

# НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНО ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ



**ТРОИЦКИЙ Владимир Александрович**  
Д-р техн. наук, профессор, председатель  
УО НКТД, академик Международной ака-  
демии по НК



**КАРМАНОВ Михаил Николаевич**  
Канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев

*Результаты неразрушающего контроля (НК) промышленных объектов ложатся в основу прочностных расчетов конструкций, используются для определения их остаточного ресурса и допустимости дальнейшей эксплуатации, необходимости ремонта [1]. Такой опыт по использованию НК качества материалов и сооружений имеется практически во всех отраслях промышленности всех республик бывшего Советского Союза, имеющих приблизительно одинаковый уровень поддержания удовлетворительного технического состояния многочисленных долгоэксплуатируемых объектов. Описаны технологии НК ИЭС им. Е.О. Патона ответственных долгоэксплуатируемых объектов, интересные для стран СНГ.*

**Оптоэлектронный визуально-измерительный контроль (ВИК).** Наиболее распространенным методом НК является визуальный контроль [1, 2]. Он предшествует всем остальным видам НК. Однако на достоверность визуального НК в значительной степени влияет человеческий фактор (утомляемость, субъективность, снижение внимания и т.п.). Для того чтобы перепроверить, уточнить отдельные результаты ВИК, его надо проводить заново.

Для повышения точности, полноты и объективности ВИК разработаны [3] приборы (рис. 1) для оптоэлектронного визуального контроля, которые позволяют считывать и анализировать изображения поверхности (свар-

ного шва), измерять геометрические параметры фрагментов поверхности, осуществлять беспроводную передачу полученных изображений и запоминать их в цифровом виде. Записи изображений сварных швов (поверхности объекта) в дальнейшем обрабатываются, документируются и архивируются и при необходимости могут быть перепроверены, оценены с позиций международных стандартов [4, 5], например ISO 5817 и ISO 6520.

Пример реализации оптоэлектронного визуального контроля, совмещенного с возможностью магнитного контроля на базе подвижного намагничивающего устройства типа ТВА, показан на рис. 1. Устройство имеет:

лазерный измеритель ширины шва, подсветку околошовных зон, миниатюрную USB-видеокамеру, в качестве монитора и регистратора используется смартфон. Устройство может подключаться к компьютеру или иметь с ним Wi-Fi-связь. На съемном смартфоне оператор наблюдает в 2–3 раза увеличенное (см. рис. 1) изображение сварного шва, перемещающая прибор по поверхности со скоростью до 3 м/мин. Поскольку в качестве легко перемещаемой платформы для ВИК использовано подвижное намагничивающее устройство (НУ) с полюсами в виде больших дисков (Ø 140 мм). Поэтому этот ВИК-прибор (см. рис. 1) имеет высокую проходимость и может при



Рис. 1. Оптоэлектронный прибор ВИК/ТВА-1 для визуального контроля на базе подвижного намагничивающего устройства:

1 – светолазерная подсветка ширины сварного шва околошовной зоны; 2 – настроечные винты для регулировки ширины и высоты светолазерной подсветки; 3 – видеокамера с подсветкой, расположение которой регулируется по высоте; 4 – тумблер включения светолазерной подсветки; 5 – разъем для зарядки аккумулятора и магнитный держатель для смартфона (планшета); 6 – кабель (5 м), соединяющий видеокамеру и монитор; разъем USB/mikroUSB с включаемой подсветкой (на рис. не показан); 7 – ручка-контейнер, внутри которой находятся аккумуляторы; 8 – дискообразные магнитные полюса намагничивающего устройства ТВА-1, на котором смонтированы средства для ВИК

необходимости быть использован для локального магнитопорошкового контроля (МПК).

Одной зарядки смартфона и других элементов хватает для обеспечения непрерывной работы устройства на протяжении 6–8 ч. До начала работы включают светолазерную подсветку и запускают программу на смартфоне AN 97. Далее включается веб-камера, в которой имеется собственная внутренняя подсветка.

Запись фото и видео контрольно-диагностического процесса происходит с помощью стандартной программы смартфона (планшета). При выполнении сбора данных о поверхности, по которой перемещается устройство, камера находится на расстоянии 5–8 см от поверхности. При этом обычно изображение шва на экране монитора имеет дву-

кратное увеличение. Видеозапись поверхности объекта происходит с включенными видеокамерой и лазерными измерителями ширины сварного шва, что помогает оперативному принятию решения.

Данный прибор оснащен камерой высокого разрешения с комбинированным разъемом USB/mikroUSB.

**Устройство ВИК/ТВА-1 имеет следующие характеристики:**

- скорость записи ВИК информации 3 м/мин;
- USB-видеокамера, матрица камеры CMOS 2,0 Мп;
- разрешение (видео или фото): 1280×960, 1280×720, 640×480;
- допустимая скорость видеопотока до 30 кадр./с;
- LED-подсветка (управление подсветкой с помощью кнопки);
- время непрерывной работы 6 ч;
- длина эндоскопического кабеля для работы в закрытых полостях со съемной видеокамерой 5 м.

На рис. 2 показан процесс ВИК с использованием прибора ВИК/ТВА-1 и фрагменты сварных швов днища резервуара на 200 м<sup>3</sup>, установленного на антарктической станции «Академик Вернадский».

Оптоэлектронные записи изображений сварных швов, полученные с помощью данного прибора, обрабатывают с использованием цифровых программ анализа изображений. На большом экране стационарного компьютера можно как многократно увеличить масштаб изучаемой зоны, так и давать информативную оценку дефектам в соответствии со стандартами ISO 6520-1:2015 и ISO 5817.

Существует также возможность доукомплектации прибора другими измерительными средствами, например такими, которые позволяют оценивать напряженное состояние локальных зон металлоконструкций.

Такие устройства для визуального и магнитопорошкового НК изготавливаются в разных модификациях с учетом пожеланий заказчика, по согласованным техническим заданиям.

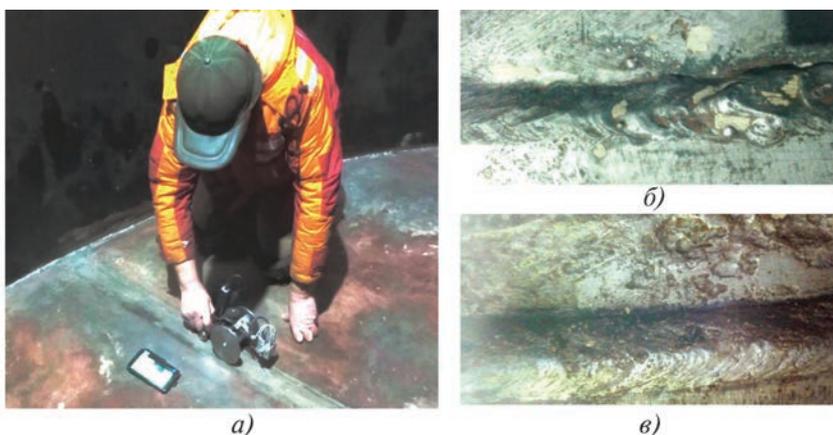


Рис. 2. Применение ВИК/ТВА-1 (а) внутри резервуара 200 м<sup>3</sup> на станции «Академик Вернадский»: б, в – коррозия сварного соединения и околошовной зоны

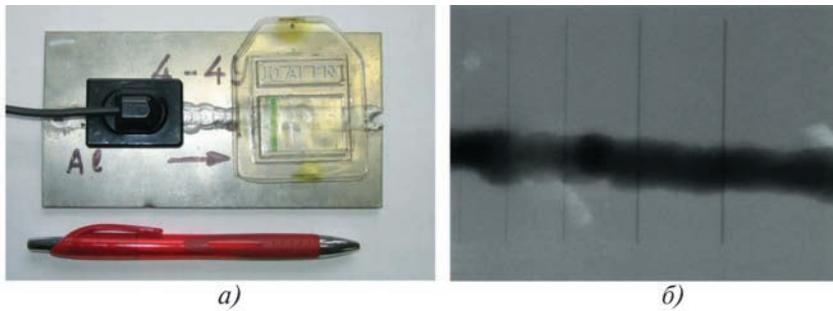


Рис. 3. Рентгентелевизионный (а) сенсор S10811-11 на алюминиевом образце и изображение (б) сварного соединения (алюминий, толщина 2 мм) с использованием этого сенсора

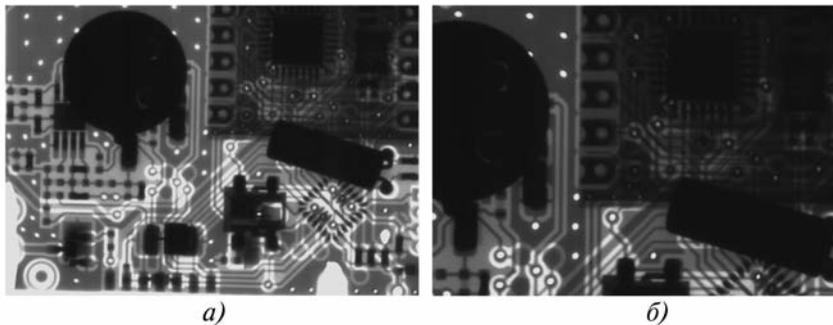


Рис. 4. Рентгеновское изображение печатной платы (а) и 1,5-кратное его увеличение (б), полученное с помощью миниатюрного R-преобразователя

ВИК/ТВА имеет съемную веб-камеру. Это позволяет осматривать закрытые полости, включая баки, цистерны и другие объекты, находящиеся на расстоянии до 5 м от устройства. Измерение ширины шва и удаленных элементов конструкции можно проводить с помощью двух параллельных лазерных лучей, имеющих в приборе. При изучении сварных швов обеспечивается подсветка наиболее опасных околошовных зон, в которых могут быть трещины, подрезы и т.п. дефекты.

Преимуществами такого оптоэлектронного визуально-измерительного контроля являются: объективность, скорость и достоверность полученной информации обо всех внешних особенностях сварного шва, цифровая обработка изображений. В результате снижается влияние человеческого фактора на результаты НК, достигается объективная оценка классности В, С, D по ISO 5817.

Новые возможности в дефектоскопии геометрически сложных конструкций открывает **X-ray mini-технология** на основе недорогих малогабаритных твердотельных плоскочастотных детекторов [6–10]. Для этих целей в ИЭС им. Е.О. Патона успешно используется миниатюрный твердотельный рентгентелевизионный сенсор S10811-11 японской фирмы Hamamatsu Photonics (зона контроля 24×34 мм, разрешающая способность 25 мкм), показанный на рис. 3. Суммарная радиационная толщина контролируемого изделия для этого преобразователя определяется напряжением на рентгеновской трубке 70 кВ, что позволяет просвечивать алюминиевые сплавы толщиной 4–5 мм и стали – 2 мм. На рис. 3, а показан этот миниатюрный R-преобразователь на фоне проволочного петнетрометра и шариковой ручки. Этот преобразователь широко применяется в стоматологии.

На рис. 4–11 показаны примеры использования миниатюрных R-преобразователей для различных новых радиационных технологий без дорогих крупноформатных твердотельных полупроводниковых и радиоскопических преобразователей.

Как в стоматологии, так и в технике миниатюрные полупроводниковые преобразователи вытесняют пленочную радиографию. На рис. 4 показаны цифровые изображения электронных плат и чипов, которые могут быть представлены при 7–10-кратном их увеличении с помощью преобразователя по рис. 3.

Сверхвысокая разрешающая способность используемой полупроводниковой матрицы позволяет выполнять цифровое увеличение полученного рентгеновского изображения на экране компьютерного монитора без снижения его качества при этом. Минимальный размер выявляемых дефектов составляет 25–50 мкм.

С развитием портативного рентгентелевидения на основе миниатюрных полупроводниковых преобразователей должно уменьшаться количество взрывов в гражданских и промышленных газифицированных помещениях, которые часто происходят во всех странах СНГ. Непровары сварных швов, зазоры в соединительных газовых муфтах, являющиеся основными источниками утечек газа и последующих взрывов, могут быть теперь легко обнаружены (рис. 5) с помощью таких сенсоров. Дело в том, что утечки газа через закрашенные, зашлакованные негерметичности, допущенные при изготовлении в газовых сетях, проявляются со временем, часто после длительной и благополучной эксплуатации. Этих страшных аварий будет меньше с повышением технической культуры.

Технология контроля труб малого диаметра с использованием

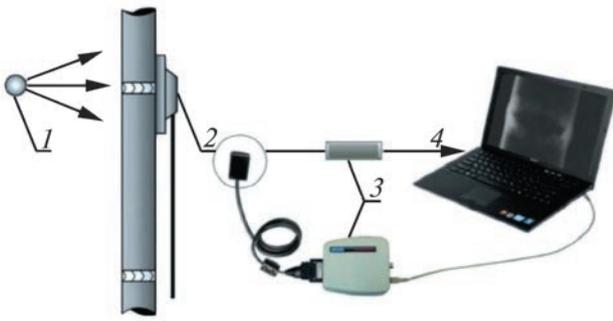


Рис. 5. X-ray mini-технология контроля труб малого диаметра:  
1 – источник излучения; 2 – миниатюрный твердотельный преобразователь; 3 – блок передачи цифровых изображений; 4 – цифровое рентгеновское изображение на экране монитора



Рис. 6. Структурная схема портативной цифровой рентгентелевизионной системы, способной с помощью миниатюрного преобразователя и механического сканера контролировать объекты большой протяженности

миниатюрных твердотельных преобразователей (см. рис. 5) открывает новые возможности для дефектоскопии не только в газовом хозяйстве, но и при обследовании различных теплообменников, в тех случаях, когда ультразвуковая толщинометрия беспомощна.

Ждут подобных технологических решений многочисленные стыковые монтажные швы при строительстве высотных зданий. С отменой ванной сварки строительной арматуры, которая проверялась с помощью УЗК, теперь механические соединения арматуры, заменившие сварку, не имеют технологии НК. Их можно контролировать так, как показано на рис. 5, и оценивать зазоры между соединенными частями арматуры по смартфону, на экране телефона.

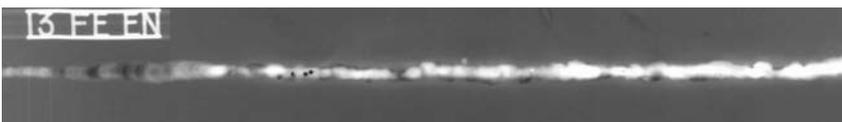


Рис. 7. Рентгенограмма протяженного сварного соединения длиной 200 мм, полученная сшиванием девяти цифровых изображений формата 24×35 мм

Портативное рентгентелевидение незаменимо для оценки содержимого в системах безопасности.

Для контроля протяженных объектов на основе минидетектора был разработан недорогой прецизионный рентгентелевизионный сканер протяженных объектов (см. рис. 6). Здесь в качестве электропривода линейного сканера используется шаговый двигатель и направляющие, по которым перемещается миниатюрный R-преобразователь.

Отдельные фрагменты цифровых рентгеновских изображений малого размера 24×35 мм, полученные с помощью миниатюрного сенсора (см. рис. 3) при сканировании протяженного контролируемого объекта, сшиваются программно в один общий протяженный рентгеновский снимок (рис. 7), длина которого может быть значительно больше, чем размеры стандартных полупроводниковых панелей, рентгеновских пленок и т.п.

Такая технология контроля с использованием линейного сканера по крайней мере на порядок дешевле известных в настоящее время полноформатных полупроводниковых панелей.

С появлением миниатюрных твердотельных преобразователей разработаны новые R-технологии, сочетающие контактную (М 1:1) и бесконтактную радиографию (М 1:10). Увеличенный масштаб М отдельных фрагментов на контактном снимке расширяет возможности дефектоскопии.

Переход на миниатюрные твердотельные преобразователи и соответствующие технологические решения, описанные в наших работах [6, 7], вызвал большой интерес у западных специалистов, в том числе в США, читающих журнал The NDT Technician, издаваемый американским обществом ASNT.

Благодаря небольшим размерам миниатюрный твердотельный детектор может быть размещен в труднодоступных или стесненных пространствах, а также перемещаться вдоль сложной поверхности контролируемого объекта. При этом прилегание к поверхности необязательно. Возможность перемещать, удалять и приближать миниатюрный твердотельный преобразователь к объекту открывает новые технологические возможности в дефектоскопии.

Технические возможности для промышленного применения малогабаритного твердотельного детектора S10811-11 в X-ray mini технологии представлены в табл.1.

При просвечивании образцов аппаратом РАП 150/300 его рентгеновская трубка работала в режиме малого фокуса, фокусное расстояние устанавливалось 600 – 700 мм. При работе с аппаратом

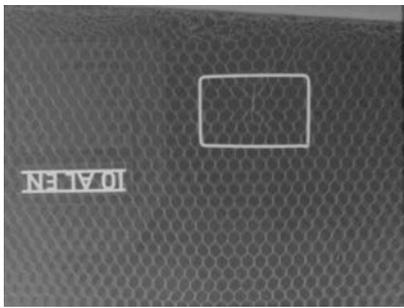


Рис. 8. Цифровое изображение фрагмента сотовой конструкции закрылка самолета с локализацией дефектного участка для подробного исследования с помощью детектора S10811-11

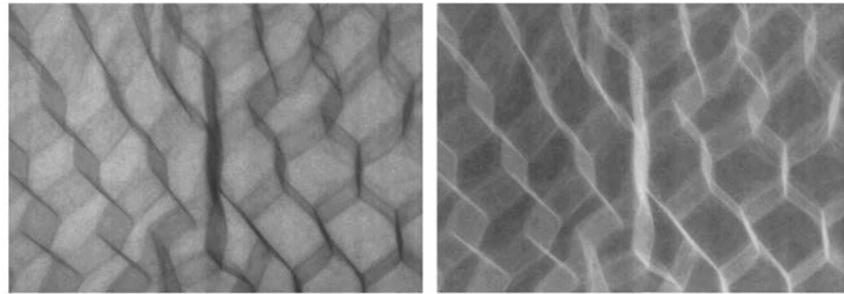


Рис. 9. Цифровые изображения дефектного участка сотовой конструкции закрылка крыла самолета, полученные с применением миниатюрного преобразователя типа S10811-11: а – позитив; б – негатив

РЕИС-100И, учитывая его малую мощность и малый размер фокусного пятна, фокусное расстояние устанавливалось равным 100 мм. Во всех режимах просвечивания анодное напряжение рентгеновских трубок не превышало 70 кВ, для стальных образцов использовался проволоочный эталон 11 (ГОСТ 7512–82), а для алюминиевых образцов – проволоочный эталон 22 (ГОСТ 7512–82).

Чувствительность по проволоочному эталону для стали толщиной 1,5 мм составила значение 0,063 мм, т.е. не уступает чувствительности, достигаемой в настоящее время радиографией с промежуточными носителями информации (пленки, запоминающие пластины).

Для дефектоскопии больших площадей старых сотовых конструкций разработана технология, состоящая из следующих операций. Контактным путем делается флюороскопический снимок большой площади, например до 1 м<sup>2</sup> за одну экспозицию. Это изображение выводит-

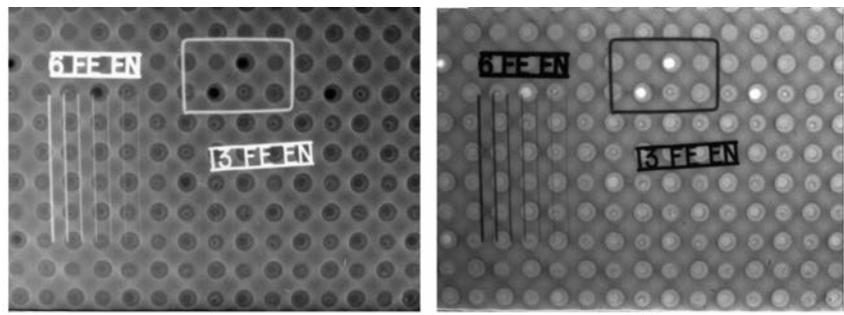


Рис. 10. Цифровые изображения образца с двойной точечной сваркой с локализацией участка для исследования с помощью твердотельного преобразователя S10811-11: а – негатив; б – позитив

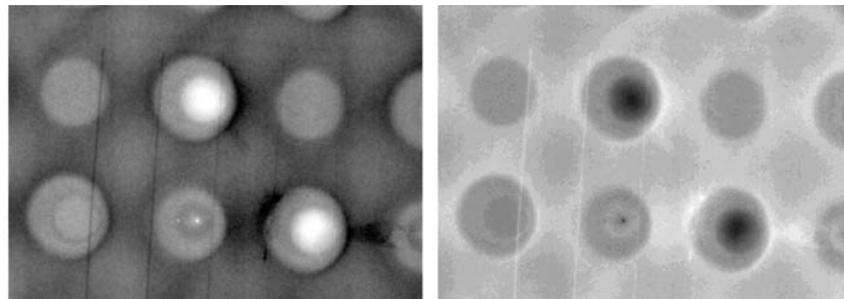


Рис. 11. Цифровые изображения в семикратном увеличении дефектного участка образца с двойной точечной сваркой, полученные с применением твердотельного преобразователя типа S10811-11: а – негатив; б – позитив

## 1. Результаты просвечивания сварных швов с использованием стоматологического преобразователя S 10811-11

Толщина шва, мм	Материал	Тип РАз	$U_a$ , кВ	$I_a$ , мА	Фокусное расстояние, мм	Время экспозиции, с	Чувствительность по проволочному эталону, мм
1,5	Сталь	РАП 150/300	60	4,00	600	20	0,063
1,5	Сталь	РЕИС-100И	65	0,04	100	20	0,063
2, 0	Алюминий	РАП 150/300	50	3,70	700	10	0,100

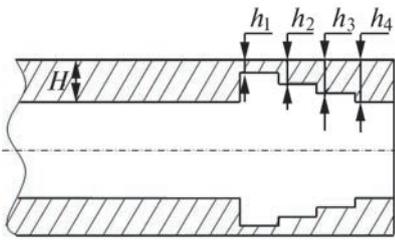


Рис. 12. Эскиз трубных образцов разного диаметра (6 типов) с внутренними проточками

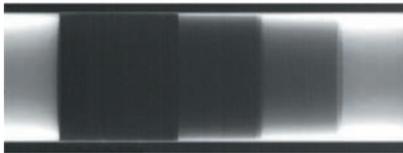


Рис. 13. Рентгенограмма трубы  $\varnothing 32$  мм с проточками

ся на экран монитора, где намечаются подозрительные зоны (рис. 8) для более тщательного изучения. В качестве примера на рис. 8 приведено крупноформатное общее изображение изучаемой сотовой конструкции, полученное с помощью рентгенотелевизионной системы РТВ-03 с размером большого поля  $160 \times 120$  мм на основе рентгеновского экрана Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S(Tb) и высокочувствительной ПЗС-камеры. Далее проводится разметка дефектных участков, которые предполагается детально исследовать с высокой пространственной разрешающей способностью с помощью твердотельного миниатюрного детектора S10811-11. На рис. 8 один такой дефектный участок, размеры которого выбираются равными размерам детектора S10811-11, обведен белой линией.

По этой разметке проводится просвечивание с увеличенным масштабом выделенного дефектного участка сотовой конструкции с применением миниатюрного детектора S10811-11. В результате такого просвечивания (рис. 9) изучено внутреннее смятие сотовой структуры.

На рис. 10 приведены результаты контроля по подобной тех-

## 2. Результаты измерения толщины стенок проточек (мм) образца трубы $\varnothing 32$ мм

Проточка	Обозначение	Метрология	Измерение, мм	
			визуальное	компьютерное
1-я	$h_1$	0,34	0,4	0,348
2-я	$h_2$	0,77	0,8	0,768
3-я	$h_3$	1,32	1,5	1,346
0-я	$h_4$	2,02	2,1	1,940

нологии трехслойного образца из нержавеющей стали с двойной точечной сваркой.

Вначале так же, как и при контроле сотовой конструкции самолета, проводится контактное просвечивание образца с помощью рентгенотелевизионной системы РТВ-03. Полученные таким образом на экране монитора цифровые изображения образца с точечной сваркой представлены на рис. 10 (*a* – негатив; *b* – позитив). Далее выделяют проблемные (дефектные) участки, которые изучают с помощью миниатюрного детектора. На рис. 10, *a* такой участок обведен белым прямоугольником. Судя по рис. 10, имеются несколько зон, заслуживающих более тщательного изучения.

На рис. 11 приведены результаты такого просвечивания как на негативном, так и на позитивном изображениях. Здесь четко видны недопустимые выплески металла, характерные для нарушений технологии этого вида точечной сварки. Эти выплески металла, их форма практически не выявляются на контактных изображениях (см. рис. 10). Так фактически сочетается контактная радиоскопия с радиационной микроскопией.

В ИЭС им. Е.О. Патона совместно со специалистами Запорожской АЭС были проведены работы по определению остаточной толщины стенки старых теплообменных труб с применением тангенциального [10] просвечивания, для которых ультразвуко-

вая толщинометрия беспомощна. Исследовались возможности тангенциального метода на трубах с диаметрами  $\varnothing 32, 38, 57, 76, 89, 108$  мм. Для этого были изготовлены образцы с проточками, показанными на рис. 12 для трубы  $\varnothing 32$  мм. Рентгенограмма этого образца представлена на рис. 13. Результаты измерений толщины стенки этого образца сведены в табл. 2.

Метрология образцов труб выполнена Киевским центром стандартизации, метрологии, сертификации (ДП «Укрметртестстандарт») согласно ДСТУ ГОСТ 6507.

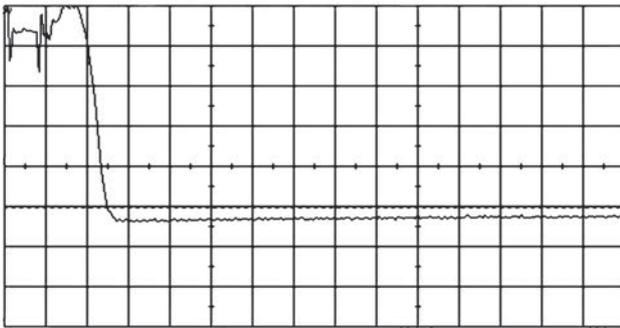
Визуальные результаты измерения толщин стенок труб при тангенциальном просвечивании выполнены на негатоскопе по радиографическим снимкам с использованием измерительной лупы. Оказалось, что эти результаты относительно плохо коррелируются с метрологией. Поэтому для повышения точности измерения толщины стенок было разработано программное обеспечение с цифровой компьютерной обработкой рентгеновских снимков, которая увеличила точность измерений толщины стенки труб. Таким образом, при тангенциальном просвечивании достигнута точность не хуже 10 %, что устроило заказчиков такой технологии.

Дальнейший низкочастотный ультразвуковой контроль (НЧ УЗК) [10] кардинально решает проблемы старых технологических трубопроводов. Так,

успешно дается оценка старения металла на основе анализа глубины прохождения ультразвука через металл, допустимости его для дальнейшей эксплуатации. Работы по НЧ УЗК нашли практическое применение при диагностировании со-



а)



б)

Рис. 14. Демонтированный участок трубопровода длиной 5,2 м (а) и его эхограмма (б)

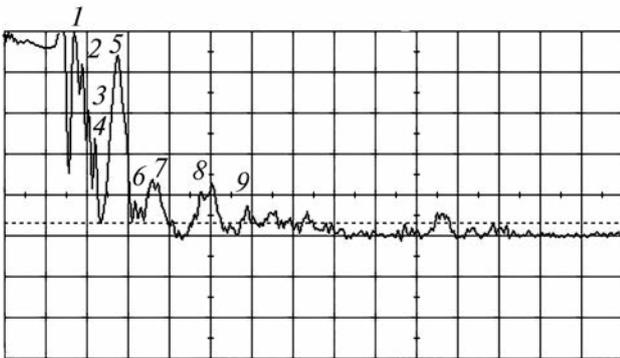


Рис. 15. Осциллограмма трубы при шурфовании

стояния старых теплотрасс. Например, на подводящем районном участке теплотрассы диаметром 325 мм после гидроиспытаний был определен участок утечки в теплопроводе. Эхограмма его (рис. 14) показала полную деградацию, потерю упругости металла. После шурфования была проведена замена дефектного отрезка трубы. Демонтированная труба в результате коррозии имела утонения на 80–90 % толщины стенки трубы. После ее замены при повторных гидроиспытаниях обнаружилась утечка на следующем участке трубопровода, примыкающем к сваренному отрезку новой трубы длиной 5,2 м. Эхограмма второй старой трубы оказалась лучше. В ней пошел ультразвук (рис. 15), т.е. металл трубы еще сохранил упругость твердого тела.

На эхограмме второй трубы на рис. 15 имеется много эхосигналов отражателей. В частности: 1 – сварной шов вварки конца новой трубы к трубопроводу, заменившей изъятую; 2, 3, 4 – сквозные отверстия: 2 – 40×30 мм; 3 – 60×30 мм; 4 – 40×40 мм; 5 – сварной радиальный шов; 6 – коррозия; 7 – отверстие 50×20 мм; 8 и далее – следуют индикации акустических отражателей за пределами шурфа. Измерения расстояний до дефектов и сравнение их с измерениями рулеткой показаны в табл. 3. Расстояния от антенны до отражателей указаны в микросекундах и метрах, рассчитанные по формуле

$$L = vt/2,$$

где  $t$  – время прохождения отраженного эхосигнала на осциллограмме,  $v$  – скорость распространения ультразвука (3250 м/с). Результаты измерений рулеткой и по эхограммам достаточно хорошо совпадают, т.е., не вскрывая трубопровод, можно определить, где находятся серьезные дефекты.

На рис. 16 показаны дефекты этого участка трубопровода (см. рис. 15, табл. 3).

Для всех стран СНГ, имеющих приблизительно равное наследие по старым металлоконструкциям, интересен прагматичный новый подход к их диагностике. Трещинообразование, корро-

### 3. Сравнение результатов измерения расположения отражателей на эхограмме

Проточка	№ индикации эхосигнала									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
По эхограмме, мс	3,18	3,62	4,12	4,37	4,74	5,68	7,17	9,73	10,40	12,0
По эхограмме, м	5,08	5,79	6,59	6,99	7,58	9,09	11,47	15,57	16,64	19,2
Рулеткой, м	4,78	5,68	6,71	6,83	7,34	8,88	10,58	–	–	–

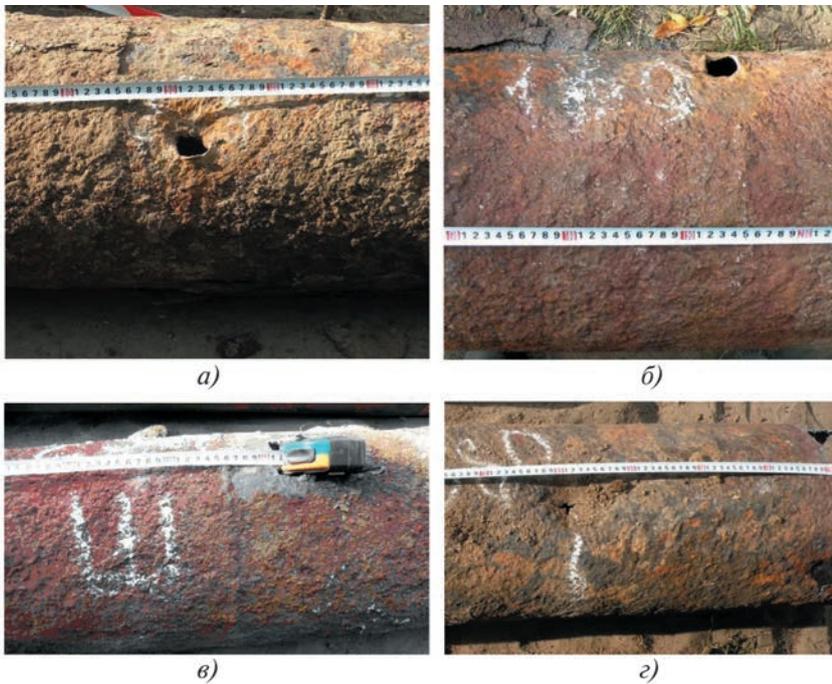


Рис. 16. Дефектные участки трубопровода, указанные в табл. № 3: дефект на расстоянии: а – 90 см (2); б – 195 см (3); г – 5 м + 80 см (7); в – шов на расстоянии 256 см (5)

зионное поражение и старение металла являются основным бичом долгоэксплуатируемых металлоконструкций. Чаще всего эти сооружения имеют неблагоприятные условия для хорошей зачистки поверхности зон контроля. Для решения проблем оценки целесообразности продолжения эксплуатации, качества старых объектов предлагается оценить в них наличие крупных трещин, больших коррозионных поражений, т.е. выполнить нетрадиционную упрощенную дефектоскопию. Строгая и точная дефектоскопия, выполняемая по стандартным правилам [1], может быть дороже остаточной стоимости старого объекта.

Такой подход [11] к судьбе старого объекта реализуется без зачистки его поверхностей через защитные слои различных покрытий, а диагностика не отличается высокой чувствительностью, которая часто не нужна для старых металлоконструкций, подлежащих демонтажу,

если у них есть серьезный дефект.

Для определения остаточного ресурса, сохранения или демонтажа старых конструкций важен оптоэлектронный [2] визуальный контроль с использованием, например, устройств, аналогичных показанным на рис. 1, и поиск скрытых крупных дефектов без особой подготовки объекта. Только после выполнения этих двух процедур можно принимать правильное решение о дальнейшей судьбе старого сооружения, целесообразности точной, подробной его дефектоскопии и подготовки предложений о дальнейшей судьбе старой конструкции.

#### Библиографический список

1. **Неразрушающий контроль:** справочник: в 8 т. / под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 1. Визуальный и измерительный контроль. Кн. 1 / Ф.Р. Соснин. 2-е изд., перераб. М.: Машиностроение, 2008.

2. **Троицкий В.А., Литвиненко В.А.** Устройство для быстрого и точного визуального контроля протяженных металлоконструкций // Сварщик. 2019. № 4. С. 38 – 42.
3. **Троицкий В.А.** Визуально-измерительный контроль протяженных металлоконструкций на основе подвижных магнитных систем // Монтажные и строительные работы. 2018. № 4. С. 2 – 8.
4. **ГОСТ Р ИСО 6520-1–2012.** Классификация дефектов геометрии и сплошности в металлических материалах. Ч. I. Сварка плавлением: ISO 6520-1:2007. М.: Стандартинформ, 2014.
5. **ГОСТ Р ИСО 5817-1–2009.** Сварные соединения из стали, никеля, титана и их сплавов, полученные сваркой плавлением, уровни качества: ISO 5817:2003. М.: Стандартинформ, 2011.
6. **Troitskiy V.A.** Quik Industrial X-ray Testing without Intermediate Data carriers of Information, ASNT // The NDT Technician. 2016. V. 15. No. 4.
7. **Troitskiy V.A.** Perspective of development of radiation testing of Welded joints // 19th WCNDT-2016, Munich, Germany, 2016.
8. **Troitskiy V.A.** Digital radiographic systems for NDT of Welding joints // 12th ECNDT conference. Gothenburd, 2018, June, 11 – 15. Gothenburd, 2018.
9. **Troitskiy V.A.** Indust X-ray testing without intermediate data carriers of information // Badañja Nieniszczace Diagnostyka. 2018. No. 2. P. 29 – 34.
10. **Troitskiy V.A.** Non-destructive testing of multilayers welded structures // Insight. 1997. V. 39. No. 9. European IS.
11. **Jinhao Ge, Wei Li, Guoming Chen.** Analysis of signals for inclined crack detection through alternating Current field measurement with a U-shaped porbe // Insight. 2017. V. 59. No. 3. ■