

## ЦВЕТОВОЕ "ПРОЯВЛЕНИЕ": КАЧЕСТВЕННО НОВЫЙ УРОВЕНЬ РЕНТГЕНОДИАГНОСТИКИ

Шумилов Ю.А. д.т.н., проф.  
Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", каф. электромеханики,  
Украина, 03056, Киев, пр. Победы, 37,  
тел. (044) 241-76-38, e-mail: yuriiy2007@voliacable.com

Пономаренко В.К.  
Украина, Киев, "Аристос", тел. (044) 236-76-70, e-mail: sircobol@voliacable.com

Кузьмин В.В. д.т.н., проф.,  
Государственное предприятие завод "Электротяжмаш",  
Украина, 61055, Харьков, пр. Московский, 299,  
тел. (0572) 95-66-81, e-mail: etm@spetm.com.ua

Демидюк Б.М.,  
ЗАО "Укратомэнергострой",  
Украина, 03035, Киев, ул. Урицкого, 45, оф. 606.  
тел. (044) 590-17-63, e-mail: uaeb@ukr.net

*Описується новий метод кольорової обробки чорно-білих рентгенівських знімків з високою інформаційною смістю, що в декілька сотень разів перевищує інформаційну смість відомих підходів до розкрашування рентгенівських знімків. Запропонований метод відкриває широкі можливості у дефектоскопії для виявлення тільки-но зароджуваних дефектів на початкових стадіях.*

*Описывается новый метод цветной обработки черно-белых рентгеновских снимков с высокой информационной ёмкостью, в несколько сот раз превышающей информационную ёмкость известных подходов к раскрашиванию рентгеновских снимков. Предложенный метод раскрывает широкие возможности в дефектоскопии для выявления зарождающихся дефектов на самых ранних стадиях.*

### СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Широкое применение рентгеновских изображений в дефектоскопии обусловлено несколькими причинами:

- возможностью непосредственного отображения структуры просвечиваемого объекта;
- высокой разрешающей способностью плёнки;
- относительной дешевизной снимков;
- широким диапазоном мощностей рентгеновских аппаратов;
- разнообразием конструкций рентгеновских установок, адаптированных для работы с различными объектами;
- простотой технологии выполнения снимков.

Вместе с тем всё ещё существуют проблемы, связанные с регистрацией и обработкой:

- получение качественных снимков;
- корректная интерпретация изображений;
- количественная оценка параметров дефектов;
- устранение неоднозначностей (3-мерный объект представлен одной проекцией).

### СУТЬ МЕТОДА ЦВЕТОВОГО ПРОЯВЛЕНИЯ

В данной статье рассматривается только один аспект: повышение информативности рентгеновских изображений методом цветного "проявления". Суть метода заключается в следующем:

- изображение с помощью планшетного сканера вводится в компьютер;
- каждому уровню полутонового изображения (т. е. каждому значению плотности) присваивается определённый цветовой оттенок.

Таким образом, задаётся условное, но однознач-

ное соответствие между толщиной материала и цветовой палитрой. В результате обработки близкие по значению уровни плотности, которые в полутоновом варианте визуально практически не различались, в цветном изображении становятся существенно разными, т. е. прорисовываются, "проявляются" незаметные ранее детали. В дальнейшем термин "проявление" применяется без кавычек.

Расцветивание полутоновых изображений применялось и раньше, но при этом использовались короткие палитры, как правило, длиной 256 оттенков. При нашем подходе (16-битное сканирование) применяются палитры до 65536 оттенков. Если учесть, что в полутоновом режиме на мониторе компьютера можно различить всего 30-40 градаций, то при просмотре изображений на мониторе потенциальное восприятие (информативность) изображения увеличивается примерно в 2000 раз. Практически динамический диапазон рентгеновской плёнки достигает 10000 градаций, но и в этом случае информативность снимков увеличивается в 300 раз. Переход от плёночных технологий к непосредственному вводу изображения в компьютер позволяет реализовать максимальное качество обработки.

Кроме того, высокоточное измерение уровней плотности (особенно при прямом вводе изображений от датчиков в компьютер) позволяет оценивать напряжения в металлах без применения разрушающих методов. При толщине 65,5 мм предельная чувствительность составляет 1 микрон. В отличие от интерференционного метода, изменение толщины материала измеряется однозначно и в абсолютных величинах. Таким образом, можно получать исходные данные

для расчёта прочности и, как следствие, для оценки остаточного ресурса.

Разработанное нами программное обеспечение позволяет также применять палитру к заданному поддиапазону плотностей. Последнее эквивалентно увеличению "расстояния" между соседними уровнями плотности, т. е. цветовому "контрастированию". В отличие от существующих способов компьютерного контрастирования, которые загромождают изображение, работа с цветной палитрой не приводит к потере информации.

Расцветивание изображения имеет существенное значение при диалоговом (полуавтоматическом) режиме обработки изображений. Для обеспечения мнемонической привязки цветовых оттенков к плотности потребовалось ввести ограничения на направление обхода куба цветности, построенного в системе координат RGB (красный, синий и зелёный базовые цвета). Кроме того, существует субъективное цветовосприятие, которое также было учтено при расчёте траекторий обхода куба. В результате по специальной разработанной нами программе была создана обширная библиотека палитр, полностью обеспечивающая потребности дефектоскописта.

#### ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ЦВЕТОВОГО ПРОЯВЛЕНИЯ

При оценке состояния ответственных установок анализ рентгенограмм и диагностика дефектов пока что должны выполняться только человеком. В этом случае цветное проявление будет эффективным способом обнаружения дефектов, которые при прежних методиках оставались невидимыми. Выявление слабых дефектов особенно актуально для объектов, у которых практически исчерпан эксплуатационный ресурс. Обнаружение зарождающихся дефектов позволит предотвратить возможные отказы и даже аварии.

Рутинные операции (измерение габаритов, длины контура и площади дефекта), а также некоторые другие действия, вплоть до формирования протокола экспертизы и занесения его в базу данных, должны выполняться программами автоматизированного рабочего места дефектоскописта.

По мере накопления опыта работы будут формироваться требования к устройствам сканирования и/или прямого ввода данных в компьютер, а также алгоритмы автоматического анализа рентгенограмм. При больших объёмах архивов рентгеновских снимков автоматизация выявления дефектов является практически единственной возможностью выполнения анализа изображений за приемлемое время.

На следующих двух страницах приведены примеры цветовой обработки реальных рентгеновских снимков по описанной выше технологии.

На рис. 1 слева представлен рентгеновский снимок пластины с вертикальной трещиной. В чёрно-белом варианте трещина практически не видна, в то же время после цветовой обработки явно просматривается структура детали, а также вертикальная трещина на ней.

Рентгеновский снимок детали с явным дефектом до и после цветовой обработки приведен на рис. 2.

На рис. 3 представлено изображение лопатки авиационного двигателя:

а – исходный снимок; на нём слабо просматриваются контур и структура лопатки турбины;

б – на снимке после цветового проявления хорошо виден контур и структура толщин детали;

в – снимок после цветового проявления и контрастирования; контрастирование усиливает детализацию без потери информации.

На рис. 4 слева представлен рентгеновский снимок паяной детали. После цветовой обработки рентгеновского снимка просматривается сложный рельеф толщин.

На рис. 5 на рентгеновском снимке сложного сварного соединения его реальная конфигурация видна только лишь после цветового проявления.

Рис. 6 показывает структуру кольцевого шва до и после цветовой обработки. На снимке после обработки чётко видны индикаторы качества сварки.

На рис. 7 представлены два варианта обработки рентгеновского снимка ручной сварки стыкового соединения. Непровар наиболее чётко виден на среднем снимке.

#### ПЕРСПЕКТИВЫ И РАЗВИТИЕ МЕТОДА

Для корректного отображения геометрии дефектов одной проекции, отображённой на рентгенограмме, недостаточно. Во многих случаях также неполную информацию будут обеспечивать снимки, выполненные в ортогональных плоскостях. Именно по этой причине технические чертежи включают в себя дополнительные сечения, вырывы и виды с определённых точек. Альтернативу классической технологии изображения 3-мерных объектов представляют собой серии томограмм, вычисленных с достаточно малым шагом по третьей координате. На расцветченном 3-мерном изображении можно будет выявлять, в том числе и в автоматическом режиме, дефекты произвольной формы и оценивать не только их габариты, но и объём.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт применения цветового расцветивания должен создать предпосылки для разработки нормативных документов, регламентирующих его применение.

*Особую ценность описанный метод может иметь для выявления скрытых дефектов в электрогенераторах большой мощности, могущих привести к отказу или аварии со всеми вытекающими отсюда негативными последствиями.*

*Об этом, в частности, свидетельствует авария, которая произошла на одном из блоков мощностью в 1 000 000 кВт Южно-Украинской АЭС вследствие скрытой для внешнего обозрения трещины на соединительной шине с внутренним водяным охлаждением, через которую просочилась вода, вызвавшая короткое замыкание обмотки статора и выход турбогенератора из строя. Особую опасность подобные дефекты представляют для АЭС, которые вырабатывают порядка 50% всей электроэнергии Украины. В случае применения цветного проявления чёрно-белых рентгеновских снимков такой дефект можно было бы относительно просто обнаружить и своевременно устранить (если бы отслеживался показатель увлажнения внутри корпуса турбогенератора при соответствующей реакции на его даже незначительное увеличение).*

Поступила 10.09.2006

**ИЛЛЮСТРАЦИИ К СТАТЬЕ  
ЦВЕТОВОЕ "ПРОЯВЛЕНИЕ": КАЧЕСТВЕННО НОВЫЙ УРОВЕНЬ  
РЕНТГЕНОДИАГНОСТИКИ**

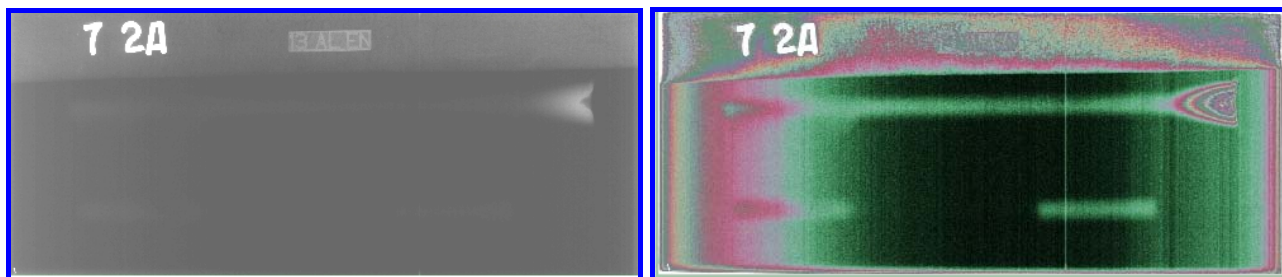


Рис. 1. Деталь с вертикальной трещиной

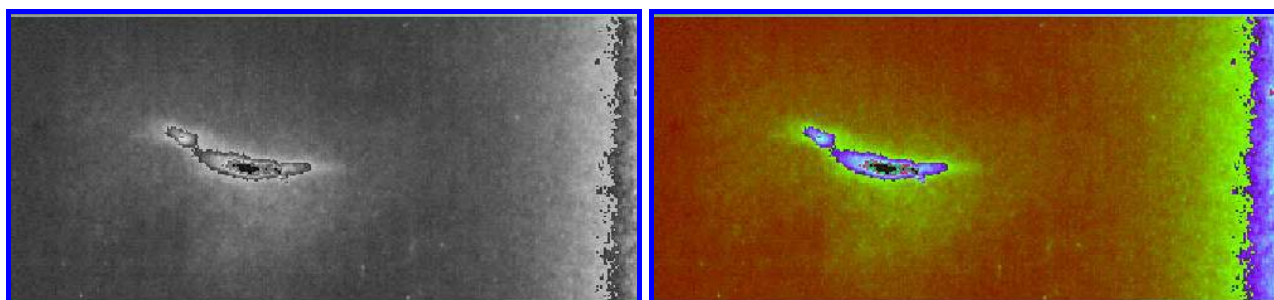


Рис. 2. Деталь с явным дефектом

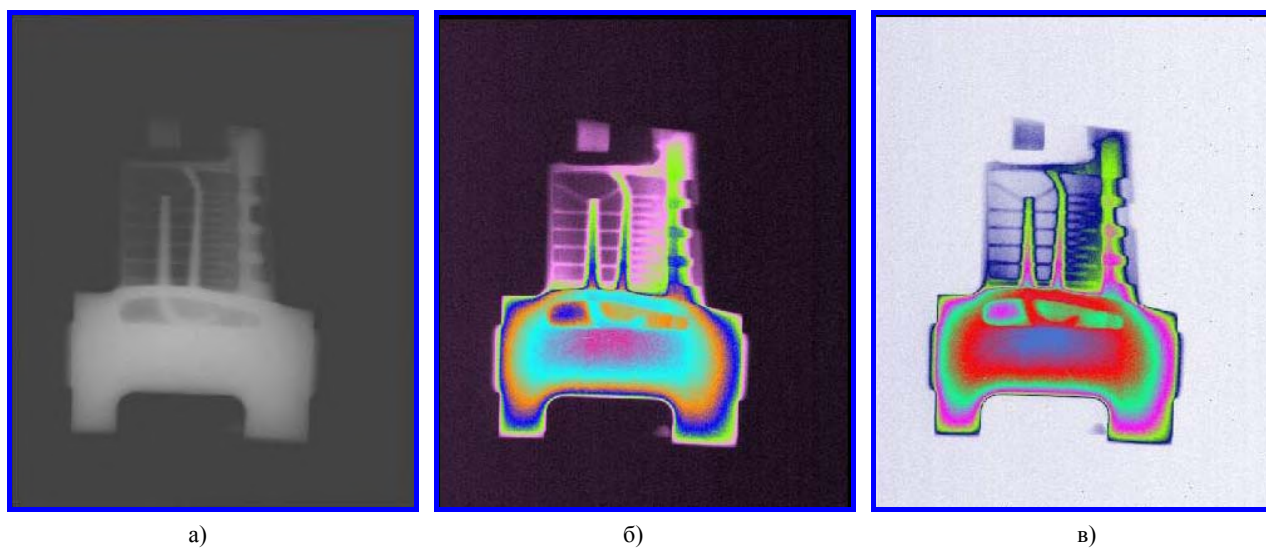


Рис. 3. Лопатка турбины авиационного двигателя:  
а – снимок до цветового проявления; б – снимок после цветового проявления; в – снимок после цветового проявления и контрастирования

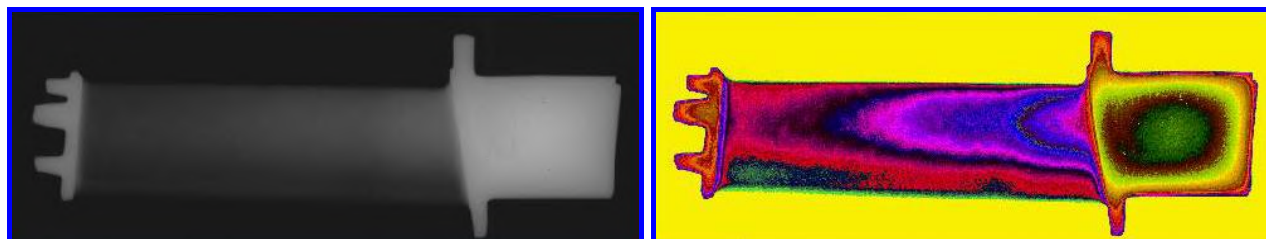


Рис. 4. Образец паяной детали

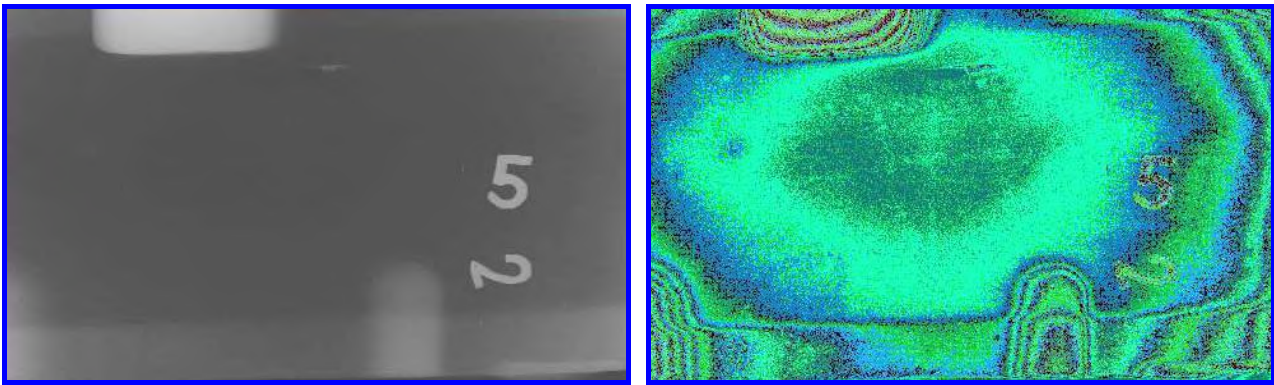


Рис. 5. Сложное сварное соединение

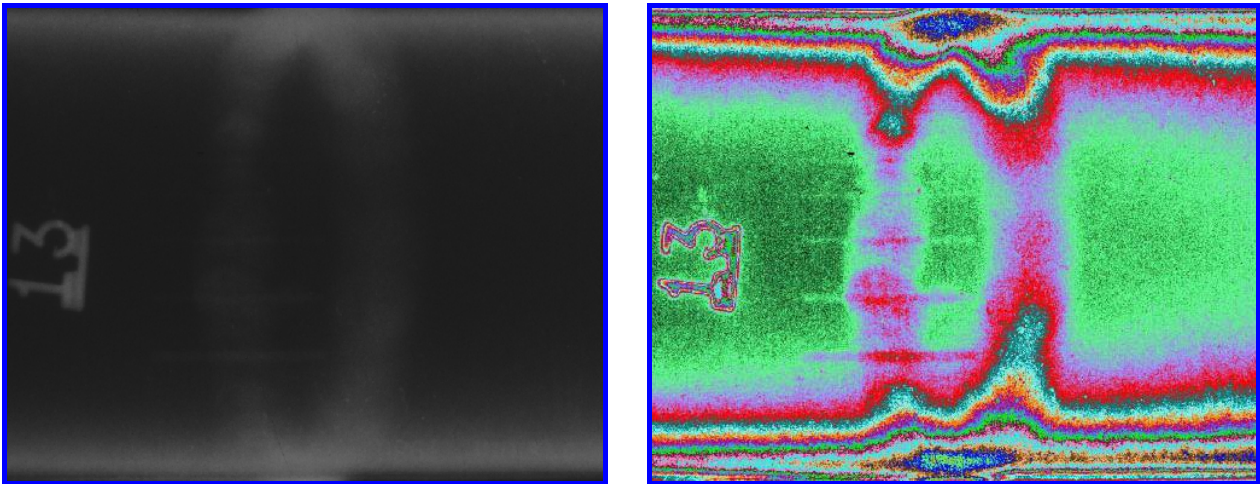


Рис. 6. Кольцевой шов

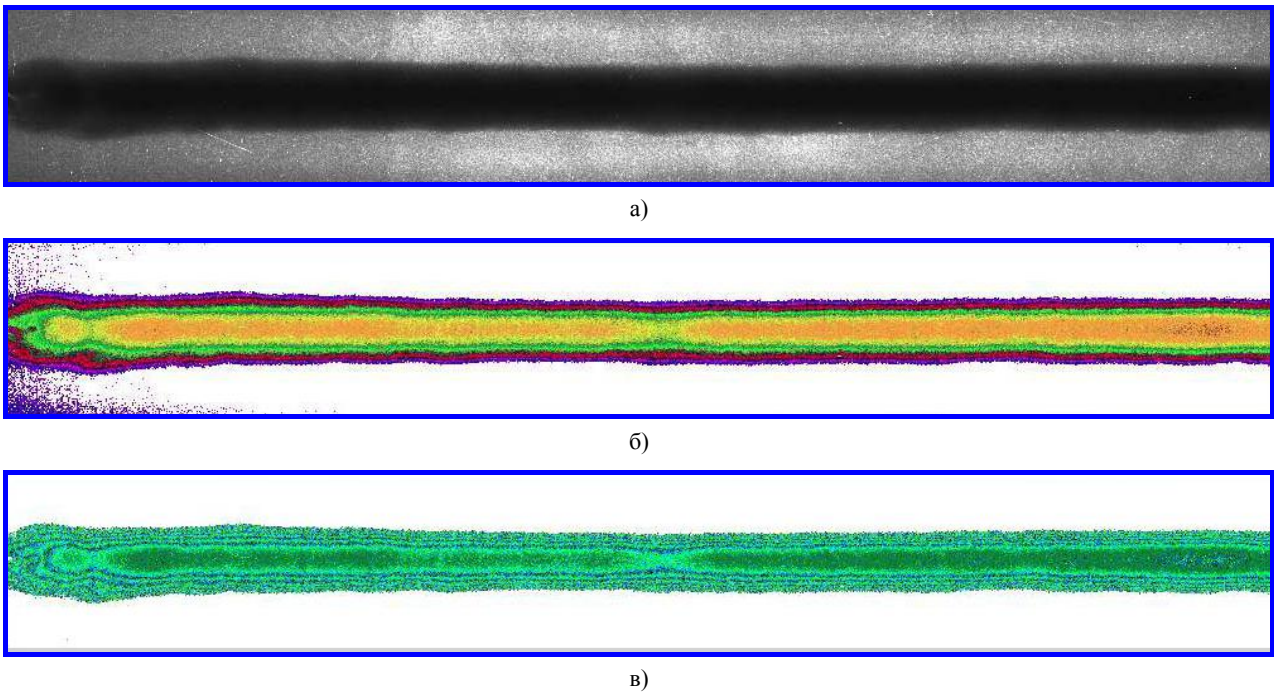


Рис. 7. Стыковое сварное соединение:  
а – снимок до цветового проявления; б – снимок после цветового проявления; в – снимок после цветового проявления и контрастирования