2,4 ГГц; 2) блок радиоуправления; 3) аккумулятор; 4) Wi-Fi камера

матрица размером $4,83 \times 3,63$ мм с динамическим диапазоном 14 Bit. Подобные R-преобразователи, подходящие для контроля качества сварных соединений намного дешевле крупнопанельных R-преобразователей, производимых во многих странах.

Для просвечивания сварных швов могут быть использованы и линейные сенсоры, которые должны располагаться вдоль сварных швов (по оси шва и по околовшовным зонам).

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

Малогабаритные сенсоры любого типа могут располагаться на радиоуправляемых гибких платформах (рис. 15), оборудованных WiFi камерами, способными перемещаться в любых направлениях, держаться в любых пространственных положениях, способных разворачиваться на месте на 360° .

Подвижное устройство по рис. 15 оборудовано видеокамерой для объективного визуально-измерительного контроля, для нахождения зон, подлежащих НК на наличие внутренних дефектов и зон повышенных напряжений. Подвижная платформа по рис. 15 обладает высокой проходимостью. Она имеет гибкое тело и только два магнитных колеса. Эта платформа может нести детекторы магнитного поля, лазерные измерители размеров, портативные R-преобразователи и т.п. средства НК. Сила отрыва от ферромагнитной поверхности этого транспортного средства составляет ~ 12 кг. Оно может нести миниатюрные R-преобразователи, производимые фирмами Hamamatsu, Teledyne Dalso, Düg и др. Подвижные R-аппарат и R-преобразователь открывают новые технологические возможности R-контроля сварных конструкций.

Выводы

1. Развитие электронных и цифровых технологий с каждым годом будут все больше сокращать использование в промышленности пленочной радиографии и другие технологии радиационного контроля с промежуточными носителями информации.

2. Миниатюрные твердотельные R-сенсоры на основе ПЗС и КМОП-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 разработанных R-преобразователей на несколько порядков меньше.

3. Новые технологические возможности при промышленном радиационном контроле открываются при автономном перемещении R-аппарата и R-преобразователей по поверхности изучаемого объекта, каждый из которых может занять более информативное положение для оценки качества зоны просвечивания, а внутренняя несплошность в реальном времени может быть 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-датчики 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 (рентгеновидение) 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. ИЭС им.Е.О.Патона по согласованным техническим условиям с Заказчиками изготавливает магнитные платформы для перемещения по поверхности металлоконструкции R-аппаратов и R-преобразователей, описанных в данной работе.

Список використаних джерел

1. Неразрушающий контроль: справочник в 8 т. / под ред. В.В. Клюева. Т. 1. Кн. 1. Визуальный и измерительный контроль. Кн. 2. Радиационный контроль Ф.Р.Соснин. Изд. 2-е, перераб. и испр. М.: Машиностроение. 2008, 559 с.

2. Троицкий В.А. Флэш-радиография. *Территория NDT*. 2013. № 4. С. 44-49.

3. Майоров А.А. Цифровые технологии в радиационном контроле. *В мире неразрушающего контроля*. 2009. № 3. С. 5-12.

4. Усачев Е.Ю., Валиков В.В. и др. Комплекс цифровой радиографии для ревизии

сварных соединений трубопроводов. *Контроль. Диагностика*. 2014. № 6. С. 60-64.

5. Троицкий В.А. Развитие радиационного контроля сварных соединений. *Территория NDT*. 2015. № 3. С. 38-43.

6. Троицкий В.А., Михайлов С.Р., Пастовенский Р.О., Шило Д.С. Современные системы радиационного неразрушающего контроля. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. 2015. № 1. С. 23-35.

7. Troitskiy V.A. Quik Industrial X-ray Testing without Intermediate Data carriers of Information, ASNT. *The NDT Technician*. Vol 15, No 4.

8. Troitskiy V.A. Perspective of development of radiation testing of Welded joints, 19 th WCNDT-2016, Munich, Germany.

9. Troitskiy V.A. Digital radiographic systems for NDT of Welding joints. Труды 12-й Европейской конференции, Cothenburd–2018, Jone, 11-15.

10. Troitskiy V.A. Indust X-ray testing without intermediate data carriers of information. Польша. *Badanja Nieniszczace Diagnostyka*. 2018. No 2. P. 29-34.

11. Тройцький В.О., Михайлов С.Р. та ін. Патент на корисну модель «Пристрій для рентгентелевізійного контролю» № 135146 від 25.06.2019р., бюл. 12.

12. Durr NDT GmbH and Co. KG. URL: <http://duerr-ndt.de/ru/product> Panels NDT. html.

13. Троицкий В.А., Михайлов С.Р. и др. Высокочувствительные рентгентелевизионные системы на основе рентгеновских экранов и ПЗС-камер с накоплением изображений. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. 2019. № 3. С. 41-46.

14. Троицкий В.А., Карманов М.Н., Шевченко И. Я. Разработки Института электросварки им. Е. О. Патона в области неразрушающего контроля. *ТДНК*, № 4, 2019, с. 4-12.

References

1. Nerazrushayuschiy kontrol: spravochnik v 8 t. / pod red. V.V. Klyueva. T. 1. Kn. 1. Vizualnyiy i izmeritelnyiy kontrol. Kn. 2. Radiatsionnyiy kontrol F.R.Sosnin. Izd. 2-e, pererab. i ispr. M.: Mashinostroenie. 2008, 559 p. [in Russian]

2. Troitskiy V.A. Flesh-radiografiya. *Territoriya NDT*. 2013. No 4. P. 44-49. [in Russian]

3. Mayorov A.A. Tsifrovyye tehnologii v radiatsionnom kontrole. *V mire nerazrushayushego kontrolya*. 2009. No 3. P. 5-12. [in Russian]

4. Usachev E.Yu., Valikov V.V. i dr. Kompleks tsifrovoy radiografii dlya revizii svarnyih soedineniy truboprovodov. *Kontrol. Diagnostika*. 2014. No 6. P. 60-64. [in Russian]

5. Troitskiy V.A. Razvitie radiatsionnogo kontrolya svarnyih soedineniy. *Territoriya NDT*. 2015. No 3. P. 38-43. [in Russian]

6. Troitskiy V.A., Mihaylov S.R., Pastovenskiy R.O., Shilo D.S. Sovremennyye sistemy radiatsionnogo nerazrushayushego kontrolya. *Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrushayuschiy kontrol*. 2015. No 1. P. 23-35. [in Russian]

7. Troitskiy V.A. Quik Industrial X-ray Testing without Intermediate Data carriers of Information, ASNT. *The NDT Technician*. Vol 15, No 4.

8. Troitskiy V.A. Perspective of development of radiation testing of Welded joints, 19 th WCNDT-2016, Munich, Germany.

9. Troitskiy V.A. Digital radiographic systems for NDT of Welding joints. Trudy 12-y Evropeyskoy konferentsii, Cothenburd–2018, Jone, 11-15. [in Russian]

10. Troitskiy V.A. Indust X-ray testing without intermediate data carriers of information. Polsha. *Badanja Nieniszczace Diagnostyka*. 2018. No 2. P. 29-34. [in Polish]

11. Troitskiy V.O., Mihaylov S.R. ta In. Patent na korisnu model «Pristrly dlya rentgentelevizlyynogo kontrolyu» No135146 of 25.06.2019r., byul. 12. [in Ukrainian]

12. Durr NDT GmbH and Co. KG. URL: <http://duerr-ndt.de/ru/product> Panels NDT. html.

13. Troitskiy V.A., Mihaylov S.R. i dr. Vvisokochuvstvitelnyie rentgentelevizionnyie sistemy na osnove rentgenovskih ekranov i PZS-kamer s nakopleniem izobrazheniy. *Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrushayuschiy kontrol*. 2019. No 3. P. 41-46. [in Russian]

14. Troitskiy V.A., Karmanov M.N., Shevchenko I.Ya. Razrabotki Instituta elektrosvarki im. E. O. Patona v oblasti nerazrushayushego kontrolya. *Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrushayuschiy kontrol*, No 4, 2019, P. 4-12. [in Russian]