

проигрыш в числе используемых квантов составляет всего 2,5 раза или 1,58 раза по отношению сигнала к шуму.

Накопленный практический опыт «бетатронной» томографии также подтверждает, что малая мощность дозы «томобетатрона» не является непреодолимым ограничением в важнейших применениях томографического контроля для отработки ответственных технологий.

Тем не менее повышение МЭД в 10 раз до 40 Р/мин (в 3 раза по отношению сигнала к шуму) было бы решающим в соревновании «томобетатрона» с линейным ускорителем в томографических применениях. К сожалению, пока не найдены средства значительного увеличения МЭД «томобетатрона», хотя ограничения и носят чисто технический характер, не достигая предела допустимой тепловой нагрузки на мишень. Надо продолжать поиск. Соревнование высокоэнергетических источников компьютерных томографов продолжается.

### **Список литературы**

1. Вайнберг Э.И. Компьютерные томографы «ПРОМИНТРО» // В мире НК. – 2001. – № 4. – С. 30–33.
2. Вайнберг Э.И. Томографический контроль композитов // В мире НК. – 2003. – № 3. – С. 8–11.
3. Вайнберг И.А., Вайнберг Э.И., Цыганов С.Г. Опыт томографического контроля охлаждаемых турбинных лопаток // В мире НК. – 2007. – № 1. – С. 12–15.
4. Вайнберг Э.И., Цыганов С.Г., Шаров М.М. Опыт трехмерной компьютерной томографии // В мире НК. – 2008. – № 1. – С. 56–59.
5. Вайнберг Э.И. Повышение пространственного разрешения промышленных компьютерных томографов // В мире НК. – 2006. – № 3. – С. 40–42.
6. Yorkholm P., Johnson J. Cargo Examination using the X-ray Radiation of High Energy. – Cargo Security International. October 2004.
7. Вайнберг Э.И. Опыт использования малогабаритного бетатрона МИБ-5 в составе промышленного компьютерного томографа ВТ-500ХА // В мире НК. – 2003. – № 4. – С. 58–61.

## **МИКРОФОКУСНЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ**

*А.М. Штейн, В.Н. Твердохлебов, Е.Ю. Усачев  
г. Томск, г. Москва, г. Москва, Россия*

Традиционно микрофокусные рентгеновские аппараты с размерами фокусного пятна от долей микрометра до 0,1 мм используются в рентгеновских микроскопах или для контроля малых объектов с увеличением их изображения в 15–50 раз. [1]

Ниже рассмотрены преимущество этих аппаратов применительно к наиболее широко используемому сейчас в дефектоскопии методу радиографии.

В ООО «Диагностика-М» разработаны и производятся малогабаритные микрофокусные рентгеновские аппараты с размерами фокуса 0,03–0,06 мм. Они представляют собой относительно новый класс рентгеновских аппаратов для дефектоскопии. С их помощью можно по-новому решать проблемы неразрушающего контроля. Эти аппараты отличаются малыми размерами и весом, низкой потребляемой мощностью и высокой надежностью. Основные технические характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1

Аппарат	Напряжение, кВ	Толщина просвечивания Fe, мм	Фокусное пятно, мм
РАП100МН	20–100	8	0,05*
РАП150МН	40–150	18	0,06*

\* В комплект поставки может входить дополнительная магнитная система для уменьшения фокуса до 0,03 мм.

Подробные технические данные можно найти на сайте [2].

Стандартно принято, что источник излучения должен быть удален на возможно большее расстояние от пары: объект контроля – приемник преобразователь излучения (далее – пленка), которые в свою очередь должны быть как можно плотнее прижаты друг к другу. Такая геометрия контроля вызвана тем, что размер источника излучения (фокусное пятно рентгеновской трубки, далее – фокус), как правило, заметно больше дефектов, которые надо обнаруживать. В этих условиях, если фокус достаточно близок к пленке, а объект контроля несколько отдален от нее, то излучение от краев фокуса частично или даже полностью перекрывает изображение дефекта на пленке, так называемая зона полутени (см. рис. 1, а).

Однако, к проблеме разрешающей способности метода можно подойти иначе.

Если размер фокусного пятна меньше размера дефекта, то при любых расстояниях фокус-объект-пленка не будет уменьшения размера изображения (см. рис. 1, б). В этом случае разрешающая способность метода прямо пропорциональна  $\operatorname{tg}\alpha$ , так как чем больше  $\alpha$ , тем большее увеличение можно получить на пленке, значит, тем меньше влияют ограничения в разрешающей способности приемника изображения (пленка, рентгенотелевизионный преобразователь и т. д.). Естественно, что при таком фокусе ток будет небольшим, но это компенсируется малым фокусным расстоянием, поскольку  $\operatorname{tg}\alpha$  обратно пропорционален фокусному расстоянию, а мощность дозы излучения, попадающего на пленку, обратно пропорциональна квадрату этого расстояния.

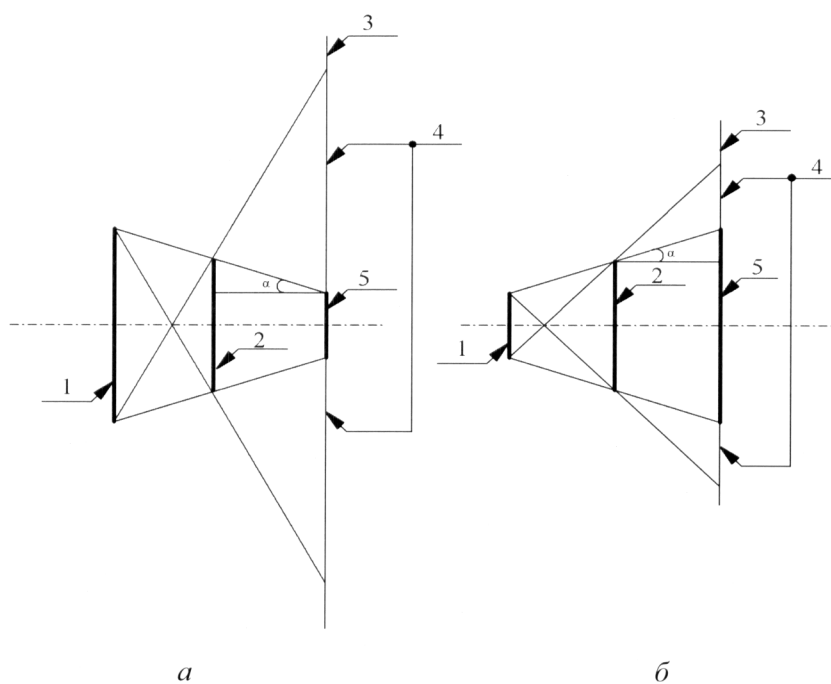


Рис. 1. Формирование изображения объекта:

1 – фокус; 2 – дефект; 3 – пленка; 4 – зона полутени; 5 – изображение дефекта

Рассмотрим это предположение на примере. Пусть объект имеет толщину 10 мм с расположением дефектов у поверхности со стороны пленки, в центре объекта и у поверхности со стороны источника излучения (это наиболее сложный для выявления случай, поэтому тест-объект положено ставить именно в этом положении). Согласно ГОСТ 7512–82 (п.6,3) наименьший диаметр выявляемой проволоочки должен быть не более 0,1 мм. В практике принято считать надежно выявляемым дефект, размер которого равен двойному диаметру выявляемой проволоочки эталона. Наименьший диаметр проволоочки эталона по ГОСТ 7512–82 (и по EN462-1) равен 0,05 мм, что соответствует выявляемости дефекта диаметром 0,1 мм.

В качестве стандартных источников излучения возьмем 2 рентгеновских аппарата на напряжение 30–160 кВ, оптимальное для объектов выбранной толщины: РАП160-5 с фокусом 1,2 мм и током 5 мА и SMART160W с фокусом 0,4 мм и током 4 мА.

Сравним мощность дозы, создаваемую этими аппаратами на пленке на расстоянии, определяемым допустимой полутенью, с мощностью дозы, создаваемой аппаратом с фокусом 30÷40 мкм и током 0,2 мА.

Расстояние от дефекта до пленки с учетом толщины свинцового усиливающего экрана, бумажной кассеты и неплотности прилегания объекта к кассете примем равным 1 мм для случая, когда дефект находится у поверхности со стороны пленки, и равным глубине залегания для остальных случаев. Примем, что полутень закрывает 50 % размера дефекта(или, что то же самое, 50 % диаметра проволоочки в 0,05 мм). В таком случае, согласно рис. 1  $\operatorname{tg}\alpha = 0,0125$ . Отсюда, легко получить фокусные расстояния, обеспечивающие полутень не более 50 % дефекта, при разной глубине залегания его.

Для аппарата РАП160-5 фокусное расстояние должно быть не менее 46 мм при дефекте со стороны пленки, 230 мм при залегании дефекта на 5 мм и 460 мм – при дефекте со стороны источника.

Для аппарата SMART160W, соответственно, имеем 14, 70 и 140 мм.

В силу конструктивных особенностей минимальное фокусное расстояние для аппарата РАП160-5 равно 75 мм плюс толщина объекта, то есть в нашем случае – 85 мм, а для аппарата SMART160W, который имеет выносной анод длиной (до фокуса) 110 мм, оно равно, примерно, 75 мм.

Микрофокусный аппарат РАП100МН имеет выносной анод длиной 140 мм и диаметром 6 мм, таким образом, для нашего случая мы имеем фокусное расстояние 13 мм.

При прочих равных условиях, мощность дозы у РАП100МН составляет 0,04 мощности дозы от РАП160-5 и 0,05 – от SMART160W, однако, с учетом необходимого фокусного расстояния мы имеем следующие соотношения мощностей дозы у пленки (см. табл. 2).

Таблица 2

	75 мм	85 мм	140 мм	230 мм	460 мм
РАП100МН РАП160-5		1,7		12,5	50
РАП100МН SMART160W	1,66		5,8		

Микрофокусный аппарат РАП150МН может иметь выносной анод длиной 250 мм и диаметром 20 мм с фокусным пятном не более 0,05 мм. И в этом случае при минимальном фокусном расстоянии 20 мм мы имеем выигрыш в дозе по сравнению с обычными аппаратами (табл. 2).

Если принять, что технологически невыгодно увеличение времени экспозиции, примерно, в три раза, то преимущество высокоточных стандартных аппаратов при оговорен-

ных выше условиях начинает сказываться при фокусных расстояниях более 100 мм. Однако, и здесь не все однозначно. Излучатели (моноблоки) микрофокусных аппаратов имеют очень малые размеры и массу. Помимо возможности работы в стесненных условиях это позволяет сократить время установки моноблока в позицию для просвечивания.

Бесспорно преимущество микрофокусных аппаратов для контроля кольцевых сварных швов трубных досок. Сейчас контроль одного такого кольцевого шва производится последовательно за 4–6 экспозиций. Помимо затраты времени возникают трудности при «сшивании» снимков, чтобы определить, где именно находится дефект. Микрофокусные аппараты с вынесенным анодом и панорамным излучением (с осью излучения под 45° назад) позволяют делать снимок кольцевого шва за одну экспозицию. В наших экспериментах с трубными досками с трубами внутренним диаметром 10 мм уверенно определялась проволока эталона диаметром 0,08 мм, причем ограничение в диаметре определяемой проволоки вызваны не разрешающей способностью аппарата, а условием длительности экспозиции не более 60 секунд. Это потребовало применить несколько большее напряжение, чем необходимо для получения максимальной контрастной чувствительности. В тех же условиях, например, на фоне 10 мм титана выявлялись проволоки из титана диаметром 0,08 мм и более плотные проволоки из железа диаметром 0,05 мм.

Таким образом, во многих случаях радиографического контроля применение микрофокусных аппаратов более предпочтительно по сравнению с обычными аппаратами.

#### **Список литературы**

1. Соснин Ф.Р. Неразрушающий контроль: справочник: в 7 т. Т. 1: в 2 кн.: кн. 1: Визуальный и измерительный контроль. Кн. 2: Радиационный контроль / под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2003. – 560 с.: ил.
2. <http://www.tsnk-lab.ru/work/equipment/form/portable/rpnm>

### **МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ УСКОРЕННЫХ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ФАКТОРАМ РАДИАЦИОННОЙ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ**

*Ю.А. Бежсаев, В.М. Зыков, А.А. Лукашук (г. Томск, Россия)  
В.В. Иванов, И.А. Максимов (г. Железногорск, Россия)  
Ю.Н. Полянсков (г. Краснодар, Россия)*

На основе результатов испытаний арсенид-галлиевых фотопреобразователей предложен новый подход к методике проведения лабораторных ускоренных ресурсных испытаний солнечных батарей космических аппаратов к факторам радиационной электризации.

Разработка космических аппаратов (КА) нового поколения, функционирующих на высоких орбитах, обладающих расширенными целевыми возможностями, с большей мощностью полезной нагрузки и сроками активного существования (САС) до 15-ти лет, предъявляет к современным солнечным батареям (БС) ряд требований, направленных на достижение максимальной эффективности БС при заданном ресурсе или максимального ресурса при определенном уровне эффективности БС.

Воздействие факторов космического пространства приводит к деградации БС. Значительный вклад в ухудшение характеристик БС вносят потоки заряженных частиц. Под действием радиации существенно изменяется как режим работы фотопреобразователей