

## **Создание позиционно-чувствительных блоков детектирования для медицинских однофотонных эмиссионных гамма томографов**

Радиоизотопная диагностика является одним из самых современных методов исследования функциональных и биохимических процессов практически в любой физиологической и морфологической системе организма человека с целью определения отклонений от нормального функционирования и диагностирования заболеваний на самых ранних стадиях. Радиоизотопная диагностика широко применяется в таких важных областях научной и практической медицины, как онкология, кардиология, неврология, гематология, гепатология, уронефрология и ряде других.

На данный момент отечественная медицина испытывает острую нехватку современной аппаратуры для радиоизотопного исследования. Большинство имеющегося оборудования данного типа к настоящему времени морально устарело и требует модернизации или полной замены. Производство отечественной аппаратуры отсутствует, и данное направление медицины полностью зависит от импорта. Вследствие высоких цен на импортное оборудование оно доступно только крупным научным центрам и самым престижным медицинским клиникам. Кроме того, такое положение ставит развитие отечественной диагностики в подчиненное положение, зависящее от уровня развития диагностики за рубежом.

В настоящее время в России имеется около 100 действующих гамма камер различной модификации и три ПЭТ-томографа – один для изучения мозга человека (С.-Петербург) и два полнотельных (С.-Петербург, Москва). Практически все это оборудование импортного производства. Большинство гамма-камер эксплуатируются 10 и более лет и нуждаются в модернизации или в полной замене. Таким образом, дальнейшее развитие этого важного направления медицины и доведение количества обследований до уровня, диктуемого уровнем заболеваемости, пока что целиком зависит от импорта. При достаточно высоких ценах (до 1 млн. долл. на гамма камеры) на

оборудование радиоизотопной диагностики, оно является доступным только крупным научным центрам и медицинским клиникам. На сегодняшний день потребность учреждений здравоохранения в гамма-камерах и гамма-томографах – не менее 300 шт. Поэтому развитие отечественного приборостроения радиоизотопной диагностики диктуется насущной необходимостью дальнейшего развития медицины в России.

Имея в виду необходимость скорейшего преодоления острой нехватки радиоизотопной диагностической аппаратуры в российских больницах и клиниках, НПК ЛУЦ НИИЭФА им. Д.В. Ефремова предложило программу, рассчитанную на приоритетную разработку изделий, которые могут быть уже в ближайшее время поставлены на серийное производство. При этом упор делался на устройства, в которых в первую очередь нуждается практическая медицина. В качестве первого шага в создании отечественной аппаратуры для радионуклидной диагностики была выбрана разработка двухдетекторных однофотонных эмиссионных компьютерных томографов, отвечающих современным требованиям.

Разработка двух однофотонных эмиссионных томографов “Эфатом-1” была начата в НИИЭФА им. Д.В.Ефремова в 2013 г. В проекте в качестве соисполнителей участвовали ОАО “НТЦ ЯФИ”, входящее в ГК “Росатом”, и ПАО “Техприбор”, входящий в концерн АО “КРЭТ” государственной корпорации “Ростех”. ОАО “НТЦ ЯФИ” и ПАО “Техприбор” отвечали за разработку и изготовление четырех позиционно-чувствительных блоков детектирования. ПАО “Техприбор” полностью отвечал за разработку и изготовление блока вычисления координат событий БВК1-60-40-200.

Сцинтилляционные позиционно-чувствительные блоки детектирования в составе двухдетекторного однофотонного эмиссионного томографа (далее детекторы) предназначены для определения концентрации и пространственного распределения радиофармацевтического препарата, введенного пациенту в процессе радиоизотопной диагностики, по его гамма-излучению.

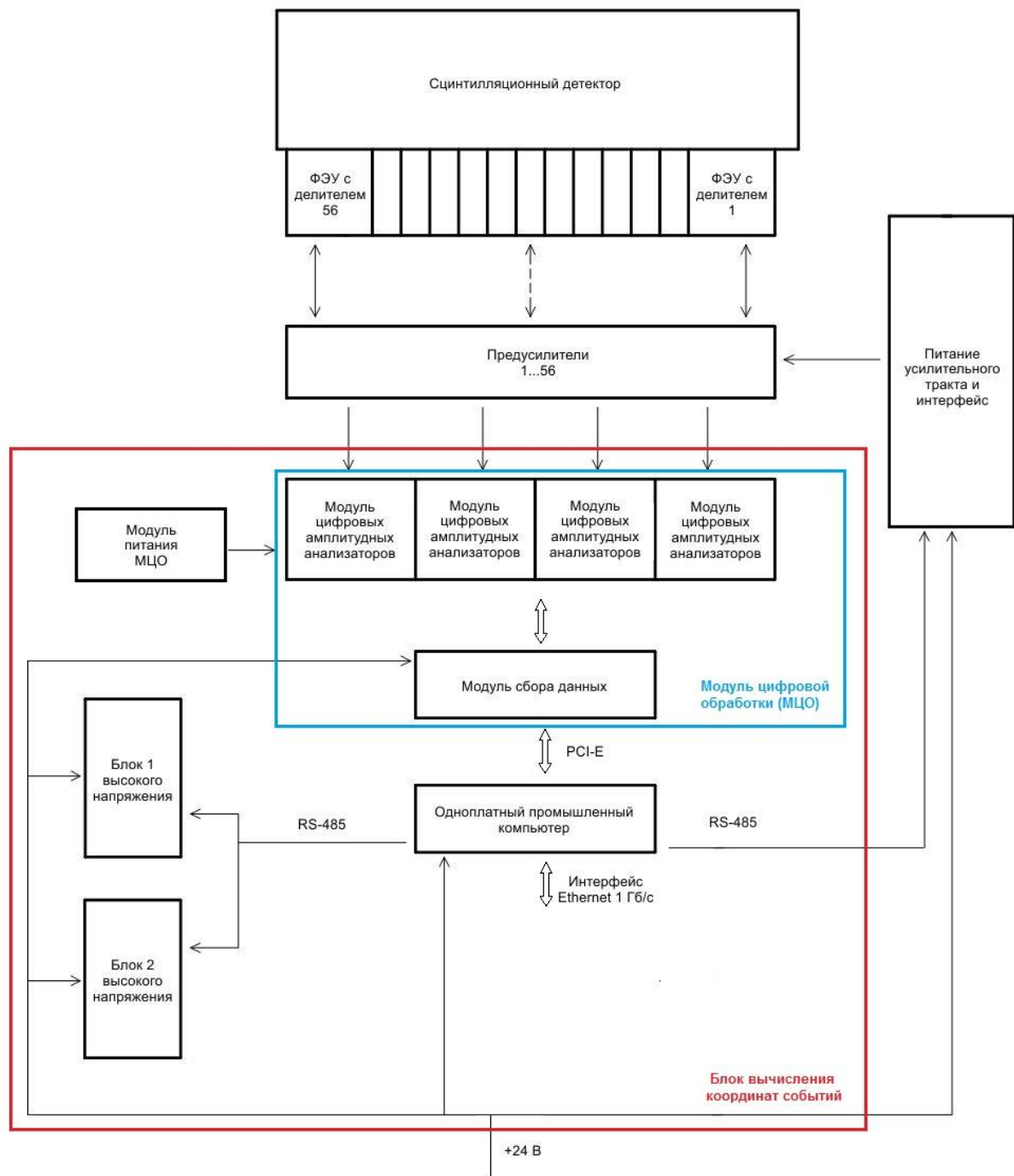


Рис. 1. Блок-схема детектора

Детектор (рис. 1) содержит сцинтилляционный кристалл NaI и размещённые на его оптическом окне фотоэлектронные умножители (ФЭУ). При взаимодействии гамма-излучения со сцинтиллятором возникает вспышка света, которая распространяется по объёму кристалла и регистрируется ФЭУ. Питание диодных систем ФЭУ осуществляется с помощью делителей

напряжения и двух управляемых источников высокого напряжения, установленных на корпусе блока детектирования. В состав делителей напряжения введена схема, позволяющая регулировать коэффициент усиления ФЭУ. Сигналы, снимаемые с анодов ФЭУ, поступают на входы усилителей. Изменение коэффициентов усиления ФЭУ и усилителей, а также подача тестового сигнала, производится под управлением промышленного компьютера, подключенного к плате по интерфейсу RS-485. Выходные сигналы аналоговых усилителей поступают на цифровые спектрометрические амплитудные анализаторы. Цифровые данные об амплитудах импульсов и их временной привязке поступают в модуль сбора данных, где информация обрабатывается и передается в промышленный компьютер по интерфейсу PCI-E. Результаты обработки через интерфейс Ethernet 1 Гбит/с поступают на удаленный компьютер.

Основные характеристики детекторов:

Наименование параметра		Значение параметра
Размер полезного поля зрения (UFOV), мм		540 × 400
Собственное пространственное разрешение детектора по уровню 0,5 (FWHM), мм	В центральном поле зрения (CFOV)	3,3÷3,6
	В полезном поле зрения (UFOV)	3,3÷3,6
Системное пространственное разрешение детектора с низкоэнергетическим коллиматором высокого разрешения по уровню 0,5 (FWHM), мм		6,3÷6,8
Собственная интегральная неоднородность изображения, не более %	В центральном поле зрения	1,8÷2,0
	В полезном поле зрения	2,3÷2,5
Собственная дифференциальная неоднородность изображения, не более, %	В центральном поле зрения	1,3÷1,5
	В полезном поле зрения	1,8÷2,0

Собственная абсолютная нелинейность изображения, не более, мм	В центральном поле зрения	0,31
	В полезном поле зрения	0,31
Собственная дифференциальная нелинейность изображения, не более, мм	В центральном поле зрения	0,15÷0,20
	В полезном поле зрения	0,15÷0,25
Скорость счета в 20% окне, (при 20% потерях), тыс. имп./с, не менее		200
Общие размеры детекторов, не более (Ш×Д×В), мм		790×582×400

Состав и основные характеристики БВК1-60-40-200:

№ п/п	Описание	Кол-во, шт.
1	<p><b>Модуль цифровой обработки (МЦО)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Количество входных каналов – не менее 60 (количество каналов от ФЭУ – 56 и количество резервных каналов – 4);</li> <li>• Диапазон напряжений сигналов по каждому входному каналу – не менее <math>\pm 1</math> В;</li> <li>• Частота аналогово-цифрового преобразования по каждому входному каналу – не менее 40 МГц;</li> <li>• Разрядность аналогово-цифрового преобразования – не менее 12 бит;</li> <li>• Скорость счета по каждому каналу – не менее 200 тыс. имп./с (при 20% потерях);</li> <li>• Наличие режектора наложений, обработка наложенных событий;</li> <li>• Кластерный алгоритм, обеспечивающий вычисление координат событий, (собственное пространственное разрешение детектора по уровню 0,5 FWHM в полезном поле зрения) не хуже 3,6 мм;</li> <li>• Канал считывания 8-разрядного кода коллиматоров;</li> <li>• Канал приема дискретного сигнала от концевого датчика защиты от касания. Тип сигнала – корпус/обрыв или напряжение/обрыв (диапазон напряжений – от 3 до 30В);</li> <li>• Наличие цифрового интерфейса управления</li> </ul>	1

	<p>коэффициентами усиления предварительных усилителей и ФЭУ каждого канала;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Наличие каналов формирования и выдачи тестовых импульсов на входы всех усилителей сигналов с ФЭУ. Разрядность ЦАП – не менее 14 бит;</li> <li>• Одноплатный промышленный компьютер с шиной PCI-E;</li> <li>• Интерфейс связи с удаленным компьютером – Ethernet 100/1000 Мбит/с;</li> <li>• Габаритные размеры – не более 400×400×100 мм</li> </ul>	
2	<p><b>Модуль управления высоковольтным источником</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Разрядность ЦАП управления выходным напряжением ВИП – не менее 14 бит;</li> <li>• Разрядность АЦП контроля выходного напряжения ВИП – не менее 12 бит;</li> <li>• Программная настройка скорости нарастания/спада выходного напряжения в диапазоне от 1-65536 В/с;</li> <li>• Интерфейс управления модулем – RS-485;</li> <li>• Протокол управления модулем – MODBUS_RTU;</li> <li>• Габаритные размеры – не более 50×50×20мм</li> </ul>	2
3	<p><b>Модуль питания МЦО</b></p>	1
4	<p><b>Общие требования</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Питание от источника постоянного тока 24В;</li> <li>• Потребляемая мощность — не более 40Вт;</li> <li>• Наличие выхода стабилизированного напряжения постоянного тока <math>\pm 5 \text{ В} \pm 3\%</math> для питания усилителей сигналов с ФЭУ. Максимальный выходной ток – не менее 1А;</li> <li>• Диапазон рабочих температур окружающей среды – от 0 до плюс 60°C;</li> <li>• Срок гарантии на оборудование с момента поставки не менее 2 лет;</li> <li>• Срок службы изделия до списания – не менее 10 лет;</li> <li>• Возможность заключения контракта на сервисное техническое обслуживание в постгарантийный период на все оборудование;</li> <li>• Наличие встроенных программно-аппаратных средств контроля, обеспечивающих тестирование и проверку работоспособности блока детектирования;</li> <li>• Возможность удаленного доступа производителем к оборудованию с целью проверки работоспособности изделия</li> </ul>	

Достоинства разработанного ПАО “Техприбор” БВК1-60-40-200:

- повторяемость и стабильность работы во времени за счет применения цифровой обработки импульсов;
- интеллектуальная обработка наложенных событий, позволяющая разделять и восстанавливать амплитуды наложенных импульсов, что в свою очередь дает возможность набирать большую статистику за время обследования пациента и, как следствие, повысить разрешение томографа;
- кластерный алгоритм вычисления координат событий, также позволяющий повысить разрешение томографа;
- расширенные средства встроенного контроля;
- высокая надежность.

В конце 2014 г. ПАО “Техприбор” завершил разработку, изготовил, провел испытания и передал в ОАО “НТЦ ЯФИ” четыре блока вычисления координат событий.

В 2015 г. была проведена совместная с ОАО “НТЦ ЯФИ” настройка и калибровка четырех блоков детектирования.

В период с 2015 г. по 2016 г. в АО “НИИЭФА им. Д.В. Ефремова” были успешно проведены испытания двух однофотонных эмиссионных томографов “Эфатом-1”.

### **Заключение**

Результаты проведенных предприятиями ГК “Росатом” и ГК “Ростех” совместных работ позволяют создать отечественное конкурентоспособное производство радиоизотопного диагностического оборудования, развивать импортозамещающее производство, создать новые рабочие места на предприятиях РФ, повысить экспортный потенциал, реконструировать действующие производственные мощности на базе прогрессивных технологий и удовлетворить потребности здравоохранения России.

Разработка и организация производства отечественной аппаратуры для радиоизотопной диагностики позволит получить ряд преимуществ перед западными аналогами, а именно:

- возможность адаптации оборудования к требованиям российских медиков;
- более низкая цена – стоимость одного отечественного аппарата почти в два раза меньше западного аналога;
- меньшая стоимость обслуживания и ремонта по сравнению с импортным оборудованием;
- возможность модификации оборудования и программного обеспечения в соответствии с требованиями пользователей;
- возможность организации гарантийного и более дешевого постгарантийного обслуживания;
- большой диапазон диагностических возможностей применения отечественных комплексов;
- совместимость и ремонтпригодность.

Минимальная потребность России в двухдетекторных гамма-томографах, диктуемая уровнем заболеваемости, составляет 300 шт.

Согласно имеющимся данным потенциальными рынками сбыта являются также страны СНГ, Китай, Индия и ряд других развивающихся стран.





Рис. 2. Блок детектирования в процессе монтажа



Рис. 3. Блок детектирования в процессе монтажа



Рис. 4. Внешний вид гантри гамма-томографа с блоками детектирования.  
Вид спереди



Рис. 5. Внешний вид гантри гамма-томографа с блоками детектирования.  
Вид сбоку