

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по теме «Разработка и изготовление экспериментального образца мультиплексора для гибридного пиксельного детектора рентгеновского излучения»

1. Наименование, заказчик, исполнитель

1.1. Наименование: выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по теме: «Разработка и изготовление экспериментального образца мультиплексора для гибридного пиксельного детектора рентгеновского излучения» (далее – НИОКР).

1.2. Заказчик: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт»).

1.3. Исполнитель: определяется на основании конкурентных процедур в соответствии с Федеральным законом от 05.04.2013 № 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд».

2. Цели и основные задачи выполнения НИОКР

2.1. Целью выполнения НИОКР является расчет характеристик, разработка и изготовление экспериментального образца (далее – ЭО) мультиплексора для гибридного пиксельного детектора рентгеновского излучения (далее – МГПД), который позволит проводить эксперименты с высокими требованиями по пространственному разрешению, такие как: двумерная регистрация рассеянного рентгеновского излучения (SAXS), картирование обратного пространства (RSM) и пр., на экспериментальных станциях источника синхротронного излучения.

2.2. Достижение поставленной цели обеспечивается решением следующих задач:

- Разработка документации в составе:
 - эскизная конструкторская документация (ЭКД) на макеты МГПД;
 - программа и методика испытаний макетов МГПД
 - эскизный проект ЭО МГПД;
 - технический проект на ЭО МГПД;
 - ЭКД на ЭО МГПД;
 - научно-технический отчет;
 - программа и методика испытаний ЭО МГПД;
 - сопроводительная и эксплуатационная документация на ЭО МГПД;
 - технические условия на ЭО МГПД;
 - ЭКД на оснастку для ЭО МГПД.
- Изготовление макетов МГПД.
- Испытания макетов МГПД.
- Изготовление ЭО МГПД (1 шт).
- Испытания ЭО МГПД.
- Изготовление оснастки для ЭО МГПД (1 комп.).

3. Исходные данные и условия, необходимые для выполнения работ

Отсутствуют.

4. Общая характеристика

ЭО МГПД проектируется для построения на его основе многоэлементных гибридных пиксельных детекторов рентгеновского излучения для применения на станциях источника синхротронного излучения. ЭО МГПД должен представлять собой специализированную микросхему для регистрации зарядовых сигналов, генерируемых двумерными полупроводниковыми чувствительными элементами, их обработки, подсчета событий, мультиплексирования и передачи данных на внешний интерфейс. В качестве чувствительных элементов могут быть использованы чипы из различных материалов – Si, GaAs, CdTe и др. Области применения гибридных пиксельных детекторов – детектирование рентгеновского, синхротронного и гамма-излучения в таких задачах как визуализация картин рассеяния в синхротронных экспериментах, рентгенография, медицинская визуализация, материаловедение, физика частиц. По функциональному назначению микросхема МГПД должна состоять из блока регулярной матрицы пикселей и блока периферийной электроники.

Блок регулярной матрицы пикселей является основной функциональной частью ЭО МГПД и отвечает за регистрацию рентгеновских фотонов, обработку сигнала, фильтрацию шумов и передачу данных. Блок регулярной матрицы пикселей представляет собой структурно-функциональный компонент, организованный в виде упорядоченной двумерной решетки (матрицы), состоящей из идентичных дискретных трактов обработки сигналов (пикселей). Каждый пиксель должен работать в режиме счетчика отдельных фотонов для обеспечения высокой точности и спектральной чувствительности. Блок регулярной матрицы пикселей обработки необходим для выполнения следующих функций – регистрация рентгеновских фотонов, обработка сигналов, подсчет событий и передача данных. Тракт обработки единичного пикселя должен состоять из: зарядочувствительного предусилителя, формирователя импульсов, набора компараторов, схемы локальной цифровой логики, регистра конфигурации и блока счетчиков.

Блок периферийной электроники отвечает за поддержку работы блока регулярной матрицы каналов обработки, управление аналоговыми и цифровыми сигналами, калибровку и передачу данных. Основные функции блока периферийной электроники - формирование опорных напряжений и токов, калибровка и компенсация разброса параметров каналов обработки, цифровая обработка и управление матрицей пикселей, система считывания и передачи данных. Состав блока периферийной электроники может быть разделен на пять частей: Блок управления питанием, Блок управления и синхронизации сигналов и команд, Блок конфигурации глобальных параметров, Блок конфигурации и калибровки локальных параметров, Блок диагностики и тестирования.

Макеты МГПД разрабатываются для исследований и испытаний отдельных узлов и блоков, а также для испытаний взаимодействия узлов в полной схеме. По итогам испытаний макетов МГПД производится доработка конечной конструкции ЭО МГПД.

Оснастка для ЭО МГПД разрабатывается для взаимодействия с ЭО МГПД и проведения испытаний ЭО МГПД.

5. Технические требования

5.1. Требования к составу работ

Состав НИОКР должен включать в себя:

5.1.1. Разработка конструкторской документации

Эскизная конструкторская документации (ЭКД) должна быть разработана на макеты МГПД, на ЭО МГПД, а также на оснастку для ЭО МГПД. ЭКД разрабатывается в соответствии с ЕСКД. Схемы оформляются по ГОСТ 2.701–2008. Единая система конструкторской документации. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.

5.1.1.1. Состав эскизной конструкторской документации (ЭКД) на ЭО МГПД:

- спецификация;
- габаритный чертеж;
- сборочный чертеж ;
- схема электрическая структурная (Э1), содержащая таблицу назначения выводов;
- чертеж кристалла;
- Verilog RTL–модель цифровой части микросхемы ЭО МГПД, уточненную по результатам испытаний макета МГПД (*.v);
- принципиальная схема ЭО МГПД, уточненная по результатам испытаний макета МГПД (*.v);
- топология ЭО МГПД, доработанная по результатам испытаний макета МГПД (*.gds);

5.1.1.2. Состав ЭКД на макеты МГПД

- Verilog RTL–модель цифровой части микросхемы макета МГПД, уточненную по результатам моделирования и включающую (*.v):
 1. счетчики пикселя матрицы;
 2. логика обработки выходов дискриминаторов пикселя;
 3. конфигурирование пикселя: подстройка ЦАПов, маскирование и т.п.;
 4. конфигурирование и обеспечение разных режимов работы: логика счета, логика формирования выходного потока данных;
 5. back-end часть обработки и передачи считанных со счетчиков данных.
- принципиальная схема макета МГПД, уточненная по результатам моделирования (*.v);
- эскизная топология макета МГПД, уточненная по результатам моделирования (*.gds);

Конечный состав ЭКД на макеты МГПД уточняется Исполнителем в ходе выполнения работ и согласовывается Заказчиком.

5.1.1.3. Состав ЭКД на оснастку для ЭО МГПД

- спецификация;
- сборочный чертеж;
- схема электрическая принципиальная (Э3).

Конечный состав ЭКД на оснастку для ЭО МГПД уточняется Исполнителем в ходе выполнения работ и согласовывается Заказчиком.

5.1.1.4. Эскизный проект на ЭО МГПД должен включать в себя:

- ведомость эскизного проекта;
- пояснительную записку;
- чертеж кристалла;
- эскизную принципиальную схему зарядочувствительного усилителя (*.cdl);
- эскизную топологию зарядочувствительного усилителя (*.gds);
- эскизную принципиальную схему усилителя-формирователя (*.cdl);
- эскизную топологию усилителя-формирователя (*.gds);
- эскизную принципиальную схему блока дискриминаторов (*.cdl);
- эскизную топологию блока дискриминаторов (*.gds);
- эскизную принципиальную схему аналоговой части пикселя (*.cdl);
- эскизную топологию аналоговой части пикселя (*.gds);
- эскизную принципиальную схему полной схемы пикселя (*.cdl);
- эскизную топологию полной схемы пикселя (*.gds);
- Verilog RTL–модель цифровой части микросхемы ЭО МГПД (*.v), включающую:
 - счетчики пикселя матрицы;
 - логику обработки выходов дискриминаторов пикселя;
 - конфигурирование пикселя: подстройка ЦАПов, маскирование и т.п.;
 - конфигурирование и обеспечение разных режимов работы: логика счета, логика формирования выходного потока данных;
 - «back-end» часть обработки и передачи считанных со счетчиков данных.
- принципиальную схему ЭО МГПД (*.v);
- эскизную топологию ЭО МГПД (*.gds);
- абстракт-модель кристалла.

Конечный состав эскизного проекта уточняется Исполнителем в ходе выполнения работ и согласовывается Заказчиком

5.1.1.5. Технический проект на ЭО должен включать в себя:

- ведомость технического проекта;
- пояснительную записку;
- чертеж общего вида;
- чертеж кристалла;
- схему деления структурную;
- принципиальную схему зарядочувствительного усилителя, уточненную по результатам моделирования (*.cdl);
 - топологию зарядочувствительного усилителя, уточненную по результатам моделирования (*.gds);
- принципиальную схему усилителя-формирователя, уточненную по результатам моделирования (*.cdl);
 - топологию усилителя-формирователя, уточненную по результатам моделирования (*.gds);
- принципиальную схему блока дискриминаторов, уточненную по результатам моделирования (*.cdl);

- топологию блока дискриминаторов, уточненную по результатам моделирования (*.gds);
 - принципиальную схему аналоговой части пикселя, уточненную по результатам моделирования (*.cdl);
 - топологию аналоговой части пикселя, уточненную по результатам моделирования (*.gds);
 - принципиальную схему полной схемы пикселя, уточненную по результатам моделирования (*.cdl);
 - топологию полной схемы пикселя, уточненную по результатам моделирования (*.gds);
 - абстракт-модель кристалла;
- Конечный состав технического проекта уточняется Исполнителем в ходе выполнения работ и согласовывается Заказчиком

5.1.2. Разработка сопроводительной и эксплуатационной документации

Сопроводительная и эксплуатационная документации должны разрабатываться в соответствии с требованиями ЕСКД (ГОСТ Р 2.610-2019. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения эксплуатационных документов).

В целях возможности ознакомления с ЭО МГПД и определения правил его эксплуатации разрабатывают эксплуатационные документы (далее - ЭД): паспорт и руководство по эксплуатации.

Паспорт - документ, содержащий сведения, удостоверяющие гарантии Исполнителя (изготовителя), значения его основных параметров и характеристик (свойств), а также сведения о сертификации и утилизации ЭО МГПД.

Руководство по эксплуатации – документ, содержащий сведения о конструкции, принципе действия, характеристиках (свойствах) изделия, а также описание режимов и принципов функционирования экспериментального образца, а также описание программной модели;

На ЭО МГПД также разрабатывается дополнительная сопроводительная и эксплуатационная документация: тестовые таблицы состояний для проверки работоспособности и функционального контроля ЭО МГПД.

- Сведения об изделии, помещаемые в ЭД, должны быть достаточными для обеспечения правильной и безопасной эксплуатации ЭО МГПД в течение установленного срока службы. При необходимости в ЭД приводят указания о требуемом уровне подготовки обслуживающего персонала.

- ЭД, поставляемые с ЭО МГПД и оснасткой для ЭО МГПД, должны полностью им соответствовать.

- ЭД разрабатывают на основе: ЭКД, документации эскизного проекта, документации технического проекта; опыта эксплуатации аналогичного оборудования; анализа эксплуатационной технологичности оборудования данного типа и его составных частей; результатов исследования надежности оборудования данного типа и аналогичных систем; результатов научно-исследовательских работ, выполненных на этапах настоящего ТЗ.

5.1.3. Выполнение научно-технических отчетов

Научно-технические отчеты должны быть выполнены в соответствии с ГОСТ 7.32-2017 (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления). С целью выявления

охраноспособных результатов работ Исполнитель проводит в процессе выполнения и (или) перед завершением работ патентные исследования. Патентные исследования проводятся в соответствии с ГОСТ Р 15.011-2024 (Интеллектуальная собственность. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения). Виды патентных исследований (уровень техники, патентоспособность либо патентная чистота) должны быть выбраны Исполнителем исходя из характеристик этапа и стадии жизненного цикла проекта, на котором выполняются такие патентные исследования. Итоги патентных исследований оформляются в виде Отчета о патентных исследованиях.

5.1.4. Разработка программ и методик испытаний

Программа и методика испытаний ЭО МГПД предоставляются на согласование Заказчику не позднее, чем за 1 месяц до проведения испытаний.

Программы и методики испытаний разрабатывают в соответствии с ГОСТ Р 2.106-2019. (Единая система конструкторской документации. Текстовые документы) на основе требований настоящего ТЗ с использованием, при необходимости, типовых программ, типовых (стандартизованных) методик испытаний и стандартов в части организации и проведения испытаний.

В программы испытаний включают перечни конкретных проверок (решаемых задач, оценок), которые следует проводить при испытаниях для подтверждения выполнения требований ТЗ со ссылками на соответствующие методики испытаний.

Программа и методика испытаний макетов МГПД и ЭО МГПД систем должна, кроме того, содержать проверку комплекта ЭКД, документации эскизного проекта и технического проекта.

5.1.5. Изготовление макетов МГПД

Макеты изготавливаются исполнителем для проведения испытаний, в том числе и разрушающих, на основе которых проводится доработка конечной конструкции ЭО МГПД.

Изготавливаемые макеты МГПД не являются продуктом, подлежащим передаче Заказчику. Макеты считаются расходным материалом, используемым в процессе испытаний. Требования к физическому состоянию после испытаний, включая разрушение, не предъявляются.

5.1.6. Изготовление ЭО МГПД и оснастки для ЭО МГПД

Изготовление ЭО МГПД оснастки для ЭО МГПД осуществляется в соответствии с разработанной соответствующей ЭКД, документацией эскизного проекта и технического проекта ЭО МГПД.

5.1.7. Проведение испытаний.

- Для оценки и контроля качества полученных результатов макеты МГПД и ЭО МГПД по соответствующим программам и методикам испытаний подвергают испытаниям с целью проверки и подтверждения соответствия требованиям ТЗ и принятия решения о готовности результатов работ в целом.

- Для испытаний макетов МГПД допускается применение разрушающих методов и методик.

- В процессе испытаний ход и результаты испытаний документируют по форме и в сроки, предусмотренные в программе испытаний.
- Заданные и фактические данные, полученные при испытаниях, отражают в протоколе (протоколах).
- В протоколе испытаний также отражается количество испытываемых макетов МГПД, количество разрушенных макетов.
- Положительные результаты всех испытаний, предусмотренных программой испытаний, являются основанием к предъявлению результатов НИОКР Заказчику для их приемки.
- Результаты испытаний считают отрицательными, если получены отрицательные результаты хотя бы по одному пункту из предусмотренных программой испытаний.
-

5.2. Требования назначения

5.2.1. Разрабатываемый ЭО МГПД предназначен для применения в качестве счётного устройства в пиксельных гибридных детекторах при измерении интенсивности рентгеновского пучка при проведении физических экспериментов с пространственным разрешением на станциях источника синхротронного излучения. ЭО МГПД будет использован для всестороннего изучения, проверки, обоснования примененных технических решений и функциональности устройства и возможности их усовершенствования.

5.2.2 Разрабатываемые макеты МГПД предназначены для отработки схемотехнических решений, технологии производства, корпусирования, разводки проводников и прочих технических решений для обеспечения возможности прототипирования конструкции в целом и отдельных блоков ЭО МГПД, формирования электрических соединений с использованием термокомпрессионной и/или ультразвуковой микросварки (технология “Wire Bond”), отладки режимов и протоколов взаимодействия ЭО МГПД с внешней электроникой, а также для проверки предельных характеристик, включая испытания на разрушение, с целью валидации расчетных моделей. Уничтожение макетов является запланированным этапом для сбора данных о критических нагрузках и режимах отказа. Данные, полученные при испытании макетов, используются для корректировки конечной конструкции ЭО МГПД.

5.2.3. Разрабатываемая оснастка для ЭО МГПД должна обеспечивать возможность проведения комплексной проверки работоспособности и производительности ЭО МГПД и его отдельных элементов, тестирование ключевых параметров, выявление дефектов и анализ устойчивости к внешним воздействиям, эмуляцию различных режимов работы, а также сбора и обработки данных.

5.3. Основные технические характеристики ЭО МГПД, макетов МГПД и оснастки для макетов и ЭО МГПД

5.3.1. Общие требования к конструкции и функциональным характеристикам ЭО МГПД

5.3.1.1. Состав ЭО МГПД

ЭО МГПД состоит из блока регулярной матрицы пикселей и блока периферийной электроники.

Блок регулярной матрицы пикселей - структурно-функциональный компонент, организованный в виде упорядоченной двумерной решетки (матрицы), состоящей из идентичных дискретных трактов обработки сигналов (пикселей). Тракт обработки единичного пикселя должен состоять из:

- зарядочувствительного предусилителя,
- формирователя импульсов,
- набора компараторов,
- схемы локальной цифровой логики,
- регистра конфигурации и блока счетчиков.

Блок периферийной электроники должен состоять из:

- блок управления питанием;
- блок управления и синхронизации сигналов и команд;
- блок конфигурации глобальных параметров;
- блок конфигурации и калибровки локальных параметров;
- блок диагностики и тестирования.

5.3.1.2. Технические требования к параметрам ЭО МГПД

Требования к параметрам ЭО МГПД представлены в таблице 1.

Таблица 1. Требования к параметрам ЭО МГПД

Пункт	Группа параметров	Наименование параметра	Значение
1	Геометрия чипа МГПД	Размер пикселя МГПД	75 мкм × 75 мкм
2		Размерность матрицы МГПД	32 пикселей × 32 пикселей
3		Размер чипа МГПД	до 5 мм × 5 мм
4	Регистрирующие параметры чипа	Скорость счета зарядовых импульсов одним пикселем в секунду, не менее	$5 \cdot 10^6$ при времени формирования импульса усилителя-формирователя 150 нс
5		Минимальный регистрируемый заряд, не более	1000 e^- (электронных зарядов), точное значение определяется в процессе выполнения НИОКР и согласовывается с Заказчиком.
6		Динамический диапазон обрабатываемых зарядов	от 1000 e^- до 40000 e^- .
7	Параметры аналоговой части чипа	Диапазоны входных зарядов ЗЧУ	до 10000 e^- , до 20000 e^- , до 30000 e^- , до 40000 e^-
8		Диапазон компенсируемых темновых токов чувствительного элемента	от 0 до 50 нА
9		Три дискретных времени формирования импульсов усилителя-формирователя	1) не менее 40 нс и не более 60 нс 2) не менее 120 нс и не более 180 нс 3) не менее 200 нс и не более 300 нс
10	Параметры	Разрядность	от 8 до 10 бит, точное значение

Пункт	Группа параметров	Наименование параметра	Значение
	цифровой части чипа	общих цифро-аналоговых преобразователей (далее - ЦАП) компараторов	определяется в процессе выполнения НИОКР и согласовывается с Заказчиком.
11		Разрядность подстроечных ЦАП компараторов	от 4 до 5 бит, точное значение определяется в процессе выполнения НИОКР и согласовывается с Заказчиком.
12		Количество счётчиков канала каждого компаратора в пикселе	2 счётчика на канал
13		Разрядность счётчиков	8/16 бит

ЭО МГПД должен обладать следующими характеристиками:

- полярность сигналов от сенсорного элемента - положительная, отрицательная;
- режимы работы – непрерывный счёт фотонов, счет фотонов за фиксированное время экспозиции;
- частота считывания полного кадра МГПД должна обеспечивать считывание данных из счётчиков пикселей, не допуская их переполнений - точное значение частоты считывания полного кадра определяется Исполнителем в процессе НИОКР и согласовывается с Заказчиком;
- блок периферийной электроники должен располагаться по одной стороне микросхемы, оставляя остальные стороны не занятыми;
- на этапе разработки должна быть учтена конструктивная возможность объединения отдельных МГПД в каскадный массив, работающий как единое устройство, физические испытания по объединению нескольких МГПД в каскадный массив не предусмотрено;
- необходимость использования схемы температурного мониторинга и температурной стабильности параметров, определяется Исполнителем в ходе выполнения НИОКР и согласовывается с Заказчиком;
- конструкция индивидуальных контактных площадок пикселей должна быть совместима с технологией «шариковых контактных соединений» («bump bonds»);
- соединение чипа МГПД с чувствительной матрицей должно осуществляться по технологии «перевернутый кристалл» («flip-chip») с возможностью применения технологии разваривания контактов проволочным соединением («wire bond»);
- соединение одной строки чипа с чувствительной матрицей должно осуществляться по технологии проволочной разварки («wire bond») для имитации строкового исполнения МГПД;
- каждый пиксель должен обладать индивидуальным каналом обработки импульсных сигналов с чувствительного сенсора;
- отдельный пиксель должен содержать следующие функциональные блоки – аналоговый блок, цифровой блок, конфигурационный регистр;
- аналоговый блок пикселя должен содержать: зарядочувствительный усилитель (ЗЧУ), усилитель-формирователь (УФ) и набор компараторов;

- цифровой блок должен содержать схему локальной цифровой логики, счетчики событий и схему считывания данных;
- регистр конфигурации должен задавать алгоритм работы схемы локальной цифровой логики, режимы работы аналоговых блоков, а также локальные параметры компенсационных корректировок;
- блок периферийной электроники должен обеспечивать проверку работоспособности посредством встроенных схем калибровки, подстройки и тестирования (аналог/цифра), обеспечивать ввод тестовых аналоговых и цифровых сигналов и вывод обработанных элементами тракта аналоговых и цифровых сигналов;
- дополнительные функции блока периферийной электроники, протоколы взаимодействия с внешней электроникой определяются в ходе выполнения разработки;
- максимальное тепловыделение отдельного пикселя определяется Исполнителем в процессе выполнения НИОКР и согласовывается с Заказчиком;
- общее пиковое тепловыделение не должно приводить к перегреву, препятствующему функционированию прибора, точные значения определяются Исполнителем в процессе выполнения НИОКР и согласовываются с Заказчиком.

5.3.2.1. Технические требования к функциональным блокам ЭО МГПД

5.3.2.1.1. Технические требования к функциональным элементам блока регулярной матрицы пикселей

5.3.2.1.1.1. Зарядочувствительный предусилитель

- должен обеспечивать усиление входных зарядовых импульсов и их конвертацию в выходное сигнальное прямо пропорциональное входному зарядовому импульсу напряжение.
- должен содержать механизм разрядки ёмкости обратной связи. Способ разрядки ёмкости обратной связи определяется Исполнителем в ходе выполнения НИОКР.
- должен иметь схему компенсации темнового тока чувствительного элемента (по типу схемы Кrummenahera либо аналогичной по функционалу).
- величины компенсируемых темновых токов – согласно п.8 таблицы 1.
- должно обеспечиваться управление постоянной времени обратной связи ЗЧУ с помощью изменения тока схемы компенсации темнового тока.
- должен иметь дискретно изменяемую ёмкость обратной связи, определяющую коэффициент усиления ЗЧУ. Величины ёмкостей обратной связи определяются в ходе выполнения проектирования.
- конфигурация настроек ЗЧУ должна обеспечивать работу схемы в четырех диапазонах регистрируемых зарядов согласно пункту 7 таблицы 1.

5.3.2.1.1.2. Усилитель-формирователь

- должен обеспечивать усиление сигнала, поступающего с выхода ЗЧУ и формирование на выходе квазигауссового импульса напряжения
- должен обеспечивать настраиваемое время формирования импульса напряжения согласно пункту 9 таблицы 1.
- структура фильтра усилителя-формирователя определяется в процессе проектирования
- отклонение усиления от линейной характеристики при различных значениях входного сигнала определяется Исполнителем в ходе выполнения НИОКР и согласовывается с Заказчиком.

5.3.2.1.1.3. Схема компараторов

- схема компараторов должна обеспечивать дискриминацию фотонов по энергиям для отделения полезных сигналов от шумов, флуоресцентных линий, а также для разделения фотонных событий по энергии.

- схема компараторов состоит из трёх или четырёх аналоговых компараторов. Количество компараторов в схеме компараторов определяется Исполнителем в ходе выполнения НИОКР и согласовывается с Заказчиком.

- каждый компаратор должен обеспечивать формирование логического сигнала при превышении сигнала с выхода УФ значения заданного порогового уровня.

- величина порогового уровня дискриминации каждого n-ого компаратора (во всех пикселях) должна задаваться независимо общими для всех пикселей периферийными ЦАП. Разрядность ЦАП – согласно пункту 10 таблицы 1. Должна обеспечиваться дискретность установки порогов, соответствующая изменению сигнала на выходе УФ при изменении входного сигнала ЗЧУ менее чем на 0,1% от максимума выбранного диапазона зарядов.

- для компенсации технологических разбросов параметров аналоговых компонентов и выравнивания порогов дискриминации в схеме компараторов должна быть предусмотрена локальная подстройка величины порога дискриминации через индивидуальные ЦАП. Разрядность ЦАП – согласно пункту 11 таблицы 1. Отклонение порогов после калибровки не должно превышать 0,1% от полного диапазона зарядов по изменению сигнала на входе ЗЧУ.

5.3.2.1.1.4. Схема локальной цифровой логики

- схема локальной цифровой логики проводит анализ трех или четырех логических сигналов с выходов компараторов и генерирует соответствующие счетные импульсы по трем или четырем каналам;

- режим работы схемы локальной цифровой логики задается статусными битами конфигурационного регистра;

- схема локальной цифровой логики должна обеспечивать режимы работы: с режекцией наложений и без режекции наложений. При работе в режиме режекции наложений схема локальной цифровой логики должна обеспечивать регистрацию только первого импульса компаратора в массиве наложенных импульсов;

- схема локальной цифровой логики должна обеспечивать режимы работы: с оконной дискриминацией и без оконной дискриминации. При работе в режиме оконной дискриминации в счётчик соответствующего компаратора должен попадать импульс, амплитуда которого превысила значение порога дискриминации этого компаратора и не превысила значение порога/порогов дискриминации большего/больших по величине дискриминации компараторов;

- состав схемы локальной цифровой логики и алгоритмы её работы определяются Исполнителем при выполнении НИОКР и согласовываются с Заказчиком.

5.3.2.1.1.5. Схема счетчиков

- схема счетчиков должна обеспечивать подсчет логических сигналов с выхода схемы локальной цифровой логики по всем каналам в соответствии с выбранным пользователем режимом работы схемы локальной цифровой логики;

- количество счётчиков на счётный канал – согласно пункту 12 таблицы 1;

- разрядность счётчиков – согласно пункту 13 таблицы 1;

- счётчик должен обеспечивать счёт при всех временах формирования УФ;

- схема счётчиков должна обеспечивать непрерывный счёт логических импульсов.

Способы и методы достижения непрерывности счёта определяются и/или разрабатываются Исполнителем в ходе выполнения НИОКР;

- должна обеспечиваться возможность считывания и передачи только младших 8 разрядов счётчиков для уменьшения разрядности выходных данных;
- должна обеспечиваться защита от переполнения;
- необходимость применения методов помехоустойчивости для сохранения работоспособности работы счётчиков определяется Исполнителем в ходе выполнения НИОКР и согласовывается с Заказчиком;
- количество включаемых счётчиков для каждого режима работы схемы локальной цифровой логики и каждого количества применяемых компараторов, алгоритмы и протоколы разрабатываются Исполнителем в ходе выполнения НИОКР и согласуются с Заказчиком.

5.3.2.1.1.6. Регистр конфигурации

Регистр конфигурации должен управлять индивидуальными параметрами работы аналоговых блоков: ЗЧУ и УФ, компенсационных корректировок, цифровой логики, режимов работы через передачу конфигурационных данных пикселям ЭО МГПД.

Регистр конфигурации должен содержать биты для настройки:

- Режим усиления ЗЧУ (ёмкости обратной связи ЗЧУ);
- Полярность сигналов чувствительного элемента;
- Длительность формирования импульсов УФ;
- Выбор количества применяемых компараторов;
- Режим работы режекции наложений и оконной дискриминации;
- Корректировка значений порогов дискриминаторов;
- Значение индивидуальных ЦАП для каждого компаратора;
- Режим счёта: непрерывный/покадровый;
- Режим использования и параметры тестовых импульсов;
- Используемый режим счёта и передачи данных: младшие 8 разрядов или полные 16 бит;
- Выбор источника опорного напряжения: внутренний/внешний;
- Выбор режимов тестирования и диагностики с внешними источниками;

Протоколы работы регистра конфигурации, а также дополнительные биты настройки определяются и разрабатываются Исполнителем в ходе выполнения НИОКР, согласовываются с Заказчиком.

5.3.2.1.2. Технические требования к функциональным элементам блока периферийной электроники

5.3.2.1.2.1. Блок управления питанием

- блок управления питанием должен обеспечивать электропитанием элементы ЭО МГПД;
- блок управления питанием должен использовать отдельные источники питания для аналоговой и цифровой частей. Состав и конфигурации доменов питания, схемы и функционирование генераторов питания, величины питающих напряжений определяются и разрабатываются Исполнителем в ходе выполнения НИОКР и согласовываются с Заказчиком;
- блок управления питанием должен использовать встроенные стабилизаторы напряжения и фильтры для уменьшения пульсаций и шумов, снижая влияние цифровых переключений на аналоговый сигнал. Схемы стабилизации и фильтрации, их параметры разрабатываются Исполнителем в процессе выполнения НИОКР и согласовываются с Заказчиком;
- блок управления питанием должен оптимизировать энергопотребление в зависимости от режима работы чипа, иметь встроенные датчики напряжения и тока для отслеживания режимов работы, а также иметь опцию автоматического отключения при

перегрузке или перегреве. Методы оптимизации энергопотребления чипа, типы датчиков напряжения и тока и их положение, протокол автоматического отключения при перегрузке или перегреве определяется Исполнителем в ходе выполнения НИОКР и согласуется с Заказчиком;

– максимальное тепловыделение отдельного пикселя и всей матрицы в различных режимах работы определяется Исполнителем в ходе выполнения НИОКР и согласуется с Заказчиком.

5.3.2.1.2.2. Блок управления и синхронизации сигналов и команд

Блок управления сигналами и командами должен обеспечивать синхронизацию, сбор и передачу сигналов счётчиков пикселей на внешнюю шину. Способы и протоколы синхронизации и сбора сигналов, способы и протоколы передачи данных, взаимодействие между чипами в стеке определяются Исполнителем и разрабатываются в ходе выполнения НИОКР и согласовываются с Заказчиком.

Блок управления сигналами и командами должен обеспечивать синхронизацию и передачу команд пикселям. Способы и протоколы передачи команд, состав команд, приоритеты команд определяются и разрабатываются Исполнителем в ходе выполнения НИОКР и согласовываются с Заказчиком.

5.3.2.1.2.3. Блок конфигурации глобальных параметров

Блок конфигурации глобальных параметров должен обеспечивать передачу глобальных конфигурационных команд к регистрам конфигурации пикселей. Способ, протокол передачи конфигурационных команд, состав и приоритеты конфигурационных команд разрабатываются Исполнителем в ходе выполнения НИОКР и согласовываются с Заказчиком.

Блок конфигурации глобальных параметров должен содержать периферийные ЦАП для общих пороговых напряжений компараторов, токов смещения, управления тестовыми импульсами.

Состав глобальных параметров для всех пикселей:

- Режим усиления ЗЧУ (ёмкости обратной связи ЗЧУ);
- Полярность сигналов чувствительного элемента;
- Длительность формирования импульсов УФ;
- Выбор количества применяемых компараторов;
- Режим работы режекции наложений и оконной дискриминации;
- Режим счёта;
- Режим использования и параметры тестовых импульсов;
- Используемый режим счёта и передачи данных: младшие 8 разрядов/полные 16 бит;
- Выбор источника опорного напряжения: внутренний/внешний;
- Выбор режимов тестирования и диагностики с внешними источниками.

Протоколы работы блока конфигурации глобальных параметров определяются и разрабатываются Исполнителем в ходе выполнения НИОКР, согласовываются с Заказчиком.

Дополнительные глобальные параметры определяются Исполнителем в ходе выполнения НИОКР и согласовываются с Заказчиком.

5.3.2.1.2.4. Блок конфигурации и калибровки локальных параметров

Блок конфигурации и калибровки локальных параметров должен обеспечивать калибровку и подстройку элементов и индивидуальных ЦАП каждого пикселя для учёта

разброса технологических параметров. Конфигурации, способы и методы генерации и анализа, калибровки, подстройки, тестирования и диагностики определяются Исполнителем в ходе выполнения НИОКР и согласовываются с Заказчиком.

Блок конфигурации и калибровки локальных параметров должен обеспечивать передачу локальных индивидуальных конфигурационных команд к регистрам конфигурации пикселей. Способ, протокол передачи конфигурационных команд, состав и приоритеты конфигурационных команд разрабатываются Исполнителем в ходе выполнения НИОКР и согласовываются с Заказчиком.

5.3.2.1.2.5. Блок диагностики и тестирования

К блоку диагностики и тестирования предъявляются следующие требования:

- блок диагностики и тестирования должен обеспечивать ввод тестовых аналоговых и цифровых сигналов через специализированные электроды для анализа работоспособности отдельных схем выбранного пользователем пикселя. Блок диагностики и тестирования должен обеспечивать выбор пикселя для ввода тестовых сигналов и отдельные схемы этого пикселя для ввода сигналов. Состав тестовых сигналов, анализируемые элементы, способы переключения и передачи сигналов к пикселям разрабатывается Исполнителем в ходе выполнения НИОКР и согласовываются с Заказчиком;

- блок диагностики и тестирования должен обеспечивать вывод обработанных элементами трактов выбранного пользователем пикселя аналоговых и цифровых сигналов на специализированные электроды для анализа работоспособности отдельных схем пикселей. Блок диагностики и тестирования должен обеспечивать выбор пикселя для вывода обработанных сигналов и отдельные схемы этого пикселя для вывода обработанных сигналов. Состав выводимых сигналов, анализируемые элементы, способы переключения и передачи сигналов от пикселей разрабатываются Исполнителем в ходе выполнения НИОКР и согласовываются с Заказчиком;

- блок диагностики и тестирования должен обеспечивать подачу на каждый пиксель сигнала от генератора импульсов стабильной амплитуды через интегрированный в ЭО МГПД калибровочный конденсатор и отдельный вывод сигналов от отдельных узлов и/или схем выбранного пользователем пикселя на специализированные электроды. Выводные линии сигналов должны обеспечивать подключение нагрузки в 50 Ом (осциллограф). Выбор пикселя, на который подается сигнал от генератора и с которого снимаются сигналы отдельных схем выбранного пользователем пикселя должны выбираться внешней командой пользователя. Количество и ёмкость калибровочных конденсаторов определяется Исполнителем в ходе выполнения НИОКР и согласуется с Заказчиком;

- блок диагностики и тестирования должен содержать схему измерения температуры чипа-мультимплексора и передавать данные о температуре в аналоговом виде на внешний специализированный электрод. Схема мониторинга температуры чипа, её параметры, функционал, положение на чипе разрабатываются Исполнителем в ходе выполнения НИОКР и согласовываются с Заказчиком.

5.3.3. Требования к макетам МГПД

Конфигурации и параметры макетов определяются Исполнителем. Параметры и конфигурации макетов МГПД должны быть достаточными для отработки схемотехнических решений, технологии производства, корпусирования, разводки проводников и прочих технических решений для обеспечения возможности прототипирования конструкции в целом и отдельных блоков ЭО МГПД, формирования электрических соединений с использованием термокомпрессионной и/или ультразвуковой

микросварки (технология проволочной разварки), отладки режимов и протоколов взаимодействия ЭО МГПД с внешней электроникой.

5.3.4. Требования к оснастке для ЭО МГПД

Оснастка для ЭО МГПД должна обеспечивать возможность проведения комплексной проверки работоспособности и производительности ЭО МГПД и его отдельных элементов, тестирование ключевых параметров, выявление дефектов и анализ устойчивости к внешним воздействиям, эмуляцию различных режимов работы, а также сбора и обработки данных.

Конфигурация, структура, протоколы, конструкции и состав оснастки для ЭО МГПД разрабатываются Исполнителем в ходе выполнения НИОКР и согласовываются с Заказчиком.

5.4. Требования надёжности

Срок службы ЭО МГПД и оснастки ЭО МГПД составляет не менее 12 месяцев с даты приемки результатов последнего этапа настоящей НИОКР.

5.5. Конструктивные требования

Требования к габаритным размерам и конструкции МГПД – согласно п. 3 таблицы 1.

5.6. Требования к эксплуатации и хранению, удобству технического обслуживания и ремонта

5.6.1. Требования по стойкости к внешним воздействиям и условиям эксплуатации

ЭО МГПД и оснастка для ЭО МГПД должны сохранять работоспособность при эксплуатации в следующих условиях:

- температура воздуха в диапазоне от 12 до 35°C;
- относительная влажность воздуха в диапазоне от 0 до 70%;
- атмосферное давление в диапазоне от $8,6 \cdot 10^4$ до $10,6 \cdot 10^4$ Па (в диапазоне от 645 до 795 мм рт. ст.).

5.6.2. Требования к эксплуатации, хранению и техническому обслуживанию

ЭО МГПД и оснастка для ЭО МГПД должны сохранять эксплуатационные характеристики при хранении в отапливаемых складских помещениях не менее одного года при температуре в диапазоне от 5°C до 35°C и относительной влажности воздуха до 98 % (за исключением стандартных изделий и расходных материалов, срок хранения которых определяется по их паспортным данным), не допуская выпадения росы.

Техническое обслуживание МГПД не предусмотрено.

5.7. Требования по транспортированию

Транспортирование ЭО МГПД и оснастки для ЭО МГПД в таре должно допускаться всеми видами транспорта при температуре окружающего воздуха от плюс 12 °C до плюс 35 °C, относительной влажности воздуха до 98 % и атмосферном давлении от 75 до 115 кПа.

5.8. Требования безопасности

Общие требования электробезопасности должны соответствовать ГОСТ 12.1.019-2017 (Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.).

Общие требования пожаробезопасности должны соответствовать ГОСТ 12.1.004-91 (Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.).

6. Техничко-экономические требования

На первом этапе выполнения НИОКР Исполнителем разрабатывается «Ведомость покупных изделий, комплектующих, материалов, спецоборудования для выполнения НИОКР», содержащая полную информацию о приобретаемых изделиях, комплектующих, материалах и спецоборудовании, включая их технические характеристики, обоснование стоимости и предполагаемых поставщиках.

Данная «Ведомость покупных изделий, комплектующих, материалов, спецоборудования для выполнения НИОКР» может корректироваться по согласованию Заказчика и Исполнителя.

7. Требования к видам обеспечения

7.1. Требования к метрологическому обеспечению

Требования к метрологическому обеспечению к МГПД не предъявляются.

7.2. Требования к диагностическому обеспечению

Требования к диагностическому обеспечению к МГПД не предъявляются.

8. Требования к материалам

8.1. Количество и ассортимент материалов, используемых для МГПД, подлежит согласованию в процессе выполнения работ.

Номенклатура изделий межотраслевого применения, используемых при выполнении работ, должна быть предельно унифицированной.

Изделия межотраслевого применения должны быть изготовлены, в первую очередь, на предприятиях Российской Федерации.

Применяемые в конструкции экспериментального образца материалы не должны вызывать деградацию параметров ЭО МГПД в условиях длительного воздействия рентгеновского излучения.

9. Требования к упаковке, маркировке и транспортировке

9.1. Упаковка должна обеспечивать транспортирование ЭО МГПД без повреждений всеми видами транспорта в соответствии с п. 5.7 настоящего технического задания.

9.2. Требования по маркировке не предъявляются.

10. Требования защиты государственной тайны при выполнении НИОКР

Требования по обеспечению защиты государственной тайны при выполнении НИОКР не предъявляются.

11. Требования к наличию лицензии

Требования к наличию лицензий не предъявляются.