



Технологии НК

Non Destructive Testing as Part of Risk Based Inspection and Maintenance (RBIM) Planning

G. Passi

Variety of non-destructive testing applications establishes a range of consumers demands for representation of inspection results. In spite of rejection norms are mainly based on absolute dimensions of defects determining of size and shape of flaws is not always necessary with respect to RBIM strategy. Typical non-destructive testing practice examples are discussed in the article.

НК как компонент стратегии минимизации эксплуатации и обслуживания потенциально

4 **С**егодняшние реалии заставляют собственников потенциально опасных объектов (заводов, электростанций, трубопроводов, мостов, кораблей, самолетов и т. п.) минимизировать риски, возникающие при их эксплуатации, в том числе и обусловленные скрытыми и видимыми дефектами, как присутствовавшими в новом объекте при выпуске из производства, так и приобретенными в результате старения, а также действия различного рода экстремальных эксплуатационных нагрузок. Степень поражения дефектами, их потенциальная опасность, межпроверочные и межремонтные интервалы, а также необходимость срочного ремонта или окончательного прекращения эксплуатации оцениваются с использованием различных методологий, учитывающих специфику объекта, на основе данных НК. При этом все методологии базируются на единой стратегии, называемой RBIM

(Risk Based Inspection and Maintenance planning) – *планирования операций контроля и технического обслуживания, основанного на учете потенциальных рисков.* Целью RBIM-стратегии является *минимизация рисков эксплуатации объектов при разумных затратах на контроль и техническое обслуживание.*

Общеизвестно, что НК обеспечивает обнаружение различных дефектов с высокой надежностью и чувствительностью. Однако не все методы дефектоскопии позволяют определить истинные размеры и конфигурацию дефектов, и для этого часто требуются дополнительные действия, весьма трудоемкие и выходящие за рамки процедуры рутинного контроля. В то же время нормы браковки, как правило, базируются на истинных размерах дефекта [1, 2]. Известен также интерес специалистов и ученых в области НК к проблеме определения истинных размеров и конфигурации дефекта, подтверждаемый множеством научных публикаций, практических документов, устройств и приспособлений, связанных с решением названной проблемы. Однако неверно полагать, что определение истинных размеров и конфигурации обнаруженных дефектов безусловно необходимо – актуальность решения этой задачи для различных объектов определяется на основе вышеупомянутой стратегии RBIM.

В статье приведены реальные примеры, иллюстрирующие актуальную потребность в определении истинных размеров и конфигурации дефектов, а также степени дефектности для различных потенциально опасных объектов или отсутствие таковой.

Согласно стратегии RBIM потенциально опасные объекты подразделяются на не подлежащие контролю во время эксплуатации и подлежащие контролю во время эксплуатации, а также при плановом/внеплановом кратковременном выводе из эксплуатации

Типичный пример объекта, не подлежащего контролю во время эксплуатации, – магистральный трубопровод, проложенный по морскому дну. При строительстве трубопровода используются толстостенные трубы в бетонной изоляции (толщина изоляции порядка 10 см), с обоих концов которых имеются участки свободного от изоляции металла. На барже-трубоукладчике производится сварка готовых труб с последующими полной изоляцией стыков и спуском под воду. Время, отпускаемое на автоматическую сварку, последующий контроль с заключением о годности и изоляцию одного стыка, составляет считанные минуты, поэтому здесь применимо исключительно автоматическое сканирование.

Очевидно, что для минимизации риска эксплуатации подводного магистрального трубопровода следует обеспечить максимально надежный контроль стыковых сварных швов, исключающий пропуск дефектов. Это осуществляется за счет комбинации TOFD и многозонного прозвучивания сварного шва с использованием дискретных преобразователей и/или преобразователей с фазированными решетками, смонтированными на платформе моторизованного сканера и расположенными с обеих сторон сварного шва (рис. 1).

Рис. 2 представляет типичный пример экрана системы автоматического УЗК ISONIC PA AUT 128/8 фирмы Sonotron NDT на этапе подготовки к сканированию, когда формируется схема многозонного прозвучивания с использованием преобразователя на фазированных решетках. Эта схема учитывает геометрию разделки кромок под автоматическую сварку, что позволяет прогнозировать позонное распределение типов и ориентации возможных дефектов и задавать оптималь-

Об авторе



Пасси Гарри

Генеральный директор и научный руководитель фирмы Sonotron NDT (Израиль), доктор наук, профессор, III уровень в пяти дисциплинах НК (UT, ET, MPI, MIA, RT).

ную тандемную или совмещенную схему фокусированного излучения-приема сигналов для той или иной зоны.

Настройка усиления приемного тракта осуществляется позонно с использованием стандартных образцов с отражателями в каждой зоне согласно [2], причем в тех случаях, когда используются плоскостные отражатели, их ориентация со-

индикации шов немедленно ремонтируется, а затем проверяется вновь.

Таким образом, при изготовлении и монтаже потенциально опасных объектов, не подлежащих контролю во время эксплуатации, целесообразно осуществлять высокоточный и высокозатратный, зачастую избыточный контроль и ремонтировать каждый дефект без дополни-

ваны как *допустимые*, обязательной процедурой является измерение их истинных размеров. Как правило, истинный размер трещины определяется с использованием того же метода, которым она была обнаружена (см., например, рис. 9). Метод контроля для того или иного узла и рекомендации по определению размера трещины регламентированы руководством по НК, сопровождающим каждый лайнер, и офи-

рисков и затрат на опасных объектов

ответствует геометрии разделки (рис. 3). Размеры отражателей таковы, что предопределяется выявление дефектов с абсолютными параметрами, соответствующими нормам браковки.

Очевидно, что многозонная схема прозвучивания требует точного размещения преобразователей относительно контролируемого объема, поэтому каждая труба при заводском изготовлении оборудуется приваренным кольцом на свободном от изоляции участке основного металла вблизи будущего стыкового шва. Место приварки кольца и его параллельность плоскости края трубы соответствуют технической документации с минимальными допусками, и моторизованный сканер использует это кольцо в качестве опорного элемента при сканировании. Таким образом, уже на этапе изготовления труб предусматриваются меры, обеспечивающие надежность контроля на трубоукладочной барже.

На рис. 4 представлен пример экрана системы на этапе сканирования. При контроле в каждом положении сканера, выбираемом с заданной дискретностью (обычно – 1 мм), последовательно осуществляется позонное фокусированное прозвучивание в соответствии с заданными для каждой зоны схемой и усилением приемного тракта, сопровождаемое записью соответствующих данных А-развертки, измерением сигналов и формированием графического представления результатов контроля, которое в соответствии с принятой в отрасли методологией представляется в виде «бесконечной» ленты многоканального самописца, где каждой зоне соответствует отдельная дорожка. В случае появления дефектной

тельного анализа его типа, измерения истинных размеров и оценки потенциальной опасности.

Типичный пример объекта, подлежащего контролю при плановом/внеплановом кратковременном выводе из эксплуатации, – лайнер гражданской авиации. Штатные нагрузки и внештатные перегрузки, возникающие при преодолении турбулентности, многочисленных взлетах и посадках, перепадах давлений, температур, химического состава атмосферы, влажности, других погодных условий неизбежно ведут к коррозии и эрозии металлических и неметаллических элементов, образованию трещин, расслоений и т. п. На рис. 5 – 8 показаны некоторые реальные дефекты, обнаруженные в современных лайнерах с использованием НК на различных стадиях их эксплуатации. Следует отметить, что приведенные примеры отображают лишь мизерную долю всего многообразия дефектов, возникающих в самолетах. Очевидно, что стратегия, основанная на исправлении каждого дефекта, в случае ее применения просто прервет нормальное функционирование авиакомпании. В связи с этим в авиации исключительно развита методология определения остаточного ресурса эксплуатации лайнеров, определяемого в полетных часах, оставшихся до следующей проверки и/или ремонта с учетом количества взлетов и посадок и других факторов.

Остаточный ресурс эксплуатации авиалайнера определяется на основании так называемых объективных параметров дефектности. Трещины в несущих конструкциях и обшивке лайнера (компактные дефекты) в зависимости от их расположения подразделяются на *безусловно критические* (недопустимые) и *допустимые* при условии, что их длины, сочетание и количество не превышают критических значений.

В случае выявления *безусловно критических* трещин определение их истинных размеров излишне. В случае обнаружения трещин, которые могут быть квалифициро-



Рис.1. Установка моторизованного сканера на стыковой сварной шов в условиях трубоукладочной баржи

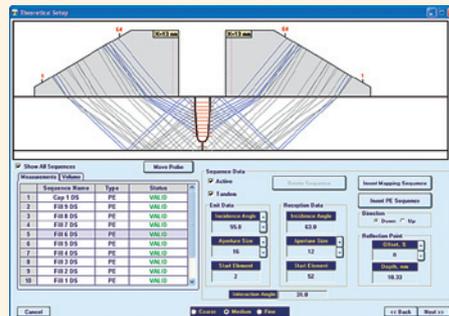


Рис. 2. Выбор схемы многозонного прозвучивания в системе автоматического УЗК ISONIC PA AUT 128/8 фирмы Sonotron NDT с использованием преобразователей на фазированных решетках и дискретных преобразователей

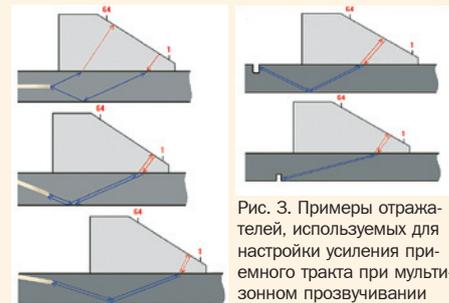


Рис. 3. Примеры отражателей, используемых для настройки усиления приемного тракта при мультизонном прозвучивании

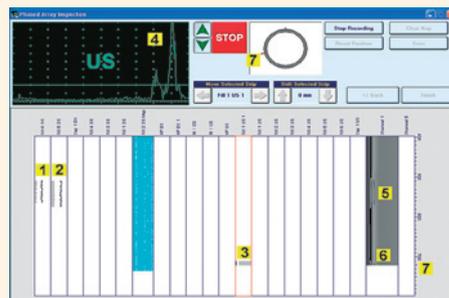


Рис. 4. Пример экрана системы автоматического УЗК ISONIC PA AUT 128/8 фирмы Sonotron NDT: 1, 2, 3 – отметки дефекта соответственно в зонах Fill 6 DS, Fill 5 DS и Fill 1 US 1e, выявляемого при текущем положении сканера; 4 – А-развертка, соответствующая зоне Fill 1 US 1, наблюдаемая при текущем положении сканера; 5, 6 – отметки дефектов на синхронно формируемом TOFD изображении, в частности подтверждающие, что отметки 1 и 2 относятся к выявлению одного дефекта; 7 – текущее положение сканера

Измерение размеров дефектов

идентификация трещины и определение ее истинной длины проведены в результате повторного виртуального сканирования, и не требовало дополнительно озвучивать сечение дефекта.

Для обнаружения и оценки деградации толщины стенки основного металла в результате коррозии и/или эрозии используется картография. На рис. 12 приведена фотография реального фраг-

сопряжено с дополнительными действиями, выходящими за рамки процедур рутинного НК.

2. Определение истинных размеров и конфигурации дефектов регламентируется потребностью потребителя в результатах НК. При массовом производстве однотипных объектов, как правило, выгоднее просто браковать или ремонтировать все объекты, где выявлены де-

и параметров дефекта в более комфортных условиях по сравнению с условиями выполнения контроля. При этом возможно привлечение независимых экспертов в спорных ситуациях.

6. Современные технологии определения остаточного ресурса эксплуатируемых объектов базируются на использовании многопараметрового анализа с использованием соответствующего

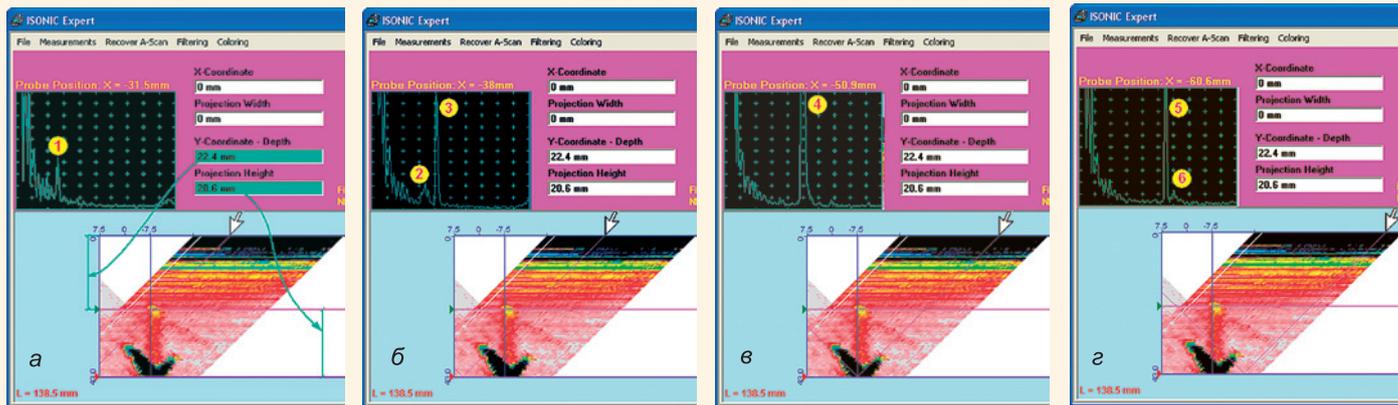


Рис. 11. Восстановление последовательности эхо-сигналов при перемещении преобразователя в плоскости поперечного сечения сварного шва с усталостной трещиной (курсор показывает положение точки ввода преобразователя, в соответствии с которым восстанавливается А-развертка; при этом также воспроизводится ход центрального луча в объекте контроля; значение $L = 138,5$ мм указывает расположение анализируемого поперечного сечения вдоль оси шва). Данные любезно предоставлены фирмой NDIC (Япония), выявившей и проанализировавшей дефект с использованием дефектоскопа ISONIC 2001 фирмы Sonotron NDT

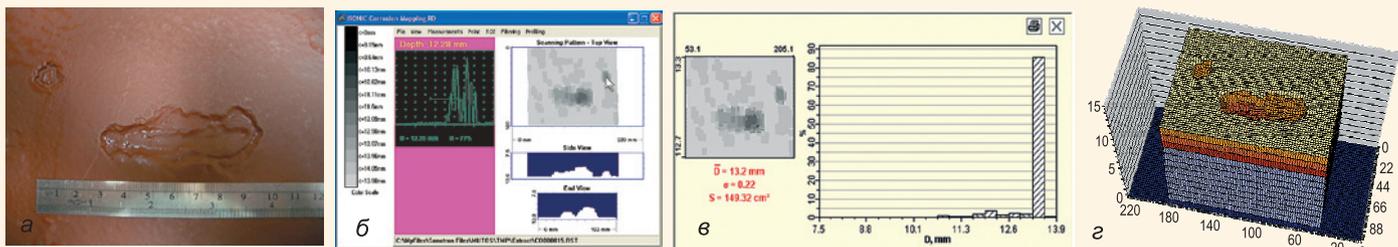


Рис. 12. Коррозионное повреждение внутренней поверхности резервуара, его обнаружение и анализ. Данные, полученные с использованием прибора ISONIC 2001 фирмы Sonotron NDT, любезно предоставлены фирмой Velosi (Малайзия)

мента внутренней поверхности стенки резервуара (а), ее B-, C- и D-развертки (б), статистический анализ дефектного участка (в), а также трехмерное изображение (д).

С учетом того, что определение остаточного ресурса объектов является многопараметровой задачей, и при ее решении широко используются вычислительные методы и соответствующее программное обеспечение важно, чтобы результаты НК могли бы быть импортированы и использованы названным программным обеспечением. С этой целью приборы фирмы Sonotron NDT поставляются заинтересованным потребителям в комплекте с программными пакетами, обеспечивающими представление результатов контроля в общепринятых форматах – MS Excel®, ASCII, Matlab®.

Выводы

1. Определение истинных размеров и конфигурации обнаруженных дефектов

факты, не занимаясь их дополнительным анализом.

3. При контроле эксплуатируемых объектов определение истинных размеров и конфигурации дефектов является необходимым условием для расчета остаточного ресурса или принятия решения о ремонте или изъятии из применения.

4. Для компактных дефектов, таких как усталостные и коррозионные трещины, важными параметрами являются их абсолютные размеры и ориентация. В случае распределенных дефектов (коррозионные и другие повреждения) средства НК должны представлять статистическую характеристику степени дефектности объекта.

5. Для обеспечения объективности измерения абсолютных размеров дефекта следует сохранять всю информацию, воспринимаемую средствами НК, в необработанном виде. Это позволяет при необходимости многократно осуществлять повторное виртуальное сканирование объекта, анализ и измерение сигналов

программного обеспечения. Поэтому важно, чтобы информация о дефектах, накопленная средствами НК, экспортировалась в формате, совместимом с требуемым программным обеспечением.

Литература

1. Use of Alternative Ultrasonic Examination Acceptance Criteria in ASME B31.3. – ASME B31 Case 181. Approval date: January 23, 2007.
2. Use of Ultrasonic Examination in Lieu of Radiography. – ASME Case 2235-4. Approval date October 11, 2005.
3. British Airways NDT Chooses ISONIC. – Insight. 2000. V. 42. No. 3. P. 137.
4. ISONIC 2006 – Portable Digital Ultrasonic Flaw Detector and Recorder with B-Scan, C-Scan, D-Scan, P-Scan, and TOFD Inspection and Imaging Capabilities // Operating Manual. Revision 1.00. – Rehovot: Sonotron NDT, 2007. – 472 p. – Доступно в Интернет: http://www.sonotronndt.com/pdf/om2006_1_00.pdf.
5. ISONIC 2005 – Portable Digital Ultrasonic Flaw Detector and Recorder // Operating Manual. Revision 2.20. – Rehovot: Sonotron NDT, 2007. – 357 p. – Доступно в Интернет: http://www.sonotronndt.com/pdf/om2005_1_00.pdf.

Статья получена 14 августа 2007 г.



- ❑ **ISONIC 2005** – портативный цифровой ультразвуковой дефектоскоп рекордер, обеспечивающий A-, B-, CB-Scan и TOFD
- ❑ **ISONIC 2006** – портативный цифровой ультразвуковой дефектоскоп рекордер, обеспечивающий A-, B-, CB-, C-, D-, P-Scan и TOFD
- ❑ **ISONIC 2007** – двухканальный портативный ультразвуковой цифровой дефектоскоп рекордер, обеспечивающий A-, B-, CB-Scan и TOFD
- ❑ **ISONIC 2008** – восьмиканальный портативный ультразвуковой цифровой дефектоскоп рекордер, обеспечивающий A-, B-, CB-Scan и TOFD
- ❑ **ISONIC 2008 PIG** – автономный восьмиканальный внутритрубный снаряд рекордер ультразвуковых сигналов
- ❑ **ISONIC PA AUT** – мобильная платформа для построения высокопроизводительных систем автоматического ультразвукового эхо-импульсного и TOFD контроля с использованием фазированных решеток и дискретных преобразователей
- ❑ Преобразователи для TOFD и Guided Waves контроля
- ❑ Ручные и автоматические сканеры
- ❑ Программное обеспечение для документирования результатов контроля, совместимое с RBIM



Sonotron NDT

4, Pekeris str., Rabin Science Park, Rehovot, 76702, Israel
 ☎ +972-(0)8-9311000 ☎ +972-(0)8-9477712
www.sonotronndt.com

ISONIC PA AUT

Мобильная платформа для построения высокопроизводительных систем автоматического ультразвукового эхо-импульсного и TOFD контроля с использованием фазированных решеток и дискретных преобразователей

- ❑ Число каналов для подключения фазированных решеток: 64/128/256 в зависимости от заказа
- ❑ Число каналов для подключения дискретных преобразователей для эхо-импульсного и TOFD контроля: 8/16/32 в зависимости от заказа
- ❑ Параллельное аналого-цифровое преобразование обеспечивает формирование результирующего A-Scan сигнала независимо от количества каналов приемной апертуры
- ❑ Апертура излучения / приема произвольно задается пользователем в пределах общего количества каналов: 1...64 / 1...128 / 1...256
- ❑ Зондирующий импульс: биполярный прямоугольный с регулируемой амплитудой (до 300 В полного размаха) и длительностью полуволн
- ❑ Монтируется непосредственно на сканере, исключая необходимость связи с преобразователями через громоздкий многоканальный кабель и существенно повышая помехоустойчивость
- ❑ Оснащена входом для подключения датчика координат и выходом для управления одним или несколькими двигателями сканера
- ❑ Управляется дистанционно внешним компьютером через проводную или беспроводную локальную сеть, Mini-Hub или Интернет
- ❑ Все A-Scan реализации в необработанном виде передаются на управляющий компьютер в реальном времени
- ❑ Герметична, вибро- и ударопрочна
- ❑ Применима в условиях, вредных для постоянного пребывания оператора
 - ❑ Примеры представления результатов контроля
 - «Бесконечная» лента многоканального аналогового самописца
 - B-Scan, S-Scan, C-Scan, TOFD Map
 - Комбинация из перечисленных



ISONIC 2008 FIG (Pipe Inspection Gauge)

Автономный восьмиканальный внутритрубный снаряд рекордер ультразвуковых сигналов

- ❑ Параллельное аналого-цифровое преобразование
- ❑ Снабжен датчиком координаты
- ❑ Двигается совместно с продуктом, транспортируемым через трубопровод
- ❑ Накапливает все A-Scan реализации, получаемые по восьми каналам в необработанном виде с дискретностью от 1 мм
- ❑ Максимальная дальность перемещения с накоплением данных 20 км
 - ❑ Для настройки перед сканированием и съема накопленных данных подключается к внешнему компьютеру через локальную сеть, Mini-Hub или Интернет
 - ❑ Программа анализа данных позволяет идентифицировать механические деформации тела трубы, коррозию, внутренние дефекты

