

Статус ВВС SPD в МИФИ: Тесты и измерения

А. М. Захаров*
НИЯУ МИФИ

14.10.25
Москва

*amzakharov1@mephi.ru

Рентгеновский сканер

MEPHI-VBLHE COLLABORATIVE
WORKSHOP 2025

Координатный столик на основе рентгеновской трубки включает в себя:

- **AMPTEK Mini-X X-ray tube**
Ag мишень, 50 kV / 75 μ A, 2 мм коллиматор (5° X-ray конус) на высоте ~ 3.5 мм от тайла
- **NEMA 17 шаговый двигатель**
Угловой шаг 1.8°, около 20 мкм разрешение (X и Y оси, механическое)
- **Arduino and CNC Shield**
Микроконтроллерная плата для автоматизации движения
- **CAEN DT5202**
Источник питания A7585D с разрешением 1 мкА
- **Свинцовая защита**
- **Светоизолирующий корпус**

Рис. 1 – Спектр Mini-X X-Ray

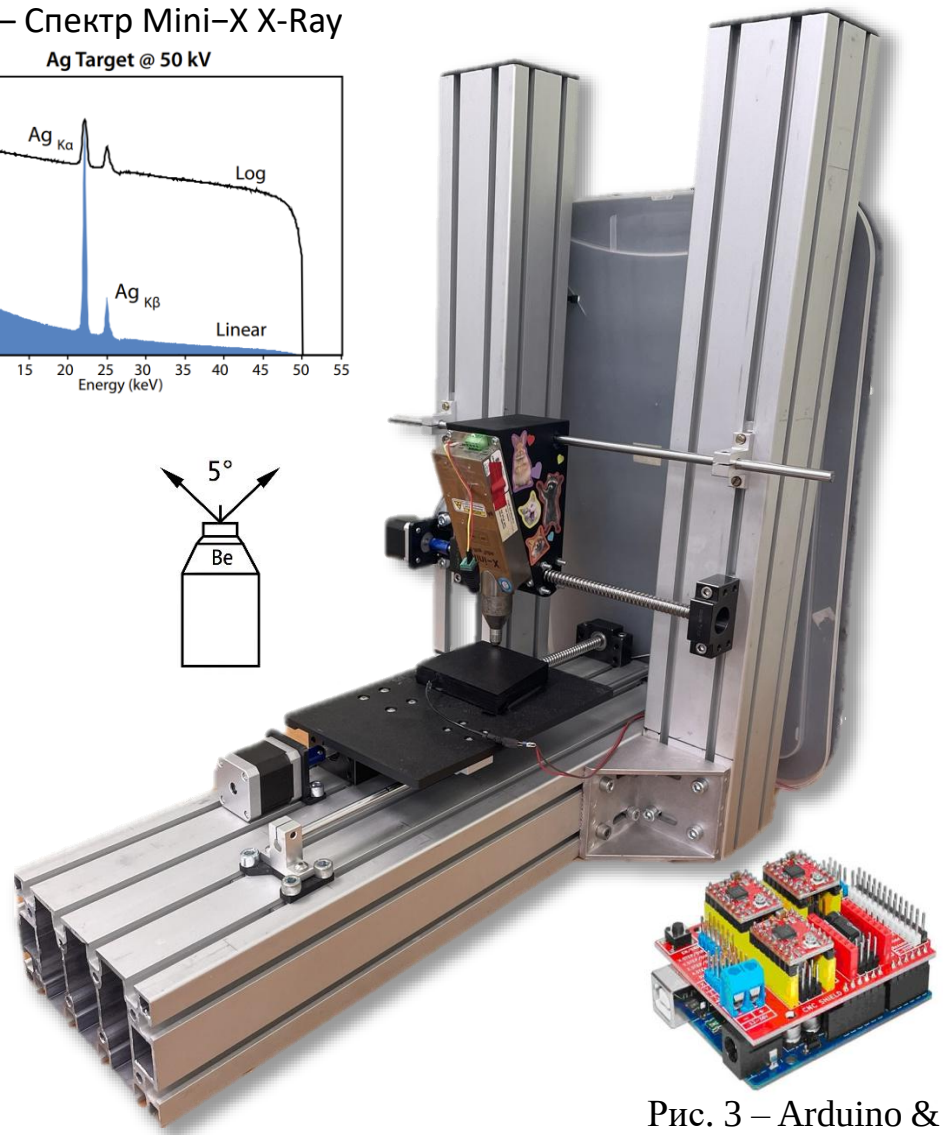
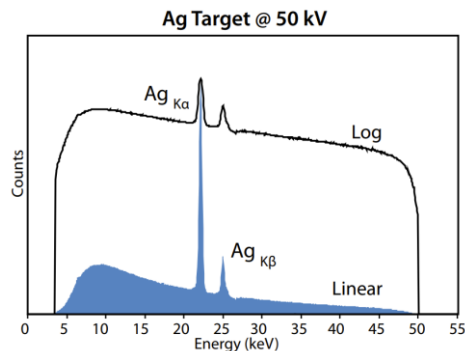


Рис. 3 – Arduino &
CNC shield

Рис. 2 – Экспериментальная установка

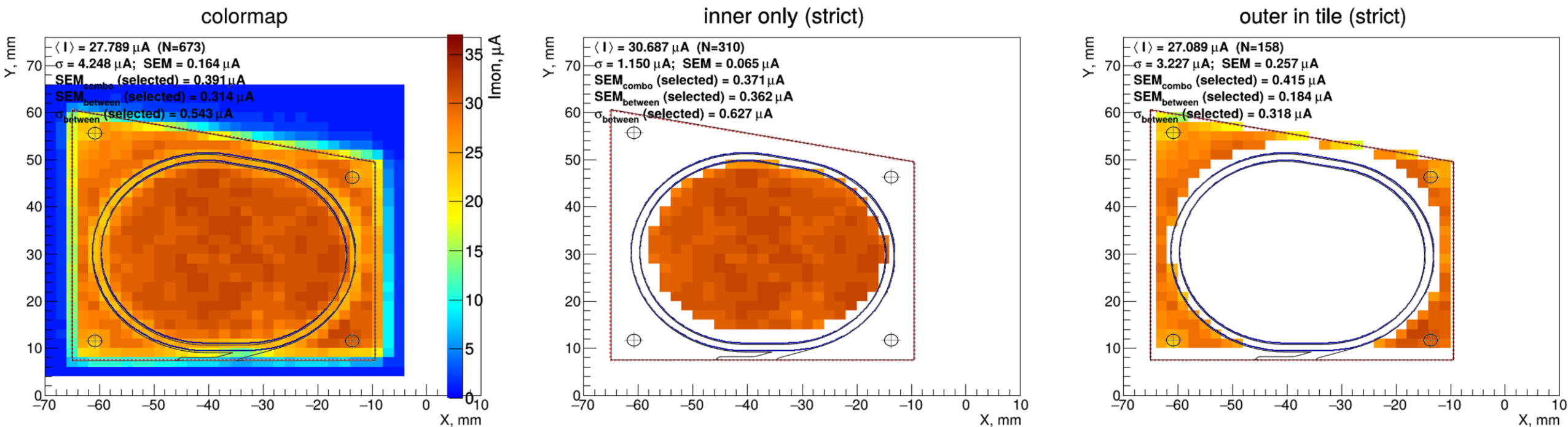


Рис. 1 – Пример программного обеспечения

- ПО примерным образом описывает «канавку» с волокном, и выделяют интересующие нас регионы (ROI)
- В двух выделенных областях – внешней и внутренней – рассчитывается СКО, которое сигнализирует о скрытых дефектах и вносит вклад в итоговую погрешность

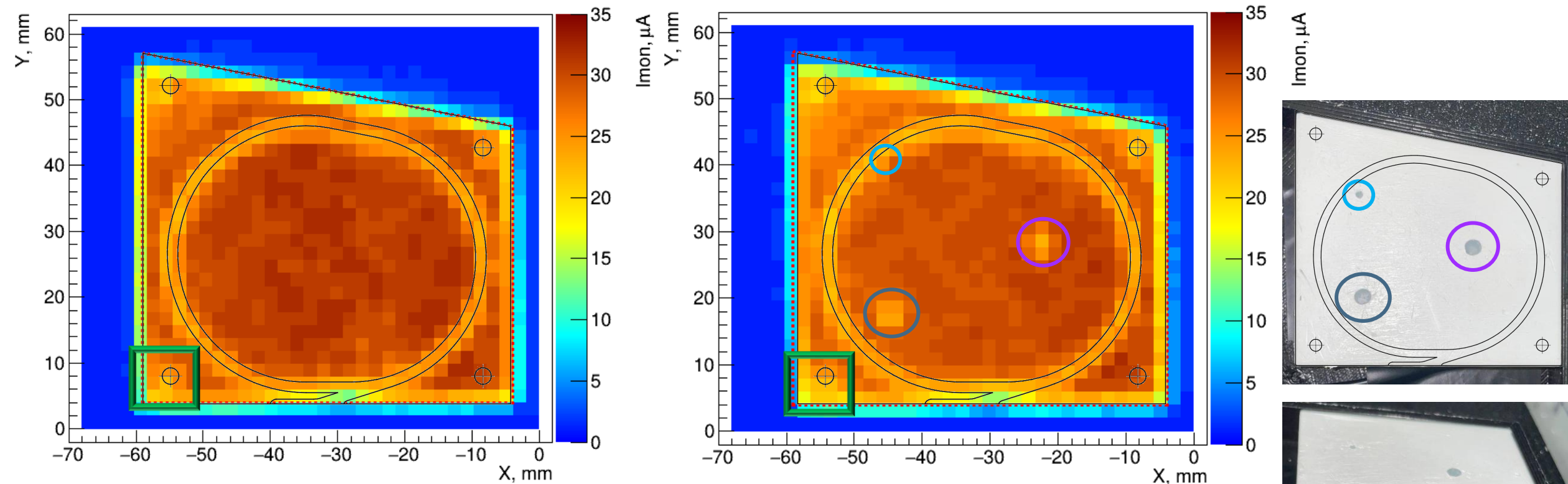


Рис. 4 – Сравнение откликов до и после нанесения механических дефектов (СКТН Е)

- Отклик детектора также измерялся до и после нанесения дефектов (три отверстия диаметром 3 мм и одно отверстие 1 мм при одинаковой глубине 5 мм)
- Стандартное отклонение в центральной области (внутри петли WLS) увеличивается с 1,15 мкА в образце без дефектов до 1,45 мкА после введения дефектов.
- Источник питания А7585D позволяет однозначно устанавливать факт наличия или отсутствия только крупных дефектов

Метод 2: Производственные дефекты

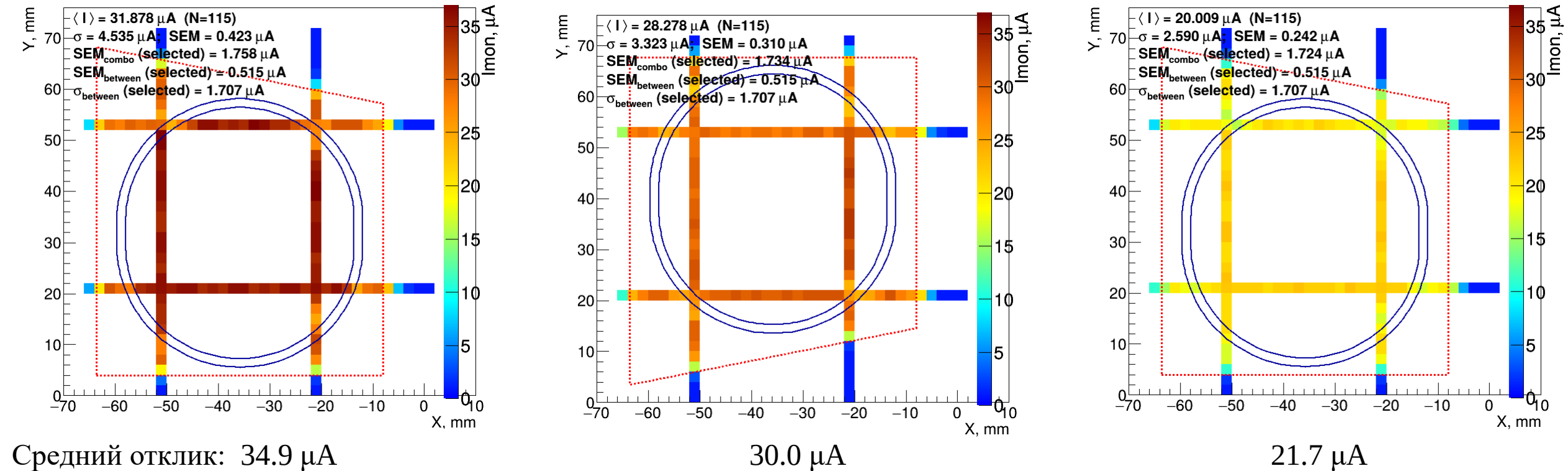


Рис. 5 – Сравнение откликов с тайлов с производственным дефектом (отсутствие светоотражающей краски и клея)

- Тепловые карты отклика были собраны для двух образцов: с оптическим клеем СКТН Б, без светоотражающего покрытия и без клея – средний отклик в центральной области сцинтиллятора отличается на 38%. В случае аномального радиационного повреждения детектора он по прежнему будет выполнять свои функции.
- Первоначальный метод информативен и точен, однако снятие полной карты занимает слишком много времени
- Был предложен более быстрый, но менее подробный метод на основе сетки (на этапе разработки)

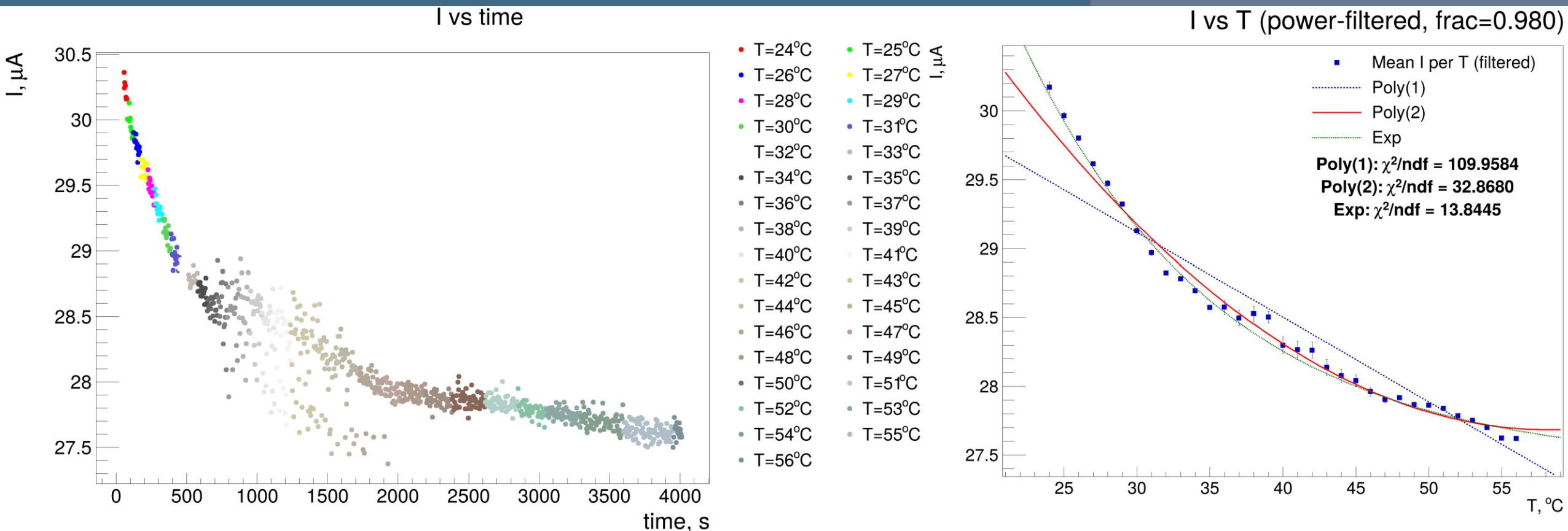


Рис. 6 – Зависимость тока фотоумножителя от времени работы трубки и ее температуры

- Рентгеновской трубкой облучалась одна точка сцинтиллятора на протяжении часа;
- Собирались данные по отклику детектора, мощности и температуре трубки
- Построены распределения зависимости тока фотоумножителя от времени и от температуры (для одной температуры найдено среднее значение отклика + выкинуты значения с дрейфом мощности)
- За 1 час температура изменилась на 20 °C и ток уменьшился на 3 μA

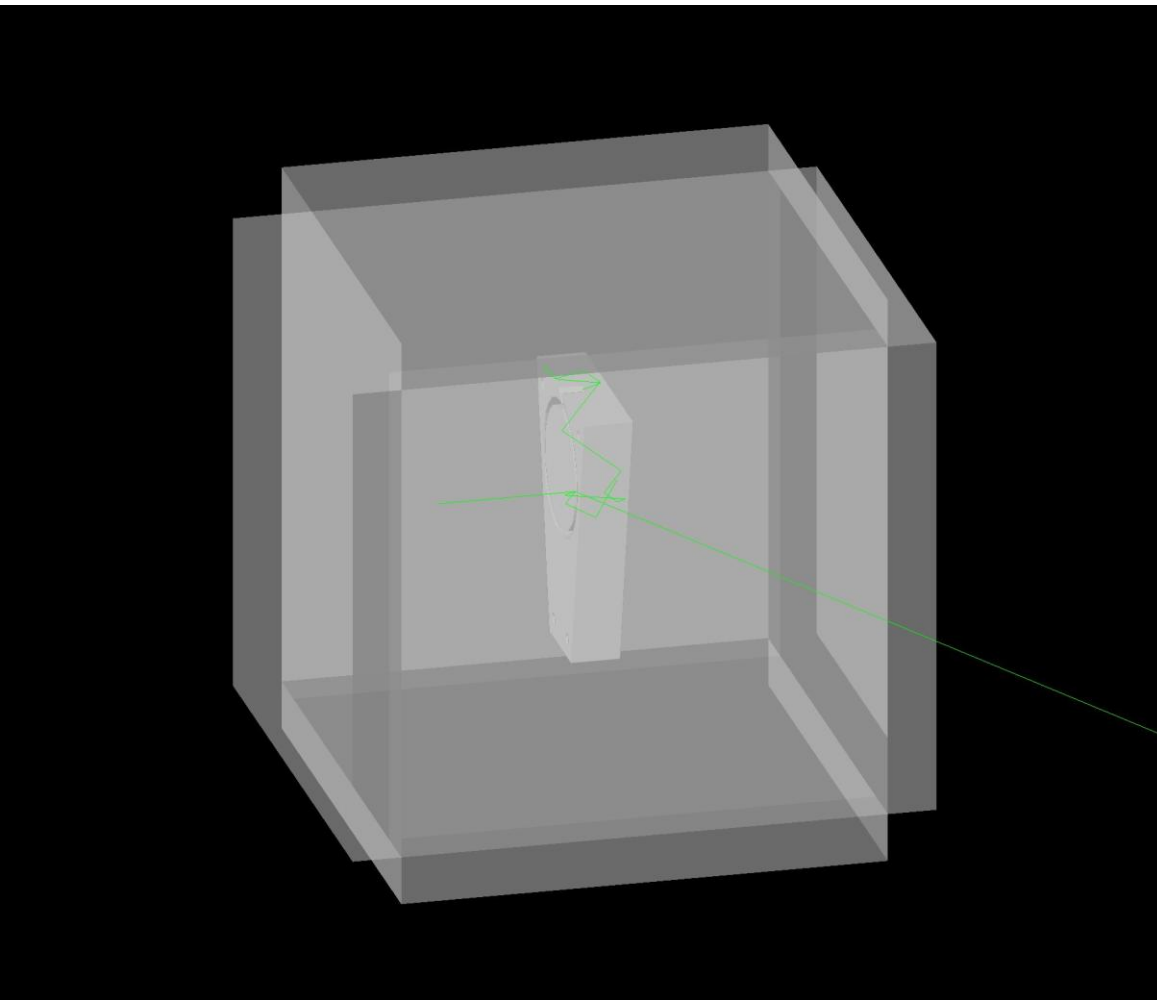


Рис. 7 – Модель тайла в GEANT4,
окруженная детекторами

- В GEANT4 была построена модель сцинтиллятора, облучаемая рентгеновскими квантами (до 22 КэВ, в будущем будет внедрен спектр трубки)
- Многократное перерассеяние убивает локальность облучения
- Сцинтиллятор окружен чувствительными детекторами
- Задняя панель детектирует 72% квантов, все остальные грани – до 13%
- Т.о. около 85% квантов начального потока, несмотря на перерассеяние, покидают детектор и могут быть вторичными источниками
- Этот эффект, в том числе, может вносить наибольший вклад в разность тока центральной и внешней областей

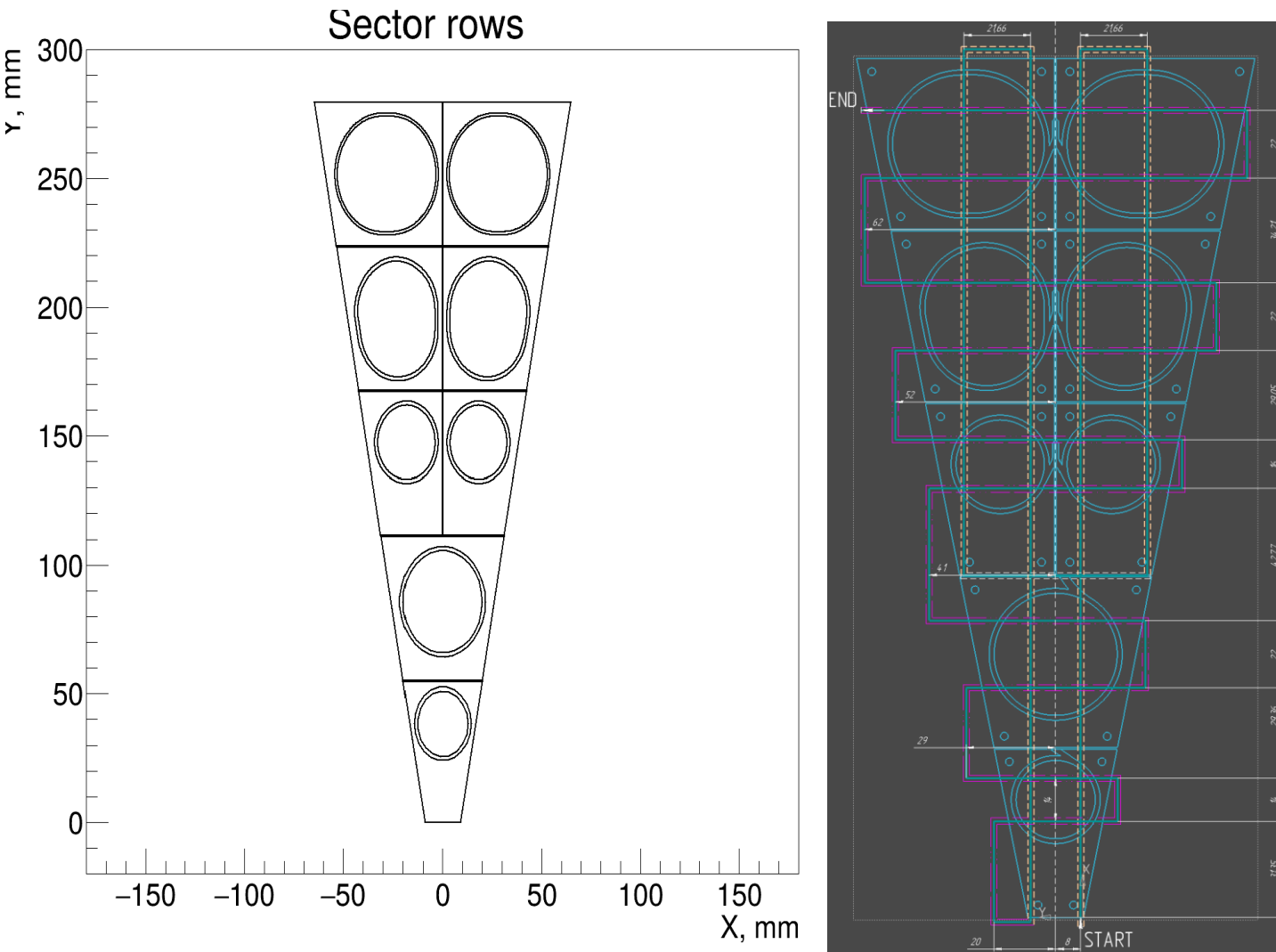


Рис. 7 – Модель сектора в ПО без внедренного ROI
и один из контуров обхода

В планах:

- Сборка сектора (ongoing)
- Учет температурных корреляций
- Проверка наличия перерасеяний из тайла в тайл
- Подавление возможных «обратных» и боковых рассеяний
- Разработка наименее времезатратных методов обхода и сбора сигнала с сектора
- Разработка программного обеспечения (в том числе online)

- Разработаны платы для размещения и подключения SIPM Hamamatsu S14160-1310PS на 8 и 12 тайлов с возможностью термокомпенсации температурных отклонений детекторов.
- Подключение реализовано с помощью разъема ВН-30-2.

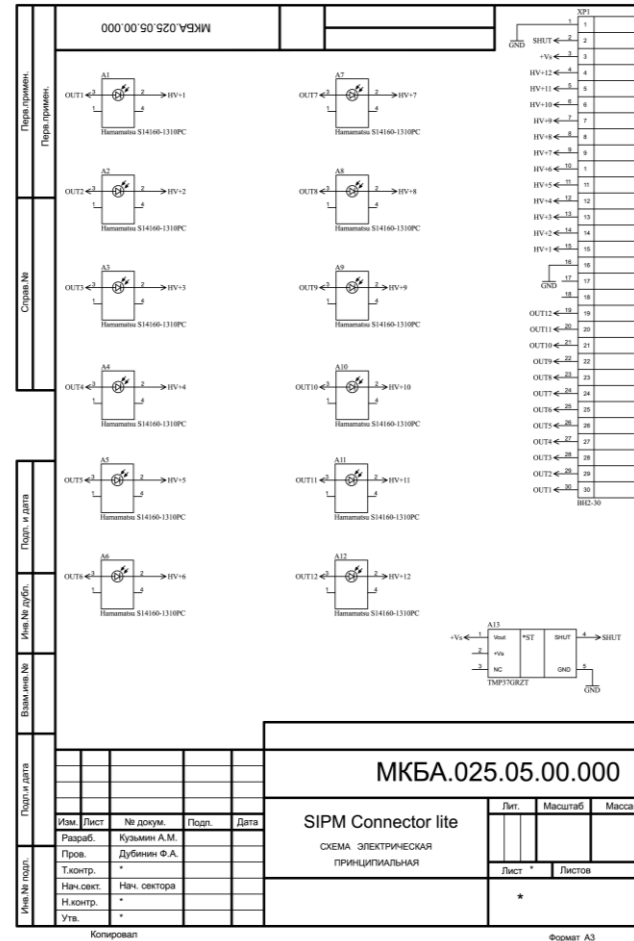


Рис. 8 - Схема
принципиальная на 12
тайлов

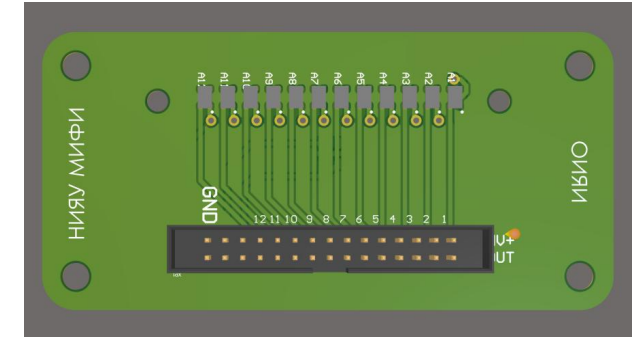


Рис. 9а - Схематическое
изображение варианта на 12
тайлов

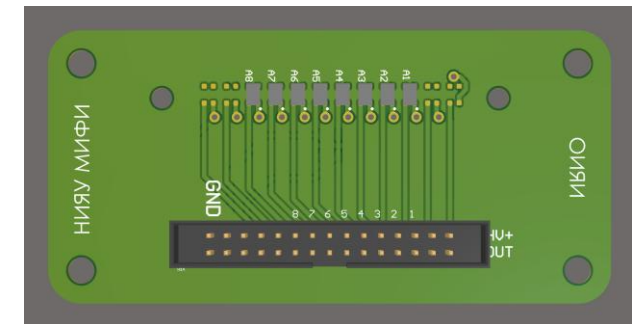


Рис. 9б - Схематическое
изображение варианта на 8
тайлов

Термокомпенсация

- Hamamatsu S14160-1310PS весьма чувствительны к изменению рабочей температуры, поэтому для проведения корректных измерений температурные отклонения необходимо учитывать и компенсировать.
- CAEN DT5202 поддерживает 2 типа термодатчиков для внесения температурных поправок: LM94021 и TMP37
- Для реализации на плате был выбран TMP37 в виду доступности документации и наличия микросхемы в розничной продаже.
- Исследование CAEN A5251 позволило установить схему подключения термодатчика к FERS.

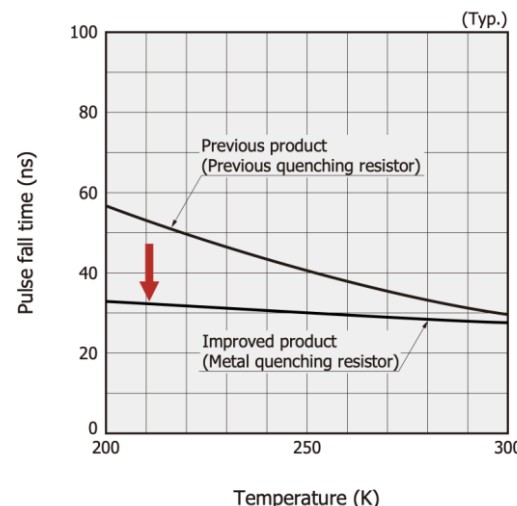


Рис. 10а - Влияние температуры на время среза

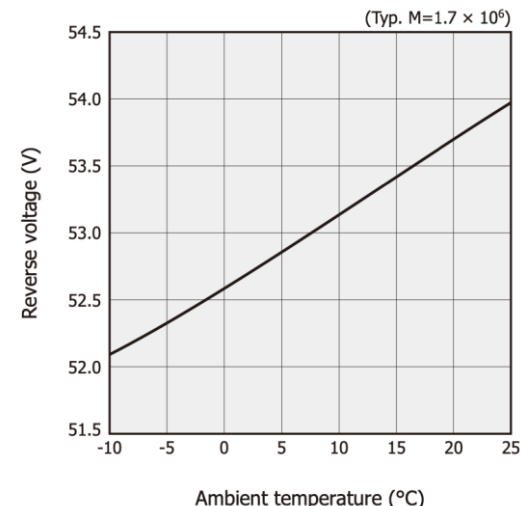


Рис. 10б - Влияние температуры на напряжение

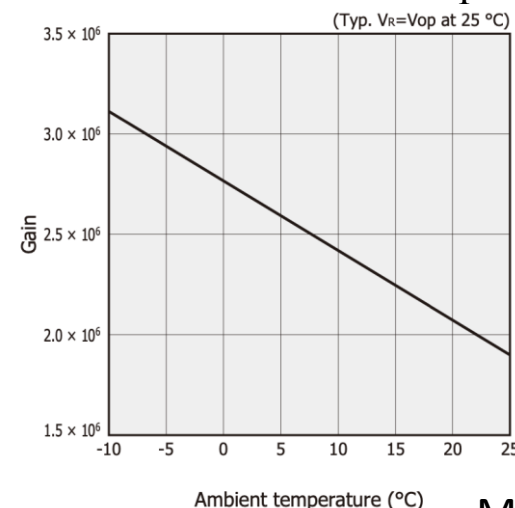


Рис. 10в - Влияние температуры на усиление

More details - @Artem

Расчет тепловыделения

Тепловыделение SIPM Hamamatsu S14160-1310PS - Темновой ток:

$$P_d = \underset{\substack{\text{typical} \\ \text{voltage, } V}}{43} \cdot \underset{\substack{\text{typical} \\ \text{count rate, Hz}}}{120 \cdot 10^3} \cdot \underset{\substack{\text{typical gain}}}{1,8 \cdot 10^5} \cdot \underset{\substack{\text{elementary} \\ \text{charge, } C}}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 0,15 \mu W$$

Таким образом, нет потребности в охлаждении SIPM, а основные температурные погрешности вносит среда. Поэтому для внесения поправок достаточно одного термодатчика на плате.

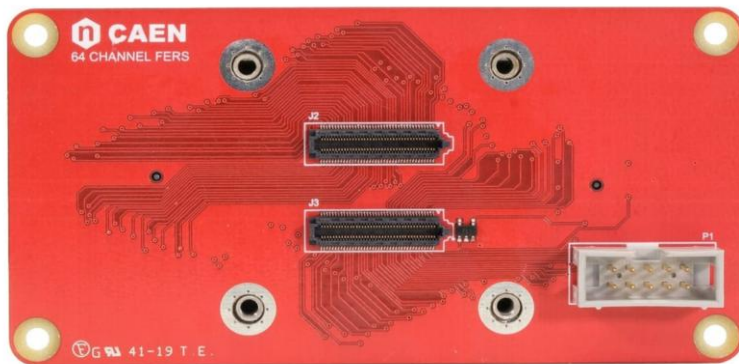


Рис. 11а - Оригинальный модуль
CAEN A5251

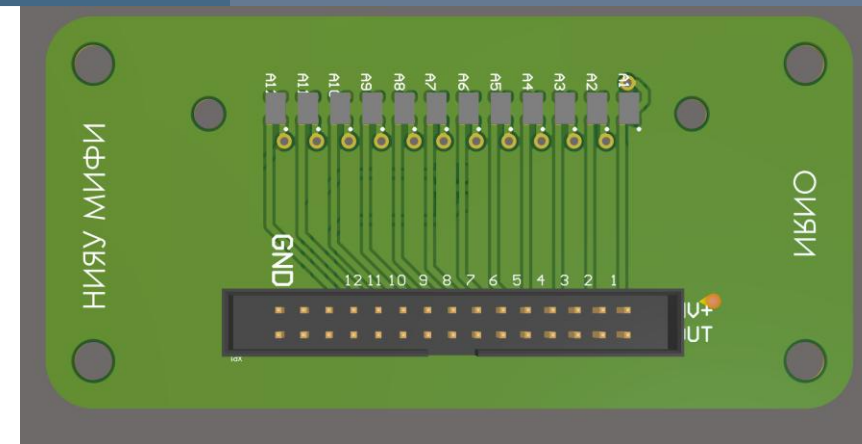


Рис. 11б - Разработанный модуль
спереди

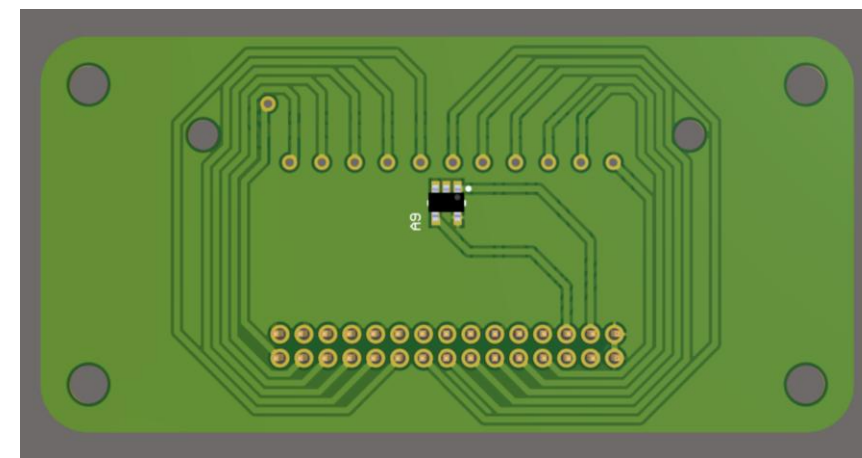
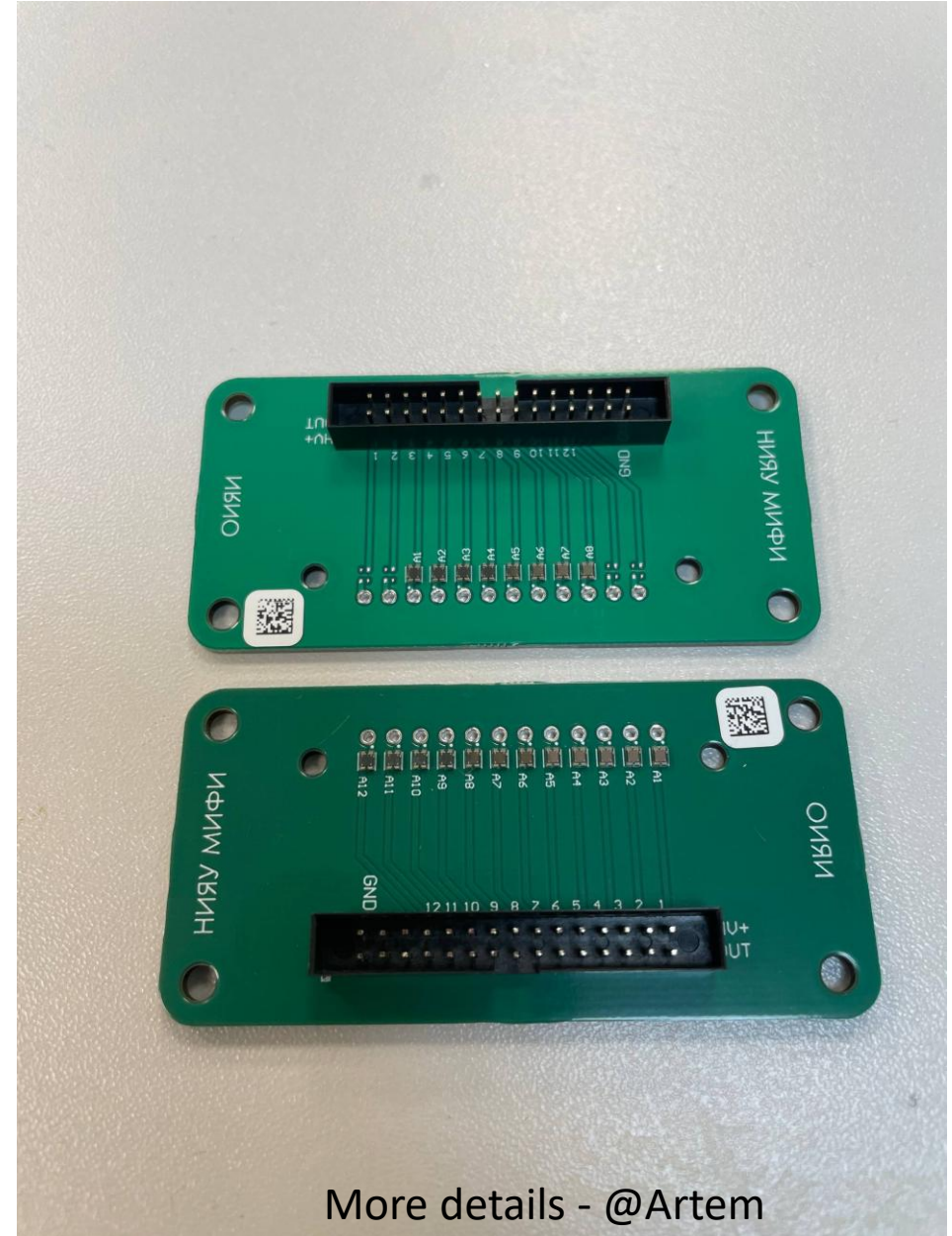


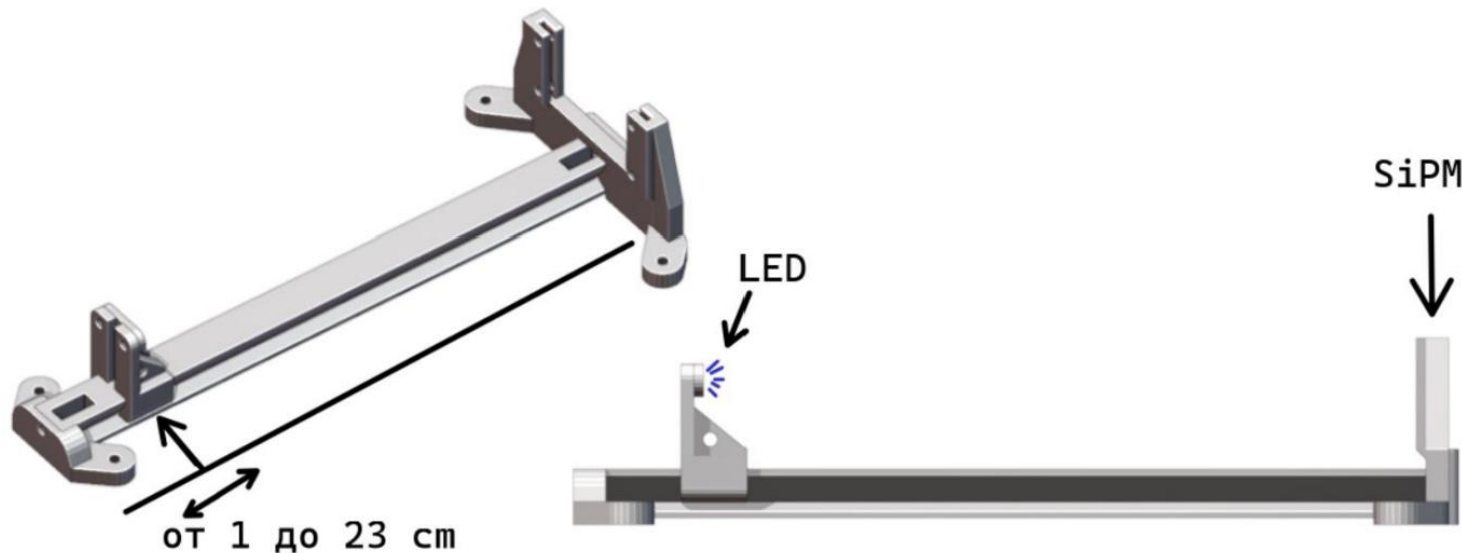
Рис. 11в - Разработанный модуль
сзади

More details - @Artem

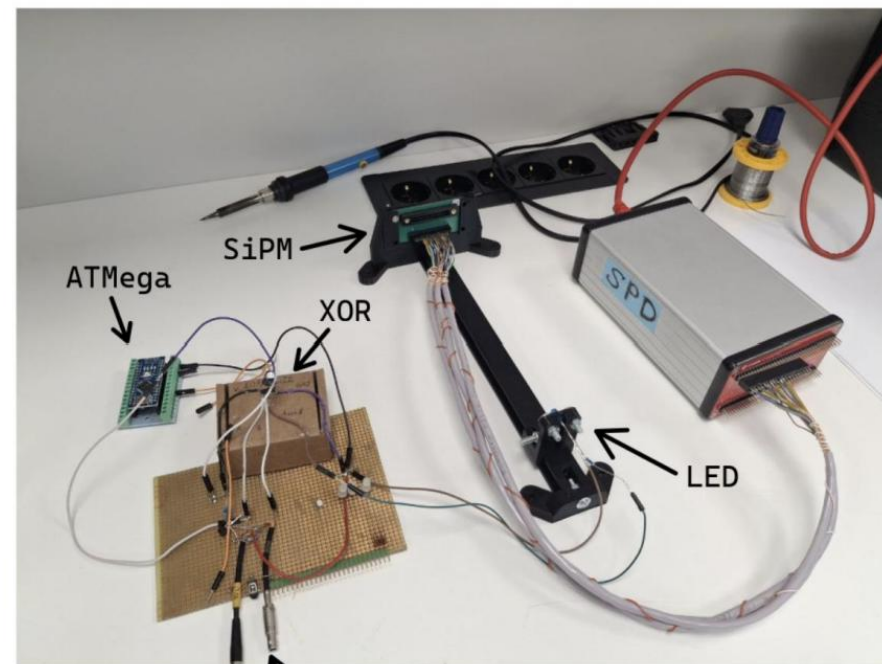
Были разработаны и уже
изготовлены платы на основе
Onsemi MicroFC-10035 в
вариантах на 8 и 12 тайлов.



1. Был разработан стенд для тестирования плат SiPM с возможностью настраивать расстояние от платы до светодиода:

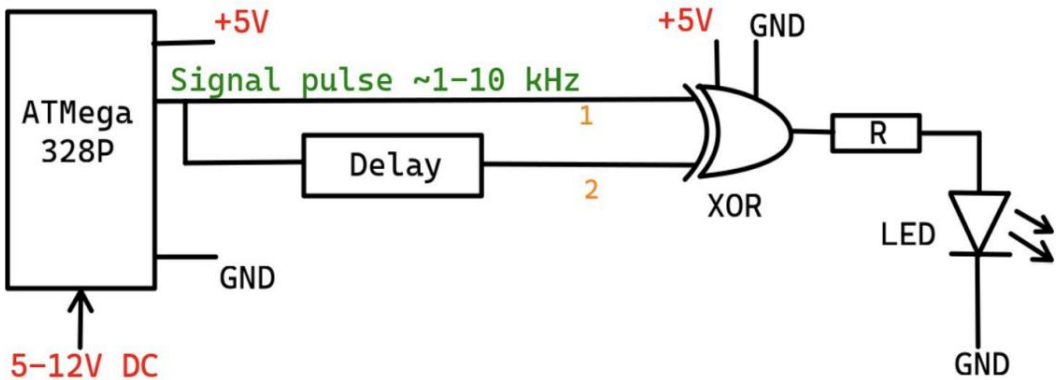


2. Фото установки:



Задержка (на фото не подключена)

3. Принципиальная схема LED-driver:



Принцип действия: Получить сигнал нужной длительности и с нужной задержкой возможно с помощью быстродействующей микросхемы Xor. На её входы подаётся раздвоенный сигнал с управляющего пина микроконтроллера; длительность сигнала будет пропорциональна разности задержки сигнала на путях "1" и "2".

4. Промежуточные результаты:

С описанной выше схемой удалось добиться импульсов эффективной длительности порядка 10ns и частоты 1-10 kHz.



*: эффективная длительность меньше полной длительности сигнала, так как у светодиода есть пороговое напряжение, ниже которого он не загорается



Цветовая характеристика	Длина волны	Напряжение
Инфракрасные	от 760 нм	до 1.9 В
Красные	610 - 760 нм	от 1.6 до 2.03 В
Оранжевые	590 - 610 нм	от 2.03 до 2.1 В
Желтые	570 - 590 нм	от 2.1 до 2.2 В
Зеленые	500 - 570 нм	от 2.2 до 3.5 В
Синие	450 - 500 нм	от 2.5 до 3.7 В
Фиолетовые	400 - 450 нм	2.8 до 4 В
Ультрафиолетовые	до 400 нм	от 3.1 до 4.4 В
Белые	Широкий спектр	от 3 до 3.7 В

Спасибо за внимание!

I vs T (power-filtered, frac=0.980)

