

## Разработка высокочувствительного детектора рентгеновского излучения для задач неразрушающего контроля

ООО «Продис.Тех»

Рентгеновский неразрушающий контроль (РК) является одним из основных методов диагностики качества сварных швов, отливок, пайки и сборки изделий на производстве. Метод позволяет оперативно оценить степень износа и состояние объектов контроля вне производственных помещений.

В области РК в качестве приемников излучения используются системы визуализации, принадлежащие к различным этапам развития техники: рентгеновская пленка, CR системы, усилители рентгеновского изображения, цифровые детекторы. В промышленности аналоговые технологии по-прежнему доминируют над цифровыми [1].

Это связано с рядом факторов: инерцией мышления, высокими единовременными расходами на переоборудование производств, запоздалым развитием нормативной базы, большим размером пикселя детектора в сравнении с зерном пленки [2].

Преимуществами цифровых приемников рентгеновского изображения, CR систем и детекторов, являются: высокий динамический диапазон, высокая чувствительность, линейность регистрации. Однако CR системы не являются мобильным решением и не обеспечивают высокой скорости работы, в отличие от цифрового детектора.

На 2017 год в России действует только один стандарт, учитывающий цифровые рентгеновские детекторы, «ГОСТ Р ИСО 10893-7-2016 Трубы стальные бесшовные и сварные. Часть 7. Цифровой радиографический контроль сварных швов для обнаружения дефектов». Еще один стандарт разработан и будет утвержден в ближайшее время, «ГОСТ ISO 17636-2 «Неразрушающий контроль сварных соединений. Радиографический

контроль. Часть 2. Способы рентгено- и гаммаграфического контроля с применением цифровых детекторов» [3]. В Европе и США – целая серия стандартов: ASTM E 2597, ASTM E 2698, ASTM E 2736, ASTM E 2737, ISO 17636-2 и т.п. [4].

Таким образом, основным препятствием для перехода РК на цифровые приемники является лишь размер пикселя сенсора. Для класса качества А по ISO 17636-2 минимальное значение показателя качества изображения IQI - D13. Это соответствует базовому пространственному разрешению 50 мкм. При отсутствии геометрического увеличения обеспечить данное разрешение может только система с размером пикселя не более 50 мкм. Данному требованию удовлетворяет ряд CR систем и современные детекторы на КМОП матрицах [5].

Стандартная схема детектора на КМОП матрице изображена на рис. 1.



Рис.1. Схема цифрового детектора

Рентгеновское излучение преобразуется в оптическое с помощью слоя сцинтиллятора. Так как в ряде случаев КМОП-сенсоры обладают низкой стойкостью к рентгеновскому излучению, используется разнесение слоя сцинтиллятора и сенсора с помощью волоконно-оптической плиты (ВОП). ВОП позволяет существенно увеличить срок жизни детектора (в десятки раз). Во избежание потемнения самой ВОП при длительном воздействии рентгена используется добавки церия. Сочетание современного КМОП сенсора с цериевой ВОП позволяет создать долговечный и высокочувствительный рентгеновский детектор [6].

Другим важным элементом детектора является сцинтиллятор. Наиболее востребованными на рынке являются сцинтилляторы на основе йодида цезия (CsI) и оксисульфида гадолиния (GadOx). Различия между двумя этими материалами заключаются в структуре. Слой CsI представляет собой структурированный материал в виде иглоподобных кристаллов со средним диаметром порядка 10 мкм (см. рис. 2) [7].

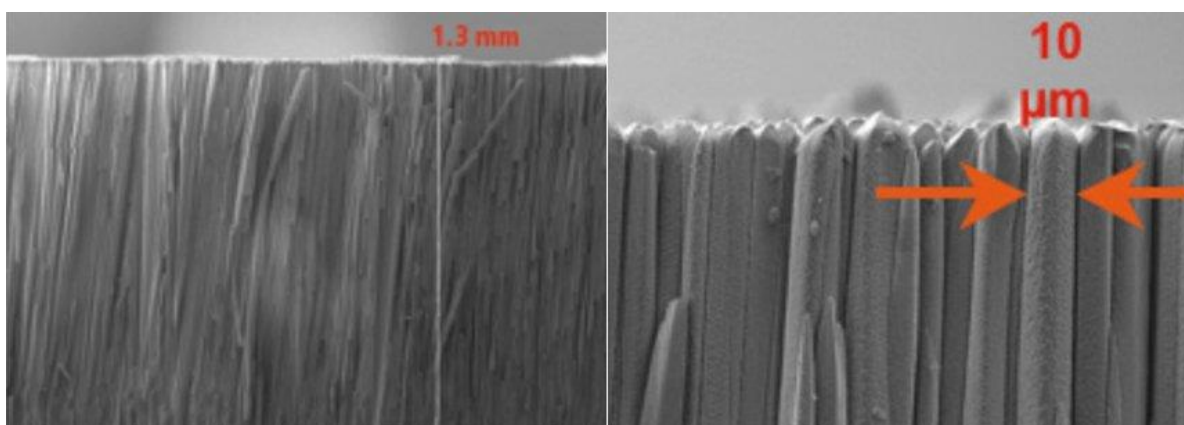


Рис.2. Слой сцинтиллятора CsI под электронным микроскопом

На рис.3 схематично отображено различие между структурированным (CsI, справа) и неструктурированным (GadOx, слева) сцинтиллятором. В слое CsI свет распространяется с минимальным рассеянием, что гарантирует лучший контраст.

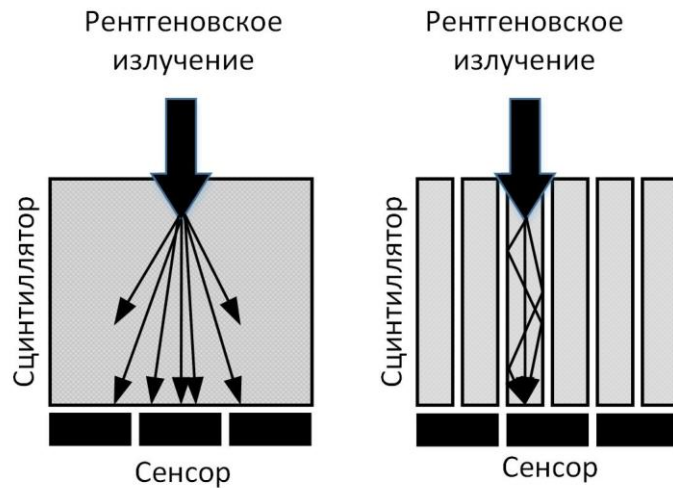


Рис.3. Различия между сцинтилляторами

GadOx обладает более эффективным поглощением рентгеновского излучения в диапазоне низких энергий, что обеспечивает лучшие характеристики по пространственному разрешению и является наиболее доступным сцинтиллятором на рынке [8].

Толщина слоя сцинтиллятора является еще одним фактором, влияющим на характеристики цифрового детектора. Увеличение слоя неструктурированного сцинтиллятора приводит к увеличению рассеяния и уменьшению контраста получаемого изображения. В отношении структурированного сцинтиллятора толщина слоя является функцией от используемой энергии рентгеновского излучения, обеспечивая максимальное поглощение рентгеновского излучения. В области НК допустимо применять оба типа сцинтилляторов, в зависимости от решаемой задачи. При работе в диапазоне анодного напряжения до 70-100 кВ GadOx сцинтиллятор толщиной 100-200 мкм даёт более высокое значение функции передачи модуляции (MTF), в диапазоне от 100 до 300 кВ и выше – лучше подходит CsI с толщиной слоя до 1000 мкм [9, 10].

На рис.4 изображены рентгеновские детекторы компании ООО «Продис.Тех», разработанные по описанной выше технологии с

использованием КМОП сенсора с размером пикселя 50 мкм. Формат активной зоны детекторов составил 12x15 и 24x30 см.

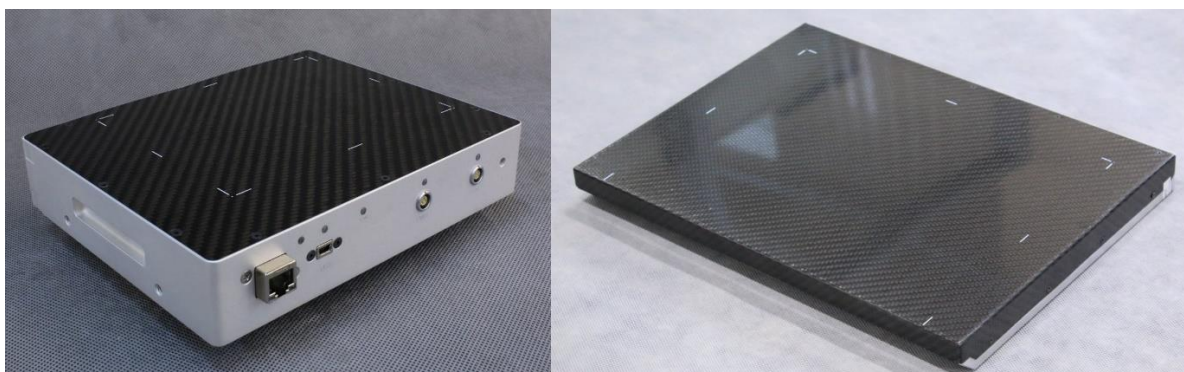


Рис.4. Детекторы Продис.Марк 1215 и 2430

В таблице 1 представлены характеристики современных детекторов для ПК на базе КМОП сенсоров. Как видно из таблицы – детекторы Продис.Марк обладают минимальным размером пикселя и большим размером активной зоны, среди представленных на рынке.

Таблица 1. Характеристики существующих на рынке КМОП детекторов

<b>Производитель</b>	<b>Модель</b>	<b>Пиксель мкм</b>	<b>Активная зона, мм</b>	<b>Кол-во пикселей</b>
Продис.Тех	Продис.Марк 1215	50	114x145	2300x2900
	Продис.Марк 2430	50	228x291	4600x5800
Hamamatsu	C7942	50	120x120	2400x2400
Perkin Elmer (Varex)	Dexela 1207	75	114x65	1536x864
	Dexela 1512	75	145x114	1944x1536
	Dexela 2923	75	291x230	3888x3072

Dalsa	Shad-o-Box 1K HS	50	57×64	1152x1300
	Shad-o-Box 3K HS	50	114×64	2940x2304
	Shad-o-Box 6K HS	50	145x114	2940x2304
	RAD-icon 1520	99	150x200	2064x1548
	RAD-icon 2022	99	204×221	2064x2236
	RAD-icon 3030	99	306×306	3096x3100

В таблице 2 представлены эксплуатационные характеристики разработанных детекторов. Управление детектором и получение изображений осуществляется по промышленному интерфейсу GigE Vision.

Таблица 2. Эксплуатационные характеристики детекторов Продис.Марк

<b>Характеристика</b>	<b>Продис.Марк 1215</b>	<b>Продис.Марк 2430</b>
Габаритные размеры, мм	168x197x39	266x354x32
Вес, кг	1,9	3,9
Электропитание, В	12...30	
Диапазон анодных напряжений, кВ	20...300	
Степень защиты по ГОСТ 14254-96	IP54	IP21
Температура эксплуатации, °С	+10...+40	

Размер пикселя разработанных цифровых детекторов для РК позволяет достичь высокой чувствительности контроля, класс 1 по ГОСТ 7512-82 и класс В по ISO 17636-2, соответствующей современным стандартам. Высокие мобильность и размер активной зоны позволяют использовать детекторы в различных отраслях РК, что позволяет уйти от устаревших аналоговых технологий и обеспечить качественный рост в диагностике дефектов.

## Литература

1. Майоров А.А. Цифровые технологии в радиационном контроле // В мире неразрушающего контроля, № 3(45), 2009, С. 5-12.
2. Багаев К. А., Мельканович Г. А. Компьютерная радиография: оборудование и стандарты // Экспозиция Нефть Газ, № 4 (29), 2013, С. 54-57.
3. Сайт технического комитета по стандартизации ТК 357 "Стальные и чугунные трубы и баллоны" // tk357.com
4. Ewert U., Zscherpel U. Minimum Requirements for Digital Radiography Equipment and Measurement Procedures by Different Industries and Standard Organizations // Proceedings of European conference on Non-Destructive Testing, Prague, Czech Republic, 2014.
5. Окончательная редакция стандарта ГОСТ ISO 17636-2. «Неразрушающий контроль сварных соединений. Радиографический контроль. Часть 2. Способы рентгено- и гаммаграфического контроля с применением цифровых детекторов».
6. Henson T. D., Torrington G. K. Space radiation testing of radiation resistant glasses and crystals // SPIE Proceedings, Vol. 4452, 2001, pp. 54-65
7. Cesium Iodide Microcolumnar Scintillators // Radiation Monitoring Devices, Inc, USA, 2013

8. Larsson J. X-Ray Detector Characterization - a comparison of scintillators // Department of Applied Physics, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2013
9. Samei E. Performance of digital radiographic detectors: factors affecting sharpness and noise // Radiology, Vol.243, Issue: 3, 2007, pp. 49–61.
10. Nagarkar V.V., Gupta T.K., Miller S.R., Klugerman Y., Squillante M.R., Entine G. Structured CsI(Tl) Scintillators for X-ray Imaging Applications // IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 45, Issue: 3, 1998, pp. 492-496.