

# КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И РЕНТГЕНОВСКАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

А. Э. КАПУСТИН, И. И. БАРДУСОВА, В. В. КОЛОСОВ

Одно из направлений рентгеновского и гаммаграфического методов диагностики — проведение анализа рентгеновских и гаммаграфических (РГГ) снимков сварных соединений. Дефектоскопист методом визуального анализа снимков идентифицирует типы дефектов и оценивает их линейные размеры и глубинные параметры. На основании нормативных документов делается заключение о годности либо негодности сварного соединения. Качество расшифровки снимков дефектоскопистами всегда носит достаточно субъективный характер. Сказываются такие факторы, как уровень подготовки дефектоскописта, его самочувствие (усталость, острота зрения и т. д.), предел возможности оценки количества снимков, а также качество изображения полученных снимков (размытые границы, плохая контрастность, слабая выделяемость изображения дефекта по отношению к общему фону и др.). Оценка качества сварных соединений также требует выполнения определенного комплекса мероприятий метрологического и расчетно-аналитического характера, которые трудно реализуемы из-за отсутствия инструментов для проведения данных работ. Очевидно, что качество проведения дефектоскопии сварных соединений в огромной степени зависит от уровня подготовки и навыков специалистов в данной области.

Предлагаем возможный вариант реализации компьютерных технологий в области РГГ дефектоскопии сварных соединений как один из способов разрешения вышеуказанных проблем.

**Распознавание и анализ дефектов сварных соединений по их РГГ снимкам.** Накопленный опыт в рамках разработок компьютерной расшифровки РГГ снимков показывает, что технологию распознавания и анализа дефектов определяют следующие позиции [1]:

ввод изображения РГГ снимка и сопроводительной информации в компьютер;

создание блока программ предварительного анализа изображения и его пригодности к возможной дальнейшей компьютерной обработке;

создание блока программ поиска и выделения контуров дефектов, идентификации их типов и определения их геометрических характеристик;

создание расчетно-аналитического блока для получения заключения по дефектности сварного соединения;

статистическая обработка получаемых результатов; создание вспомогательных сервисных функций.

Выполнение требований соответствия значений оптической плотности получаемых снимков указанным в существующих стандартах является обязательным как для стандартной процедуры по расшифровке снимков, так и для компьютерной.

Ввод РГГ снимка в компьютер и получаемое качество изображения определяются техническими возможностями имеющегося оборудования. В результате формируется компьютерное изображение снимка, которое вместе с сопровождающей его информацией заносится в базу данных.

Отправным пунктом начала обработки изображения снимка является анализ калибровочного эталона чувствительности. Применяемые на практике эталоны имеют множество типов [2] — к каждому из них требуется индивидуальный подход при обработке изображения.

Предлагается к рассмотрению в качестве примера эталон канавочного типа как наиболее распространенный при РГГ контроле в странах СНГ. Его изображение по ГОСТ 7512 представлено на рис. 1, а размеры — в таблице.

На рис. 2 приведено компьютерное построение горизонтальных проекций калибровочных эталонов, которые далеко не соответствуют их изображению по указанному выше ГОСТу, что и дает повод к определенным размышлениям. Возможности компьютерной обработки изображений, с одной стороны, помогают в решении задачи калибровки снимка и определении его чувствительности, а с другой — ставят ряд вопросов по тому, как и что видит специалист, оценивая эталон.

Как видно из рис. 2, визуально очень трудно судить о достоверности информации, предоставляемой эталоном, тем более потом делать какую-то оценку дефектов по снимку. Оперативно решить такую проблему без вычислительной техники с соответствующей программной обработкой практически невозможно.

Калибровку снимка можно провести путем «указания» программному модулю по изображению эталона его крайних угловых точек. Далее идет непосредственно обработка изображения самого эталона. Вначале сглаживаются шумы изображения. Для этого используется сглаживающий фильтр с апертурой «два», описываемый формулой

$$I_{xy} = \sum_{i=-f}^f \sum_{j=-f}^f \frac{I(x-i)(y-j)}{(f+1)^2},$$

где  $I_{xy}$  — уровень серого в данной точке;  $x, y$  — координаты, пикс.;  $f$  — апертура фильтра.

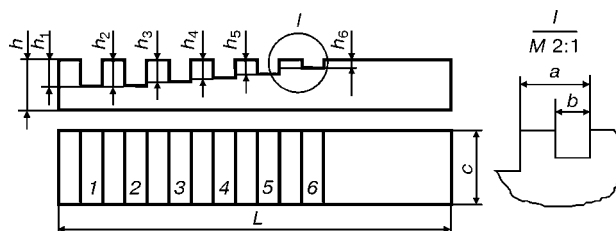


Рис. 1. Канавочный эталон по ГОСТ 7512 (1–6 — канавки).

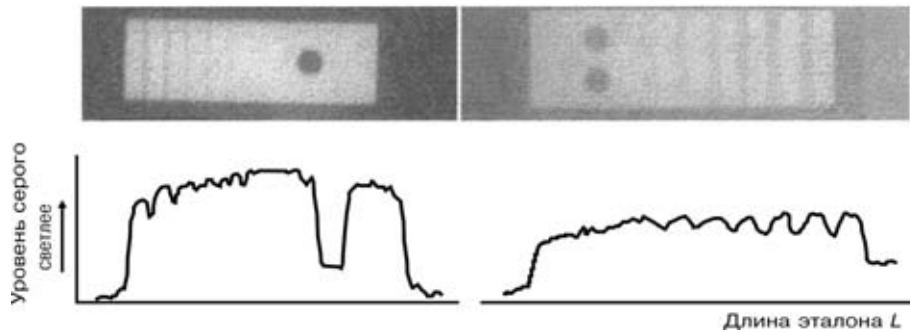


Рис. 2. Компьютерное построение канавочного эталона «в разрезе» по уровню серого на рентгеновском снимке.

Затем по данным уровня перепадов серого эталона строится его изображение в горизонтальной проекции и делается статистически вероятностный расчет наиболее представленного ряда значений уровня серого поверхности эталона. Разница между уровнем серого основного фона металла и значением наиболее представленного уровня серого эталона дает базовое значение для построения эталона, который должен был получиться на снимке. Рис. 3 дает наглядное представление о полученном расчетном эталоне, наложенном на компьютерное построение изображения эталона. Если принудительно установить на этом снимке расчетный уровень фона по эталону, то очевидно, что самую последнюю канавку не будет видно. Как показывает практика, отклонения расчетных значений уровней серого от воспринимаемых глазами наблюдается на большинстве снимков. Наложенный таким методом расчетный эталон всегда будет находиться в средних пределах относительной ошибки имеющегося на снимке изображения.

Исходя из истинных размеров и самого изображения эталона на РГГ снимке и учитывая распределение уровня серого по данному эталону, можно сделать вывод о достоверности информации, на основании которой делает оценку снимка дефектоскопист [4].

Чувствительность снимка может быть определена программой как наименьшая глубина выявляемой на снимке канавки по указанной продольной осевой линии и рассчитана согласно ГОСТ 7512. Из рис. 3 видно, что фактический уровень серого канавки, по которой оценивается чувствительность снимка, лежит вне зоны расчетного распределения уровня поверхности эталона. Получается, что чувствительность снимка дефектоскопист определяет по канавке эталона, которая часто находится в зоне наибольшей относительной погрешности фактического значения серого по эталону (рис. 4). Поэтому можно утверждать, что определение чувствительности снимка дефектоскопистом по ГОСТ 7512 может быть ошибочным. При проведении программного анализа изображения можно выделить наимень-

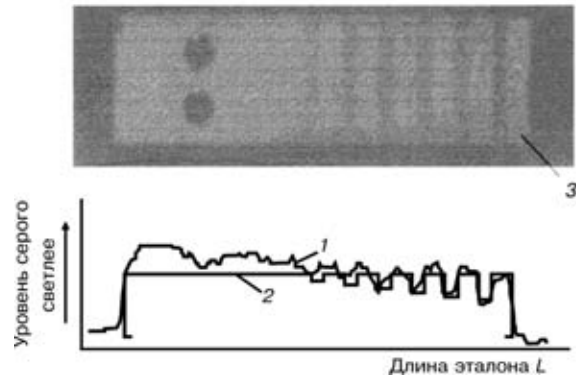


Рис. 3. Фактическое (1) и расчетное (2) распределение уровней серого по эталону 3.

шую канавку эталона, лежащую в зоне расчетного уровня серого эталона. Такое определение чувствительности снимка дает наиболее правильный результат. Канавка 6 на рис. 4 не просматривается, а фактическая видимая канавка 5 (B) не расположена в зоне расчетного отображения канавки 5 (A). Видимая и расчетная канавки 4 (C) имеют общую совмещенную зону, поэтому расчет чувствительности можно проводить по 4-й канавке.

Имея исходные данные яркостей точек эталона и данные анализа для построения расчетного эталона, можно смоделировать изображение эталона, которое должно быть отражено на снимке. Варианты такого моделирования представлены на рис. 5.

Возникает проблема — смоделированная область поверхности эталона в зоне первой канавки «светлее» поверхности эталона в зоне последней канавки (рис. 5). Это достаточно яркий пример, того, что наше восприятие изображения не совсем соответствует отображению на снимке. Анализ уровня серого восстановленной поверхности эталона показывает, что он везде одинаков. В данной ситуации действует психофизиологический закон Вебера–Фехнера, согласно которому различие в зрительных ощущениях при рассматривании двух поверхностей с различной яркостью прямо пропор-

**Размеры канавочного эталона, мм**

Номер эталона	Глубина канавок						a	b	C	h	L
	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	h <sub>5</sub>	h <sub>6</sub>					
1	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10	2,5	0,5	10	2	30
2	1,75	1,50	1,25	1,00	0,75	0,50	4,0	1,5	12	4	45
3	—	—	3,00	2,50	2,00	1,50	6,0	3,0	14	6	60

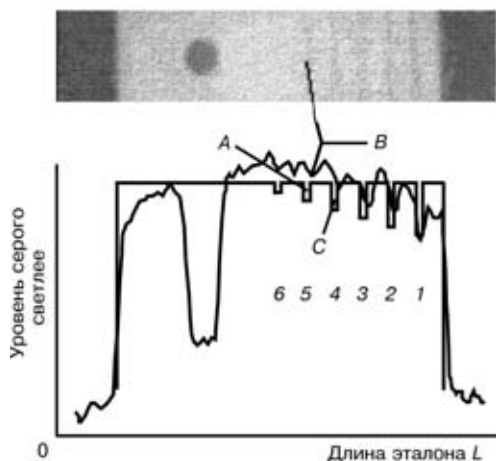


Рис. 4. Уточнение чувствительности по эталону.

ционально контрасту яркостей этих поверхностей [5]. На наше восприятие сильно влияет отображение уровней серого канавок эталона, окружающий фон основного металла на снимке и острота зрения. Так что же мы видим и что оцениваем по эталону? Как учесть психофизиологический закон Вебера-Фехнера при выделении дефектов на изображении сварного шва? На разрешении этих вопросов мы остановимся позже.

Имея в качестве анализатора компьютер с соответствующим программным обеспечением, дефектоскопист может на совершенно ином уровне проводить оценку сварных соединений: не «на глазок», а с конкретными данными уровней серого в любой точке снимка, оперативной информацией чувствительности, масштаба  $X/Y$ , коэффициента пересчета глубины  $Z$ , относительной погрешности и расчетного изображения части эталона на экране монитора. В качестве сервиса можно запросить распределение колебаний уровня фона основного металла, построить 3D изображение реального и исходного эталонов или график, дающий представление о распределении уровня серого по канавкам эталона, а также оперативно получать данные об уровне серого в любой точке снимка и его соответствие

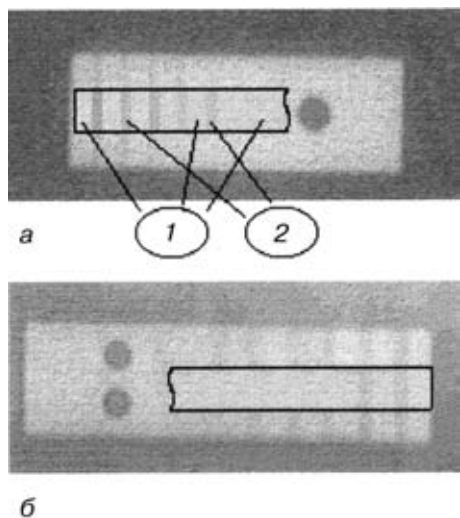


Рис. 5. Эталоны (а, б) и построенная на них расчетная часть изображения (зона 1 имеет одинаковый уровень серого расчетной поверхности; зона 2 — канавки эталона).

номеру канавки эталона. Необходимо отметить, что снимки, по которым проводился анализ, сделаны на пленках отечественного производства. Зарубежные пленки дают несколько лучшие результаты, но проблема искажений не становится от этого менее актуальной.

На рис. 6 представлен вариант работы интерактивного программного анализатора. Имея снимок, пригодный к дальнейшей компьютерной обработке, можно осуществить переход к компьютерному поиску и анализу дефектов. Создавая блок программ поиска и выделения контуров дефектов, мы исходили из того, что дефектоскопист должен самостоятельно определять на снимке участок сварного шва с прилегающей к нему околошовной зоной. Созданные алгоритмы анализа, поиска и описания контуров дефектов представляют собой наиболее сложный комплекс программных модулей, потому что здесь имеется очень много противоречий между получаемыми данными по сварному шву и визуальным наблюдением в нем дефектов, где накладывает свой отпечаток дифференциальный параллакс зрения, конвергенция и аккомодация глаз и где в полной мере работает вышеуказанный закон зрительного восприятия Вебера-Фехнера, сказываются эффекты Пуркинье [6], а также дефекты самой пленки (зернистость, царапины, разводы и многое другое).

Исследование яркостных характеристик рентгеновских снимков, полученных на промышленных предприятиях, показало, что однородный при субъективном восприятии фон (площадью  $1\text{ см}^2$ ) основного металла снимков воспринимается компьютером как совокупность различных уровней серого, диапазон градаций которого составляет 6... 14 % от всего диапазона значений уровня серого цветовой палитры. На «однородном» участке большей площади диапазон колебания градаций серого может составлять 20... 30 % диапазона палитры. При таком разбросе градаций серого применение высокочастотных фильтров выделения контуров для поиска границ сварного шва и дефектов не дает положительных результатов. Применение низкочастотных фильтров приводит к размыванию границ и потере информативности изображения. Для решения этой проблемы были разработаны собственные алгоритмы распознавания.

Алгоритмы поиска сварного шва построены на логическом анализе сгруппированных по яркостному признаку характеристик близлежащих точек выделенного фрагмента снимка. При таком подходе возможно определение границ шва, которые зачастую могут сливаться с фоном основного металла. Для поиска дефектов разработано несколько различных алгоритмов. Сопоставление результатов их работы дает возможность определить местоположение дефекта в матрице выбранного фрагмента снимка. Контуров найденных дефектов описываются по принципу цепочного кодирования. Размытость изображений и отсутствие четких границ приводит к необходимости расчета наиболее вероятностных границ найденных дефектов.

Из всего многообразия найденных объектов дефектами считаются те, которые удовлетворяют следующим критериям:

площадь дефекта и перепад яркости внутри дефекта должны превышать порог поиска, рассчитанный исходя из зернистости фона снимка;

минимальный выявляемый размер дефекта должен быть равен или превышать размер, устанавливаемый нормативными требованиями стандартов;

найденный дефект должен иметь положительный коэффициент зрительного восприятия.

Теперь о том, как быть с «эффектами» нашего зрения, о которых уже говорилось ранее. Возможно, специалистам в области анализа изображений приходилось сталкиваться с проблемой, когда обрисованный программой контур (в нашем случае дефект) на изображении не виден глазами. В рамках проведенных исследований и на основе статистического анализа полученных данных для разработанной системы была выведена формула для получения порога зрительного восприятия дефекта. В общем случае коэффициент зрительного восприятия  $K_r$  имеет вид:

$$K_r = K_{v-f} \left| \frac{1}{D} \left( \frac{D}{2} - H_0 \right) \right| \left( 1 - \frac{0,5 S_d}{H_{sr,p}} \right) + K_s,$$

где  $K_{v-f}$  — значение коэффициента Вебера–Фехнера;  $D$  — максимальное количество градаций серого установленной цветовой палитры;  $H_0$  — яркость фона окружения дефекта;  $S_d$  — интегральная площадь дефекта;  $H_{sr,p}$  — перепад видимости;  $K_s$  — поправочный коэффициент, зависящий от фона снимка.

Как показала опытная эксплуатация программ, достоверность отбора по коэффициенту зрительного восприятия, рассчитанному по приведенной формуле, составляет 75... 80 %. Расчет по более сложной методике повышает достоверность до 90 %. Значения коэффициента зрительного восприятия  $K_r$  позволяют дефектоскописту оценить достоверность описанного контура как дефекта при низком контрасте площадей контура и окружения.

Программный поиск и выделение дефектов предоставляют возможность детального изучения каждого описанного дефекта. Для этого на выделенную область поиска накладывается координатная сетка, и дефекты «маркируются» согласно их начальным значениям координат. Значения полученных параметров дефекта отображаются в специальном информационном окне. Если требуется вмешательство оператора в настройку системы поиска дефектов, то для этого можно в определенных пределах изменять результирующий коэффициент порога поиска. Дополнительные сервисные функции позволяют увеличить размер изображения выбранного дефекта, «посмотреть» его по осей  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ . Можно построить 3D

изображение дефекта при его условно симметричном расположении по глубине (оси  $Z$ ). По отдельному заказу возможна индикация специальных параметров — таких, как коэффициент Вебера–Фехнера, расчетный коэффициент зрительного восприятия, средняя яркость дефекта и его окружения, перепад яркости в дефекте и видимости, порог поиска дефектов. На рис. 7 представлены варианты результатов индикации данных по выбираемым дефектам.

При разработке универсального программного обеспечения возникают трудности из-за широкого диапазона контрастности снимков — от четких до практически однотонных. Тем не менее мы имеем определенные результаты по созданию программ для выявления дефектов на таких снимках, несмотря на различие их яркостных характеристик.

Определение линейных и глубинных размеров найденных дефектов, их площадей, периметров, местоположения, а также линейных характеристик самого сварного шва не представляет большой сложности. Переход от пиксельных размеров к действительным в миллиметрах производится путем пересчета по полученным ранее калибровочным коэффициентам.

Еще одна проблема — это идентификация типов найденных дефектов. Простой дефект, например, в виде одиночной круглой поры в растровом формате, представляет собой фигуру, в лучшем случае близкую к прямоугольнику. Более сложные одиночные дефекты описываются многоугольниками произвольной конфигурации. Непровар, воспринимаемый дефектоскопистом как протяженный непрерывный объект, может быть выявлен компьютером как совокупность объектов с промежутками. Если имеются скопления пор или шлаков, то, накладываясь друг на друга в плоском изображении, они дают результирующий объект очень сложной геометрической формы.

Программа путем логического анализа характерных признаков дефектов и их локализации в сварном шве с применением методов выделения

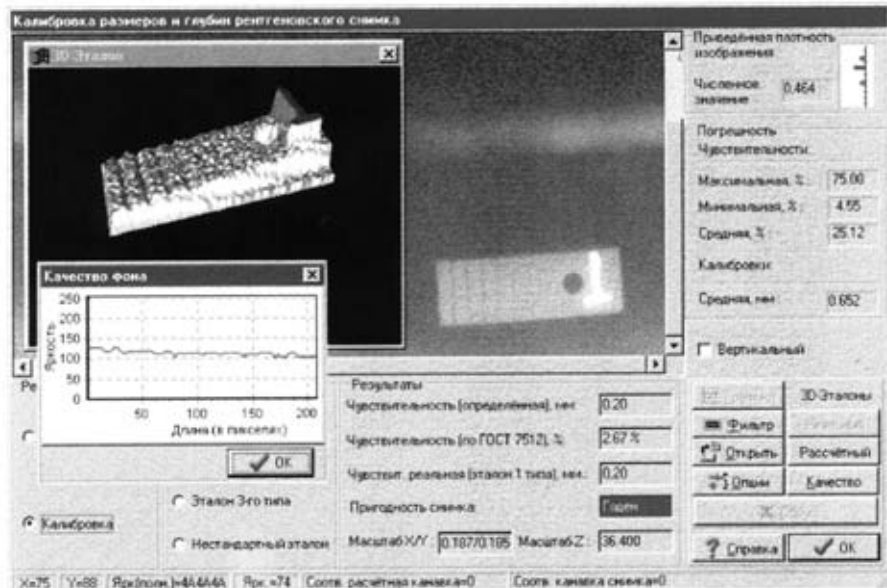


Рис. 6. Интерактивный программный анализатор.

более простых дефектов из сложных идентифицирует с определенной долей вероятности такие дефекты, как пора, шлак, скопление пор и шлаков, непровар, трещина. Однако окончательное решение по идентификации типа дефекта мы оставляем за оператором. Дефектоскопист в интерактивном режиме может изменить тип найденного компьютером дефекта или вообще убрать обнаруженный дефект из перечня дефектов, по которому делается заключение о качестве сварного соединения, если он считает, что это дефект не сварного шва, а пленки. Однако в базе данных все равно будет храниться первоначальная картина найденных компьютером дефектов. На рис. 8 показаны результаты распознавания и анализа дефектов.

Полученная таким способом информация о дефектах переносится в распределенную базу данных

дефектов сварных соединений и является исходной для оценки качества сварного соединения путем сравнения размеров дефектов с допустимыми значениями по нормативным документам [7].

Выбор нормативных документов, данные из которых должны использоваться для оценки дефектов, является проблемой неоднозначной. Можно ввести в компьютер практически все документы, используемые в различных отраслях промышленности, и оператор смог бы выбирать любой. Однако, как показывает опыт, в каждой конкретной организации используется довольно ограниченный набор нормативных документов. Поэтому планируется предусмотреть создание гибкого аппарата для ориентации системы на потребителя по нормативной документации.

При оценке качества сварных соединений необходимо проведение статистического анализа, с помощью которого можно оценить влияние различных причин, приводящих к возникновению дефектов. Для определения весовых коэффициентов каждой причины используется метод дискриминантного анализа. По полученным весовым функциям для каждой причины дефектности можно оценивать сварные соединения как по отдельности, так и выборками. На основании имеющихся результатов оценки можно говорить о технологическом несоответствии каких-либо элементов в сварочном процессе на данном объекте или в организации. На рис. 9 представлен пример, отражающий уровень дефектности у бригады сварщиков на объекте.

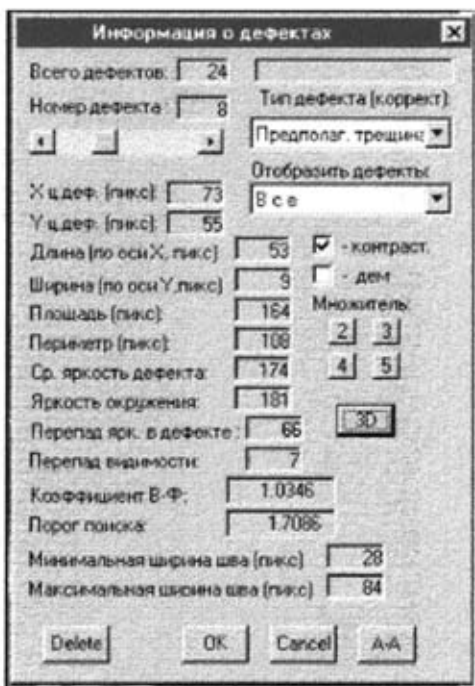
Сотрудничество разработчиков с лабораториями по неразрушающему контролю Мозырского нефтеперерабатывающего завода и Открытого акционерного общества «Белгазстрой» дало возможность значительно продвинуться вперед в решении проблем по представленной технологии. Сравнение предварительных результатов независимого тестирования системы с результатами оценки снимков дефектоскопистами показали, что машина переоценивает размерность дефектов примерно на 15...20 %. Человек недооценивает размер на 10...15 %, особенно на дефектах малой площади: чем они меньше, тем больше ошибка. Программу можно подправить, даже если она «перестраховалась». А как быть с дефектоскопистом? Недооценка может привести к серьезным последствиям, а «подправить» специалиста нельзя. Однозначных ответов на поставленные в данной статье вопросы нет, но использование подобных технологий должно помочь уменьшить влияние человеческого фактора при расшифровке РГГ снимков.

Как показывает практика, данная разработка на международных конференциях и выставках вызывает интерес не только среди дефектоскопистов, но и как экспертная система у специалистов в области оценки систем качества.

**Обучающий комплекс с оценкой профессиональной пригодности для подготовки специалистов по дефектоскопии рентгеновского и гаммаграфического контроля.** Применение современных средств вычислительной техники в области дефектоскопии видится не только как создание инструмента, позволяющего автоматизировать труд де-



а



б

Рис. 7. Отображение данных по дефектам: а — стандартный вариант индикации; б — вариант под заказ.

фектоскописта. Представление данной разработки в области компьютерных технологий являются закономерным следствием, вытекающим из системы компьютерного анализа дефектов сварных соединений.

Уровень качества сварных соединений и подготовка специалистов по дефектоскопии имеют непосредственную связь между собой. Поэтому подготовка и переподготовка высококвалифицированных специалистов по дефектоскопии является важным направлением в системе управления качеством продукции в сварочном производстве.

Естественно, такой комплекс должен иметь адаптивность к существующей системе подготовки и аттестации специалистов по дефектоскопии РГГ контроля в рамках требований национальных и международных стандартов. В Республике Беларусь стандарт СТБ ЕН 473-95 (точный аналог EN 437:1992) является нормативной документацией, устанавливающей требования к квалификации персонала, осуществляющего неразрушающий контроль.

Количество информации для усвоения знаний и получения навыков достаточно велико, причем она в большинстве своем является труднодоступной и разобранной. Справочники, где сосредоточены данные по каждому разделу, относятся к специальным видам технической и научной литературы. Использование компьютерных баз данных (БД) дает определенный ряд преимуществ: БД может содержать в полном объеме всю требуемую информацию, которая может храниться сколь угодно долго. Количество и содержание этой информации можно изменить в любой момент без особых усилий и затрат.

Кроме теоретических навыков дефектоскопист после обучения должен уметь на практике настраивать оборудование, составлять технологические карты на просвечивание и расшифровывать рентгенограммы, что достигается обширной тренировкой. Для приобретения навыков в обращении с оборудованием необходим непосредственный контакт с ним. Что же касается других навыков, то здесь очевидны возможности вычислительной техники в совершенствовании процесса их приобретения. Эмулирование процесса составления технологического контроля с возможностью оперативного доступа к справочной информации из БД делает его менее трудоемким и более регулярным. Наиболее ответственными этапами при проведении контроля является расшифровка и идентификация дефектов на рентгеновской пленке. Этому вопросу при разработке обучающего комплекса уделено особое внимание. При этом учтен весь опыт работы в процессе

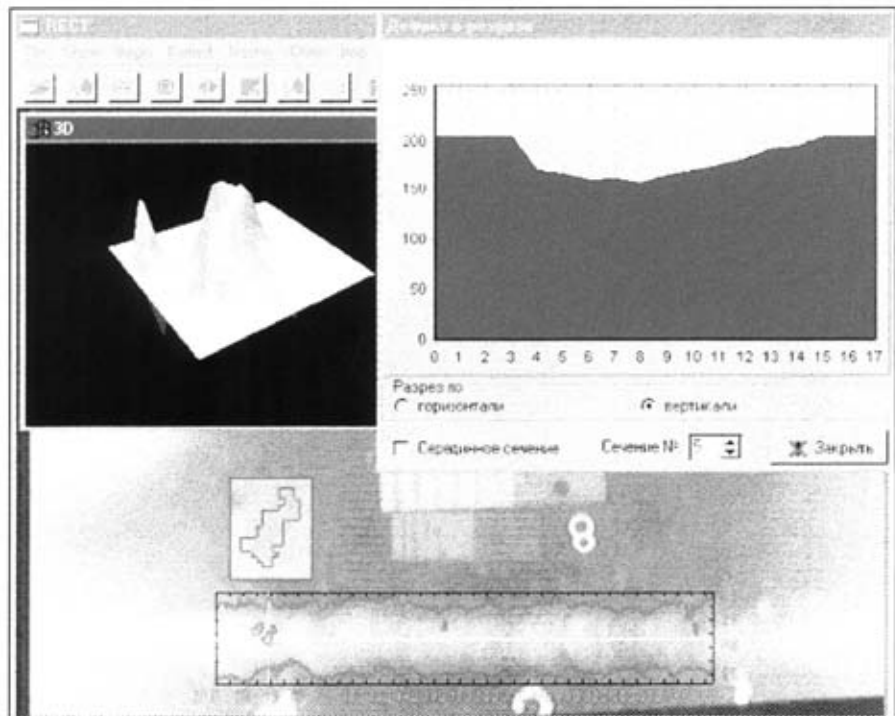


Рис. 8. Построение сечения по вертикали и условно симметричное 3D изображение выбранного дефекта.

создания системы распознавания и анализа дефектов сварных соединений.

Ранее мы останавливались на том, что дефектоскопистам свойственно ошибаться при определении как типов дефектов, так и их размеров. Однако у опытных дефектоскопистов процент ошибки значительно меньше. Сказывается большой опыт работы и тренировка. В состав комплекса введена программа-тренажер для тренировки при обучении. Есть также и специальная программа, имитирующая процесс расшифровки снимков.

Базы данных содержат информацию о радиационных методах в дефектоскопии и предназначенны для оперативного поиска необходимых характеристик оборудования, материалов, нормативно-справочных данных и т. д. В систему также включены таблицы с тестовыми вопросами и вариантами ответов для проведения контрольных проверок ус-

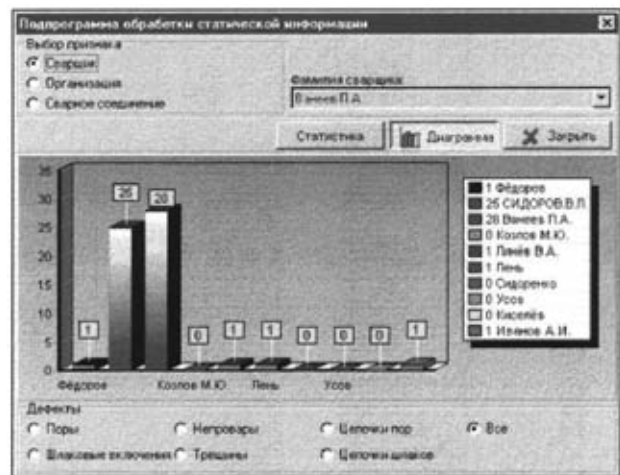


Рис. 9. Статистический анализ: уровень дефектности по сварщикам.



Рис. 10. Фрагменты из программы обучающего комплекса.

воения материала по каждому из разделов и для общего экзамена в целом. В базе данных «РГГ снимки» содержатся изображения РГГ снимков с типовыми дефектами, образцами эталонов и снимков для тестирования. База данных «Учащиеся» содержит полную информацию о лицах, проходящих или прошедших обучение, а также результаты проведения экзаменов.

Содержание информации в электронном виде позволит упростить как учащимся, так и преподавателям доступ к необходимым данным, что наряду с возможностью постоянно пополнять, изменять содержимое БД является значительным преимуществом по сравнению с нынешними носителями информации (справочники, учебники). Расширенные возможности тренажеров позволят экономить время и материальные ресурсы на получение необходимых практических навыков дефектоскопистов. Исключение человеческого фактора при проведении экзаменов гарантирует эффективность получения результатов. На рис. 10 представлены фрагменты из программы обучающего комплекса.

Наличие подобной системы без экзаменационного блока в каждой лаборатории по дефектоскопии

при постоянной плановой самоподготовке специалистов позволит на надлежащем уровне поддерживать квалификацию специалистов данной области неразрушающего контроля.

Чтобы оценить знания лиц, прошедших курс обучения, в комплекс включены подпрограммы для проведения экзаменов согласно СТБ ЕН 473-95.

В заключение надо отметить, что в создании комплекса для обучения и оценки профессиональной пригодности дефектоскопистов активное участие принимают

Открытое акционерное общество «Белгазстрой» и орган по подготовке и аттестации специалистов по радиационным методам контроля «Профсертико» из Национальной Ассоциации неразрушающего контроля Республики Беларусь.

1. *Zautomatyzowana obrobka wynikow kontrol radiograficznej* / V. K. Seleg, L. S. Denisov, A. E. Kapustin et al. // *Biuletyn Instytutu spawalnictwa w Gliwicach, Poland.* — 1999. — № 3.
2. *Румянцев С. В.* Радиационная дефектоскопия. — М.: Атомиздат, 1974.
3. *Яшин В. В., Калинин Г. А.* Обработка изображений на языке СИ для IBM PC. — М.: Мир, 1994.
4. *Компьютерная оценка пригодности рентгеногаммаграфических снимков на основе анализа эталона чувствительности* / В. К. Шелег, А. Э. Капустин, А. П. Фокин и др. // *Сварка и родств. технологии.* — 1998. — № 1.
5. *Добромыслов В. А., Румянцев С. В.* Радиационная интроскопия. — М.: Атомиздат, 1972.
6. *Зверева С. В.* В мире солнечного света. — Ленинград: Гидрометеоиздат, 1988.
7. *Computer analysis of radiographic images of welds* / V. K. Sheleg, A. E. Kapustin, I. I. Bardusova et al. // *Proc. of Second internat. congr. «Mechanical engineering technologies'99», Sept., 1999, Sofia, Bulgaria.* — Vol. 7.

Научно-исслед. констр.-технол. ин-т сварки и защит. покрытий с опытом пр-вом, Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 11.01.2001