

Контрольно-измерительная аппаратура реализована на основе модульной системы National Instruments с программным управлением, разработанным в среде LabVIEW. [3,4,5]. Состав модулей выбирается исходя из системы параметров-критериев контролируемых ЭКБ. Типовой набор модулей, используемых при контроле цифровых микросхем, состоит из: одного или нескольких цифровых модулей ввода/вывода с настраиваемыми напряжениями логических уровней (PXI-7952R+NI-6581), обеспечивающих необходимое число линий ввода/вывода, источник питания, совмещенный с измерителем тока (PXI-4114), высокоточный мультиметр-измеритель тока (PXI-4071), осциллограф (PXI-5114). Разнообразие аналоговых схем не позволяет выделить типовой набор модулей.

Автоматизированный комплекс обеспечивает достоверный и информативный контроль РС ЭКБ по эффектам накопленной дозы и мощности дозы ионизирующего излучения, одновременно обеспечивая возможности проведения широкого спектра радиационных исследований как по диагностике отказов, так и по отработке методик испытаний, выбору критических режимов и условий работы.

Список литературы:

[1] *Методы и результаты контроля радиационной стойкости микроэлектронных изделий. Методика оперативного неразрушающего контроля дозовой стойкости КМОП БИС на КНС-структурах / Давыдов Г. Г., Согоян А. В., Никифоров А. Ю., Киргизова А. В., Петров А. Г., Седаков А. Ю., Яшанин И. Б. // Электроника, 2008, том 37, № 1, с. 67-77*

[2] *Ю.М. Московская Общий методический подход к оценке радиационной стойкости БМК и полупроводниковых БИС на их основе.// Наноиндустрия. 2017, №1.*

[3] *The radiation test based assessment of process quality and reliability for conventional 65-nm CMOS technology, Kessarinskiy L. N., Davydov G.G., Boychenko D.V., Artamonov A. S., Nikiforov A. Y. and Yashanin I.B. // Microelectronics Reliability, vol. 64, 1 pp. 130-133, 2016.*

[4] *Automatic test complex for parametric control of power NMOS and PMOS transistors / Aristova N. E., Borisov A. Y., Tararaksin A. I., Kessarinskiy L. N., and Yanenko A. V. /n Proc.2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 Omsk; Russian Federation; May 21 -23, 2015, article number 7146984.*

[5] *Реализация базовых методов радиационных испытаний ЭКБ на основе аппаратно-программного комплекса аппаратуры National Instruments Бобровский Д.В., Давыдов Г.Г., Петров А.Г., Яненко А.В., Ахметов А.О., Борудина А.Б., Калашников О.А., Кессаринский Л.Н., Некрасов П.В., Никифоров А.Ю., Уланова А.В. // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2012. № 5 (97). С. 91-104.*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ**

*Галахов Антон Николаевич, Александр Германович Митин, Денис Андреевич Кондрашов, Андрей Владимирович Леер, Валерий Григорьевич Ефимов, Анна Николаевна Охотникова  
АО Федеральный научно-производственный центр «Алтай»  
Ефимов Валерий Григорьевич, д.ф.-м.н., профессор  
E-mail [galakhov-87@mail.ru](mailto:galakhov-87@mail.ru)*

Основной характеристикой процесса горения высокоэнергетических композиционных материалов (ВКМ) является скорость. Для точной оценки значений скорости горения способы измерения не должны оказывать влияния на процесс горения. Ультразвуковой метод наиболее полно отвечает требованиям обеспечения высокой точности, дистанционности, безопасности, дешевизны, автоматизации обработки результатов испытаний и является объектом повышенного внимания в зарубежных исследованиях [1-2]. Комплекс технических средств, реализующий такой метод разработан и апробирован в АО «ФНПЦ «Алтай». Погрешность определения скорости составила порядка 7 %. Дальнейшее развитие ориентировано на совершенствование алгоритмов выделения зашумленного эхо - импульса, отраженного от горячей поверхности материала и доработку измерительного оборудования в части повышения частоты регистрации.

В работе приведены результаты экспериментальной отработки методов и средств определения скорости горения ВКМ с начальной толщиной свода 120 мм. Анализ полученных результатов осуществлялся при помощи реализованной обработки, особенностью которой является использование вейвлет-анализа, адаптированного к задачам ультразвуковой эхо-локации. Применение вейвлет-анализа позволило выявить гармонические компоненты в изменении скорости горения на указанных участках работы и установить масштаб разложения сигнала, при котором его энергия имеет максимальное значение.

Список литературы:

[1] Хасегава К., Хори К. Новый метод измерения скорости горения твердого топлива с помощью ультразвука // Физика горения и взрыва. — 2010. — № 2. — С. 79-87.

[2] Kurabayashi H., Sato A., Yamashita K., Nakayama H., Hori K., Honda M., Hasegawa K. Ultrasonic Measurements of Burning Rates in Full-Size Rocket Motors // Progress in Propulsion Physics. — 2011. — № 2. — Pp. 135-148.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ РАДИАЦИОННОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В АО «ФНПЦ «АЛТАЙ»**

*Скоков Алексей Александрович, Карих Владимир Петрович, Вьюшков Алексей Владимирович, Охотников Александр Александрович, Привалов Георгий Алексеевич*  
*Акционерное общество «Федеральный научно-производственный центр «Алтай»*  
*Карих Владимир Петрович, д.т.н., доцент*  
[kar@frpc.secna.ru](mailto:kar@frpc.secna.ru)

В АО «ФНПЦ «Алтай» разработана цифровая радиометрическая аппаратура для неразрушающего контроля изделий различных габаритов с диапазоном регистрируемого потока гамма-излучения от  $10^3$  до  $10^9$  квантов в секунду. Она позволяет контролировать в многоканальном режиме изделия с просвечиваемой толщиной от 10 до 250 мм по стали. В четырех-канальном исполнении 7 комплектов аппаратуры внедрены на ряде предприятий отрасли (АО «ФНПЦ «Алтай», ФКП «Комбинат «Каменский», АО «НИИПМ», ФКП «ППЗ») и шестнадцати-канальная радиометрическая система в составе комплекса MAG NDT эксплуатируется в лаборатории высокоэнергетических материалов NEMRL министерства обороны Индии. В качестве источника излучения используется радионуклид Co-60 активностью 50 – 400 Ки.

В комплекте с автоматизированной программно-управляемой платформой-сканером, разработанной также в АО «ФНПЦ «Алтай», аппаратура позволяет контролировать изделия различных габаритов (диаметром от 400 до 2200 мм и длиной от 700 до 8000 мм) в автоматическом многоканальном разноракурсном режиме.

Аппаратура используется в «ФНПЦ «Алтай» на протяжении многих лет, работает без сбоев, не требует предварительных настроек и обеспечивает чувствительность к дефектам близкую к теоретически максимальной. Радиометрическая аппаратура защищена патентом на изобретение [1].

В АО «ФНПЦ «Алтай» разработан бетатронный томограф для контроля изделий диаметром до 1000 мм. Источником излучения является бетатрон МИБ-10 с энергией тормозного излучения до 10 МэВ.

В известных зарубежных томографах изделие закрепляется вертикально на поворотном столе, источник и линейка детекторов устанавливаются на определенной высоте. При разработке отечественного томографа предпочтение было отдано горизонтальному сканеру: изделие располагается на вращающихся валках, а детекторная линейка регистрирует излучение, пересекающее верхнюю половину сечения. Новое сканирование повлекло разработку соответствующего алгоритма реконструкции. В настоящее время изготовлены и эксплуатируются два томографа на ФКП «Комбинат «Каменский» и в АО «ФНПЦ «Алтай».

Для проверки чувствительности томографа был разработан и изготовлен тестовый образец, в котором содержались дефекты в виде раковин определенных размеров и трещиноподобные дефекты. На основе томограммы образца, помещенного в канал изделия диаметром 0,8 м, получены следующие данные: томограф позволяет выявлять раковины объемом  $0,02 \text{ см}^3$ , что на два порядка превышает результаты радиометрического метода. Кроме того, отчетливо выявляются трещиноподобные дефекты с раскрытием 0,03 см. Испытания томографа проводились также на изделиях с реальными дефектами в наполнителе. На томограммах отображались дефекты сложной конфигурации. Ранее наблюдать столь подробную информацию не представлялось возможным. Томограф защищен патентом на изобретение [2]. В АО «ФНПЦ «Алтай» ведутся разработки других перспективных томографических средств контроля изделий, в частности 3D томографа высокого разрешения и томографа (также высокого разрешения) для контроля корпусов и прикорпусных зон изделий из высокоэнергетических материалов.

### Список литературы:

[1] Способ аналого-цифровой обработки сигнала радиометрического датчика: пат. 2386209 Рос. Федерация: МПК Н03М 1/04 / В.П. Карих, А.В. Вьюшков, Г.А. Привалов; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие «Федеральный научно-производственный центр «Алтай». – № 2009100582/09; заявл. 11.01.2009; опубл. 10.04.2010, Бюл. №10. – 15 с.: ил.