

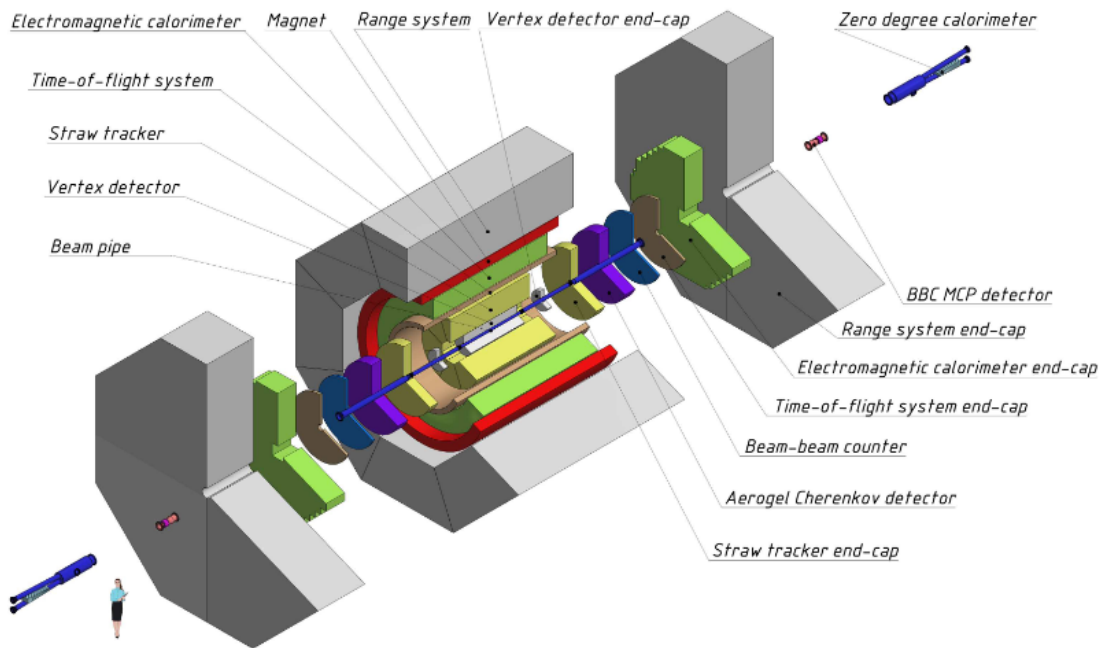
# **Разработка программного обеспечения и оптимизация системы контроля качества элементов сцинтилляционного детектора BBC для эксперимента SPD**

Студент:  
Чекмаев Е.А.  
М25-112

Научный руководитель:  
Тетерин П.Е.  
доц., к.ф-м.н.

Москва 2025

# Описание эксперимента SPD



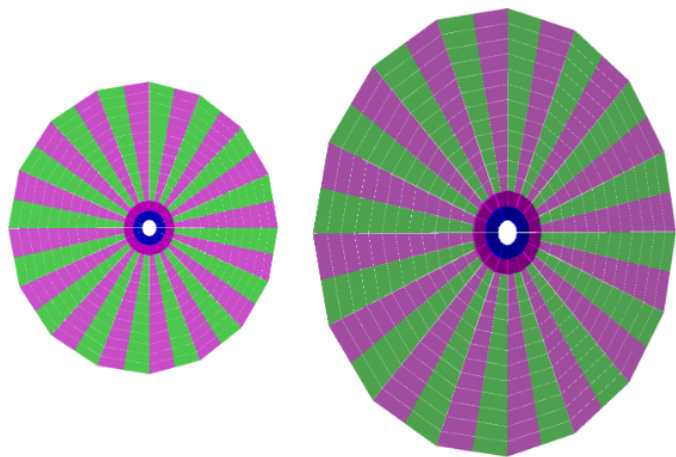
Детектор SPD

**Эксперимент SPD** предназначен для изучения спиновой структуры протона, дейтрона и других явлений, связанных со спином, с помощью поляризованных пучков протонов и дейтронов. Проект реализуется в два этапа.

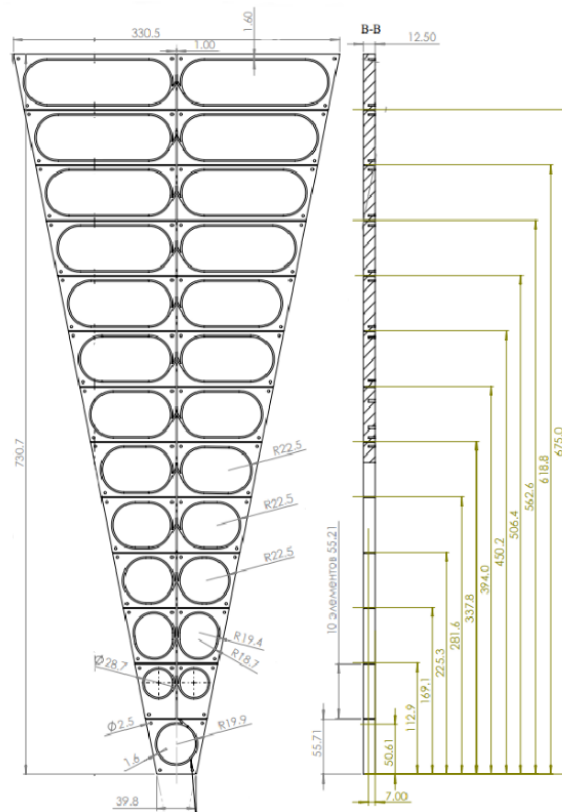
На первом этапе эксперимента планируется использование пучков с энергией до 9,4 ГэВ и светимостью до  $10^{31} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$

На втором этапе эксперимента планируется использование пучков с энергией до 27 ГэВ и светимостью до  $10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$

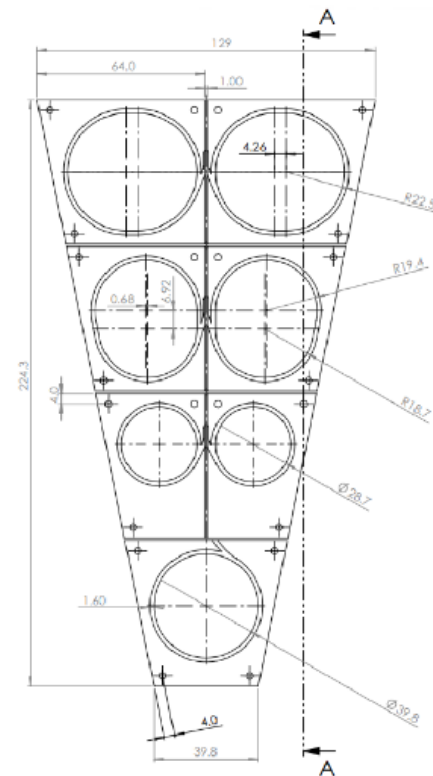
# Детектор ВВС, сектор и прототип сектора



Детектор ВВС



Сектор детектора ВВС



Прототип сектора

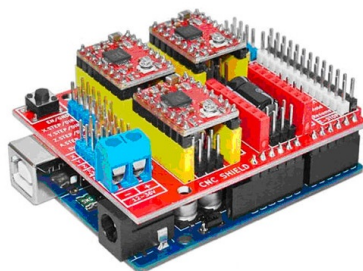
# Рентгеновский сканер и его компоненты



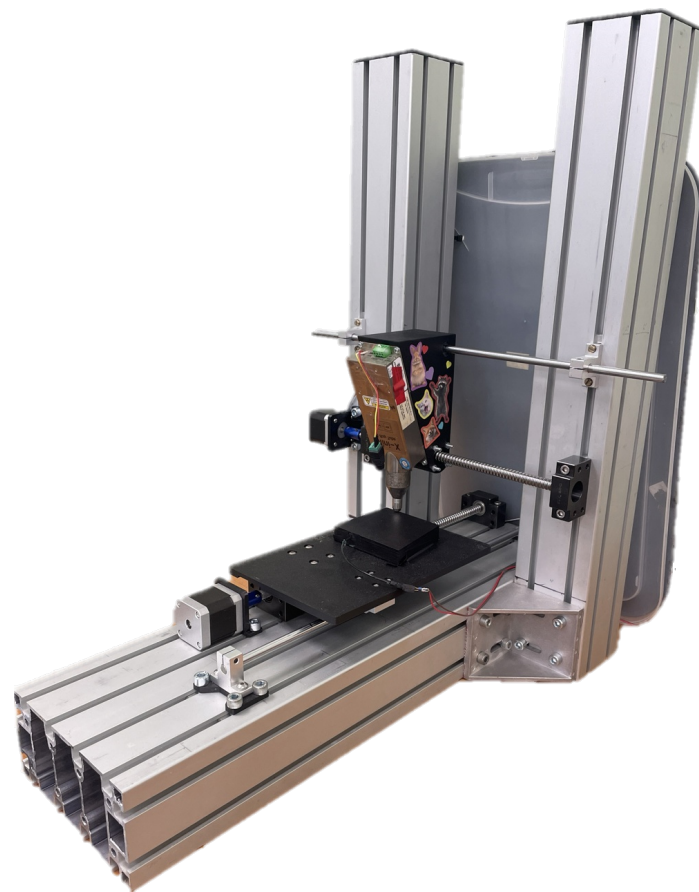
Mini-X X-Ray tube



FERS 5200

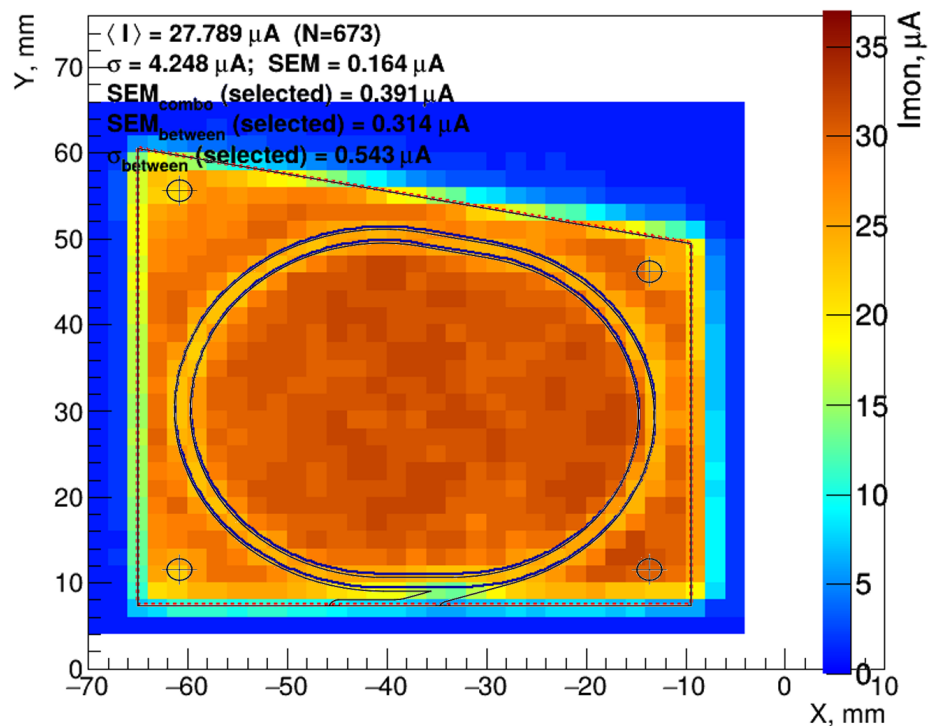


Arduino с CNC shield

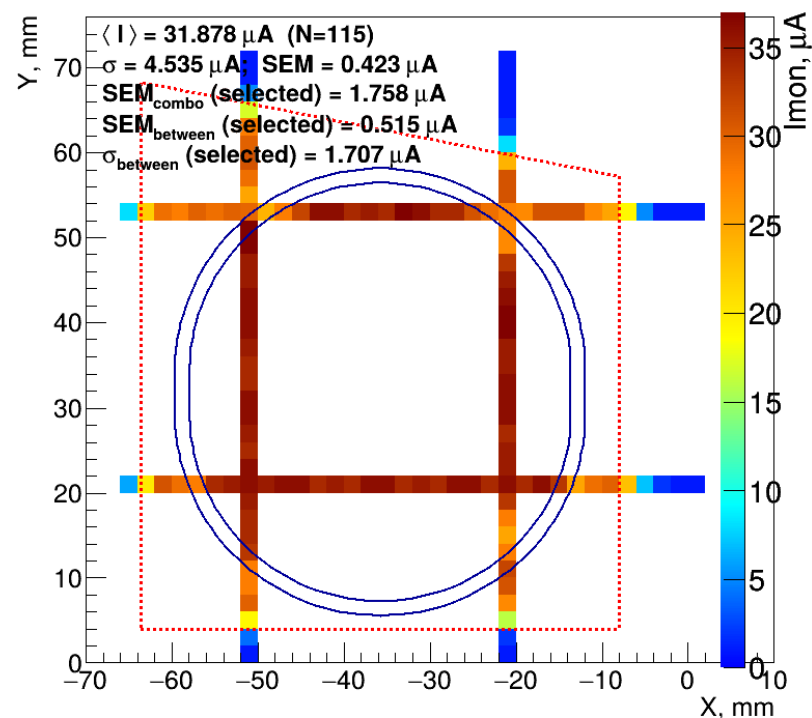


Экспериментальная  
установка

# Демонстрация работы рентгеновского сканера



Полная тепловая карта тайла



«Сеточная» тепловая карта тайла

# Имеющиеся проблемы с ПО рентгеновского сканера

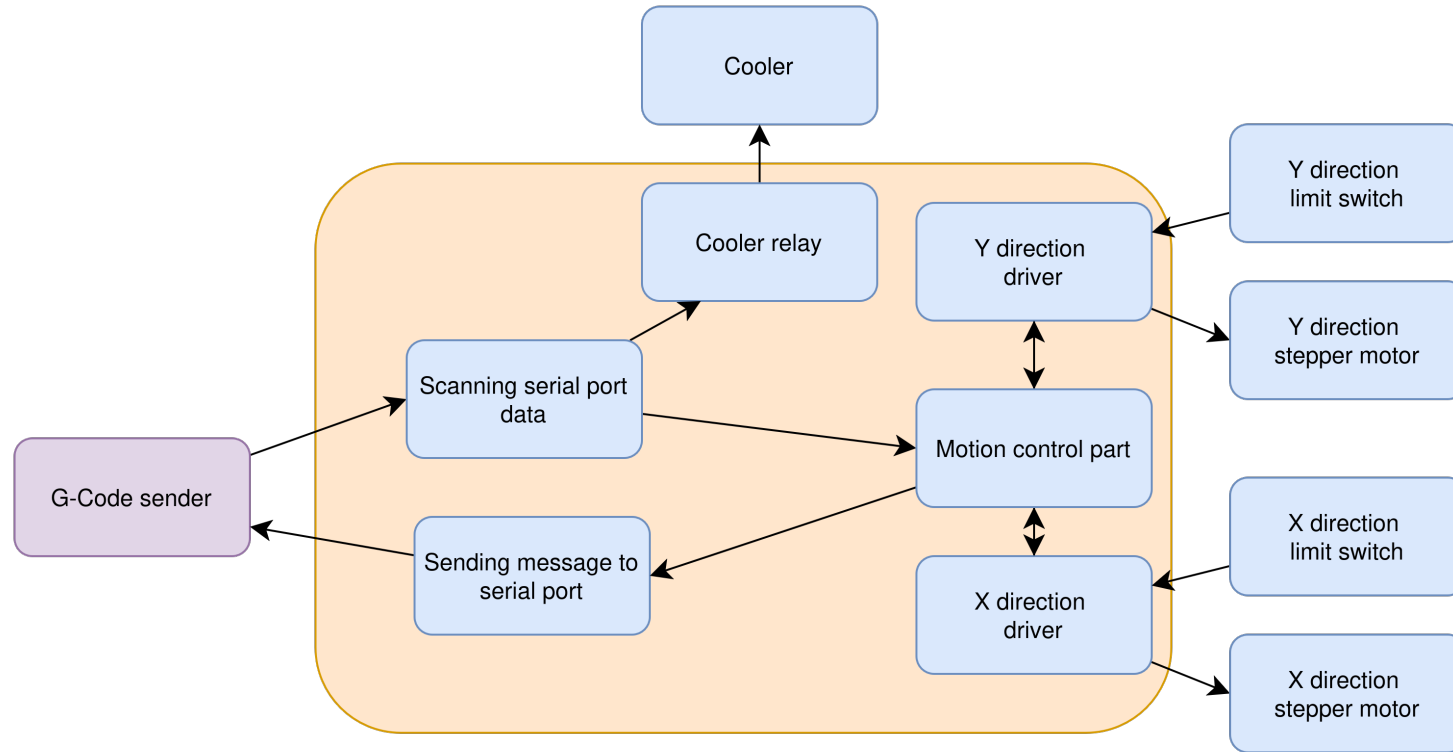
Проблема работы имеющейся прошивки микроконтроллера заключалась в следующем:

- **Отсутствовала универсальная прошивка** для микроконтроллера ATmega, вследствие чего для каждой траектории необходимо было загружать в МК прошивку с новой схемой движения.
- **Отсутствовала обратная связь** с управляющим компьютером, синхронизация со считывателем производилась по заранее установленным временным интервалам, что приводило к увеличению времени простоя оборудования и сказывалось на скорости составления тепловых карт.
- **Отсутствовала возможность оценить точность** составления тепловых карт.

Исходя из данных проблем были сформулированы требования для разработки новой прошивки МК:

- Создание прошивки для МК с **поддержкой** оптимизированного **языка G-code**
- **Необходимость** наличия связи МК -> компьютер и компьютер -> МК для возможности **синхронизации** движения и сбора данных в точке.
- Наличие возможности оценить количество пропущенных шагов за движение (**погрешность позиционирования**) в промежутке между установками нуля в системе координат станка.

## Блок — схема работы рентгеновского сканера



# ПО для рентгеновского сканера



# PlatformIO

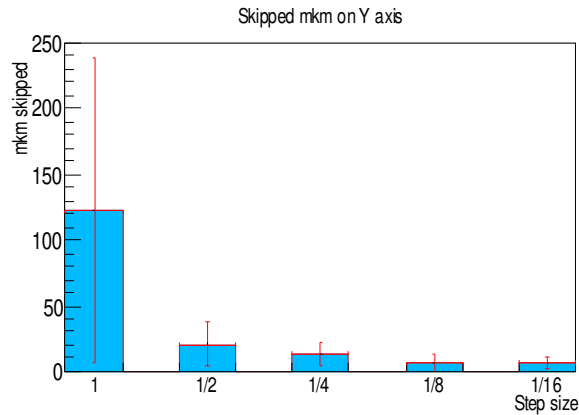
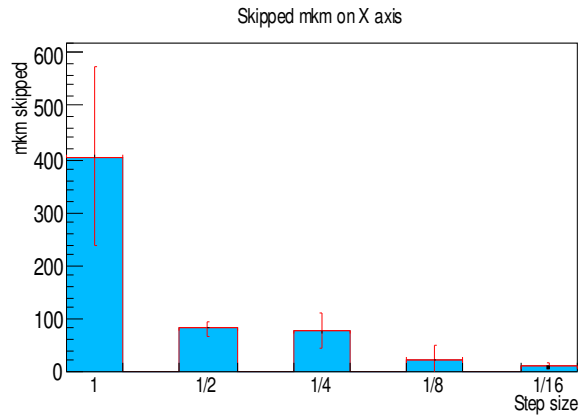
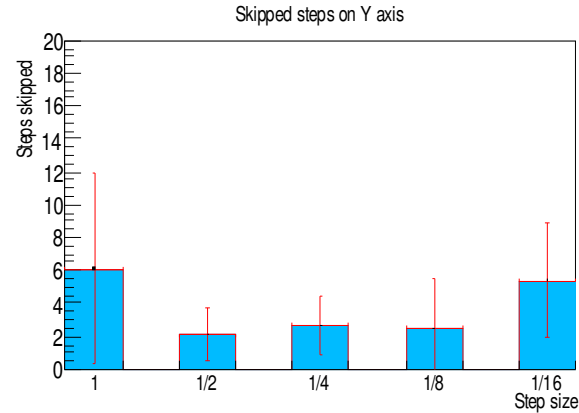
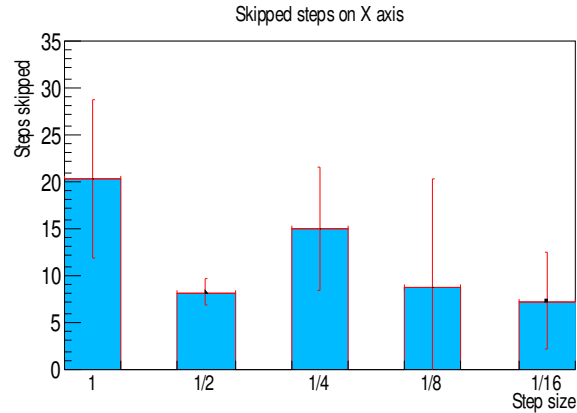
```
zhek@ChLinPC:~/proektorskaya/Scanner/Message_Sender_Reciever$ ./MSR ./Testcode/Tile1.txt /dev/ttyACM0
Path to file is ./Testcode/Tile1.txt
Port to controller is /dev/ttyACM0
Порт отключен /dev/ttyACM0
Подключено к Arduino на порту /dev/ttyACM0
%
START
M40
Ok
G00 X234 Y45
Skipping X 18495
Skipping Y 0
Ok
G00 Y22.5
Ok
G01 X-60
STEP
Ok
STEP
Ok
STEP
Ok
STEP
Ok
```

Пример запуска программы

```
home > zhek > proektorskaya > Scanner > Message_Sender_Reciever > Testcode > Tile1.txt
1 1
2 M40
3 G00 X234 Y45
4 G00 Y22.5
5 G01 X-60
6 G00 Y-45
7 G01 X60
8 G00 X-10 Y-10
9 G01 Y65
10 G00 X-35
11 G01 Y-65
12 M40
13 G00 X234 Y45
14 G00 Y22.5
15 G01 X-60
16 G00 Y-45
17 G01 X60
18 G00 X-10 Y-10
19 G01 Y65
20 G00 X-35
21 G01 Y-65
22 M40
23 M02
```

Пример G-Code для построения  
сетчатой карты

# Погрешность расположения трубки над поверхностью тайла



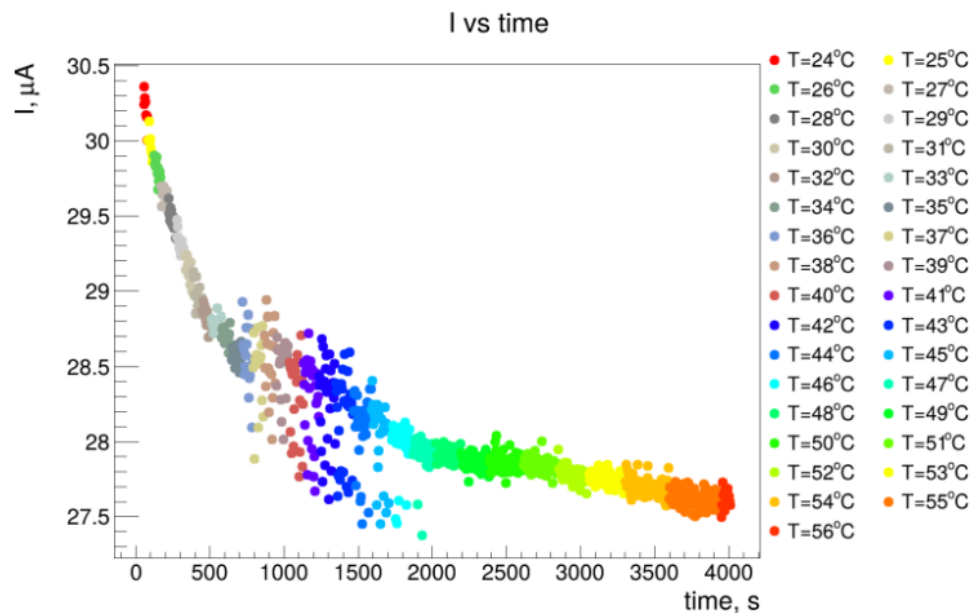
Существует проблема потери шагов:

- При **снижении** размера **шага** **снижается погрешность** расположения рентгеновской трубки над поверхностью тайла.
- После замены смазки на подвижной передаче требуется совершить ряд холостых проходов для более равномерного распределения смазки

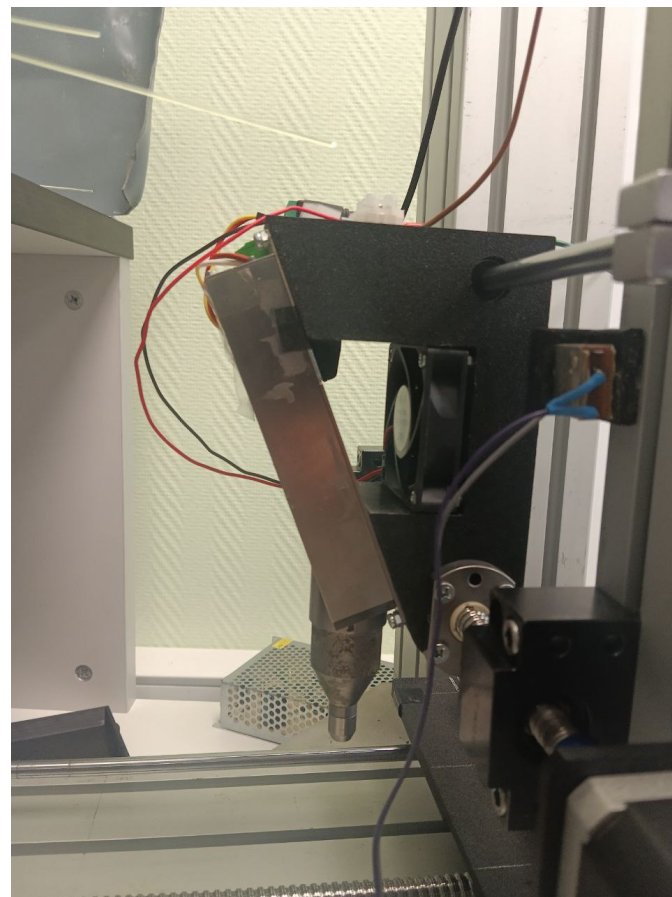
# Проблемы в работе рентгеновской трубки

Существует проблема нагрева трубки, приводящая к снижению тока, снимаемого с SiPM:

Отсюда возникла задача поставить охлаждение рентгеновской трубки и оценить оказываемый эффект



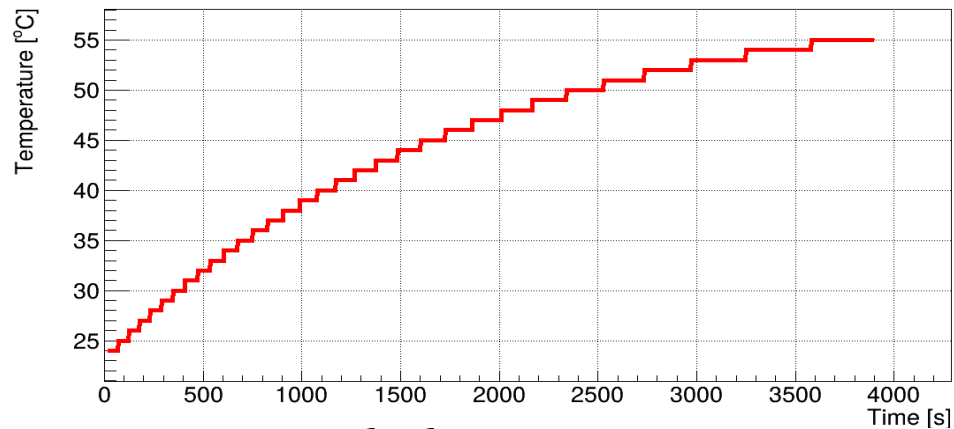
Зависимость снимаемого с SiPM тока от времени с отметками температурного режима



Новая каретка с установленным охлаждением

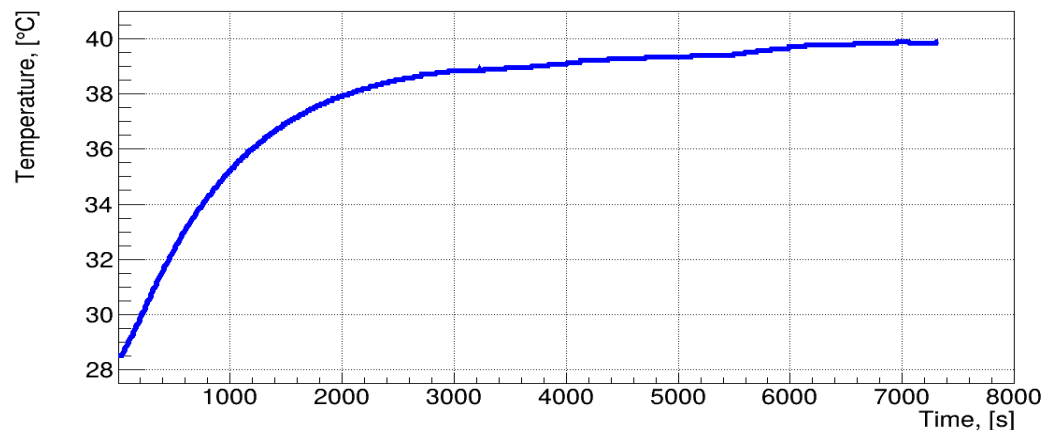
# Тестирование охлаждения трубки

Temperature vs Time



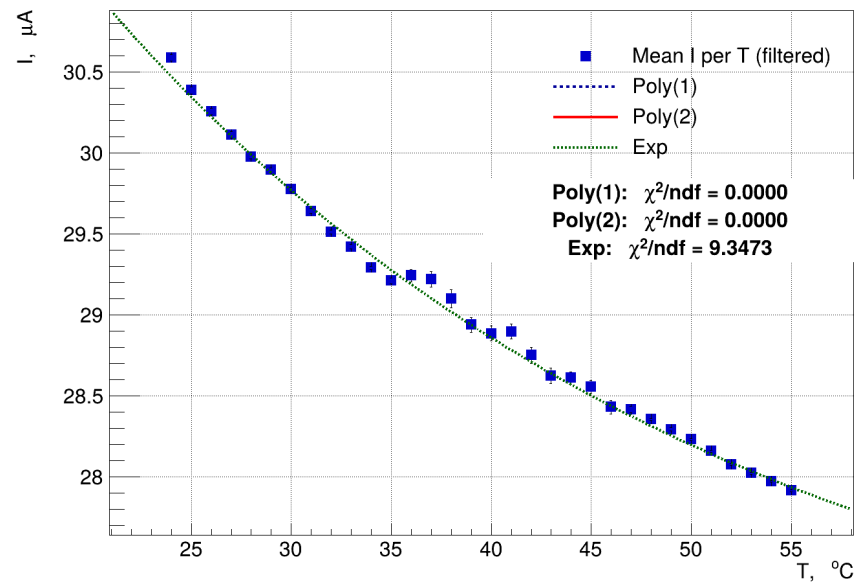
Температура трубки без охлаждения

Temperature vs Time



Температура трубки с охлаждением

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



Зависимость тока SiPM от температуры  
рентгеновской трубки

# Заключение

Результаты текущей научно-исследовательской работы::

- Переписано программное обеспечение для рентгеновского сканера с учетом поставленных задач.
- Написан консольный интерфейс для отправления и принятия сообщений с рентгеновского сканера.
- Произведен анализ зависимости погрешности измерений по координатам и выбран режим 1/16 шага.
- Протестирован нагрев рентгеновской трубки с учетом установленного охлаждения.

Направление для дальнейшей работы:

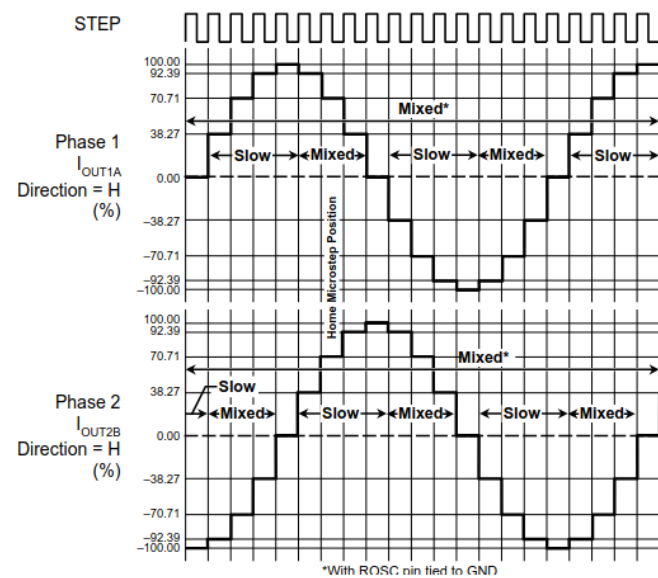
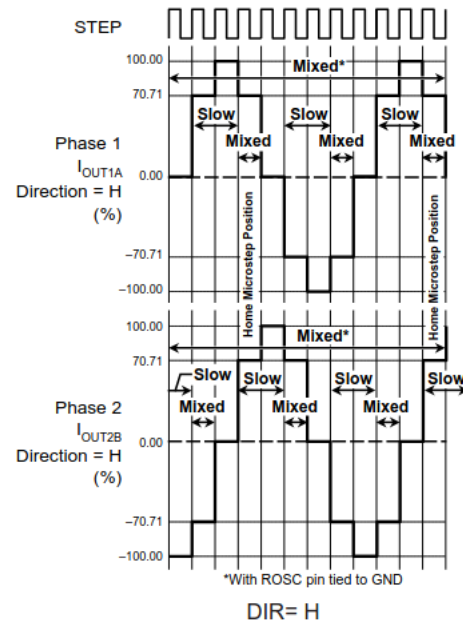
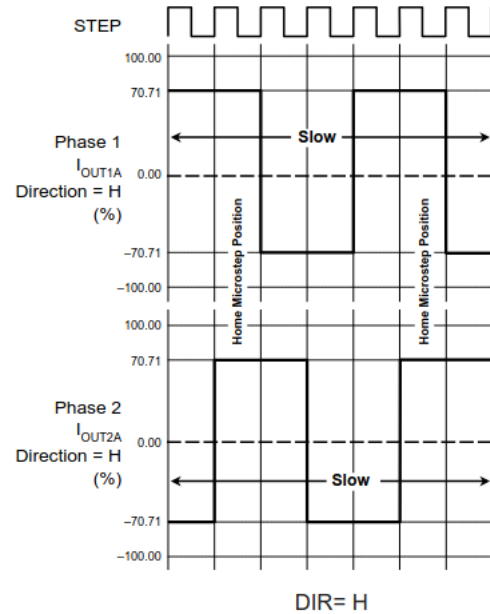
- Необходимо написать графический пользовательский интерфейс, объединяющий функционал работы со сканером и FERS 5200.
- Необходимо улучшить охлаждение рентгеновской трубки.

Спасибо за внимание

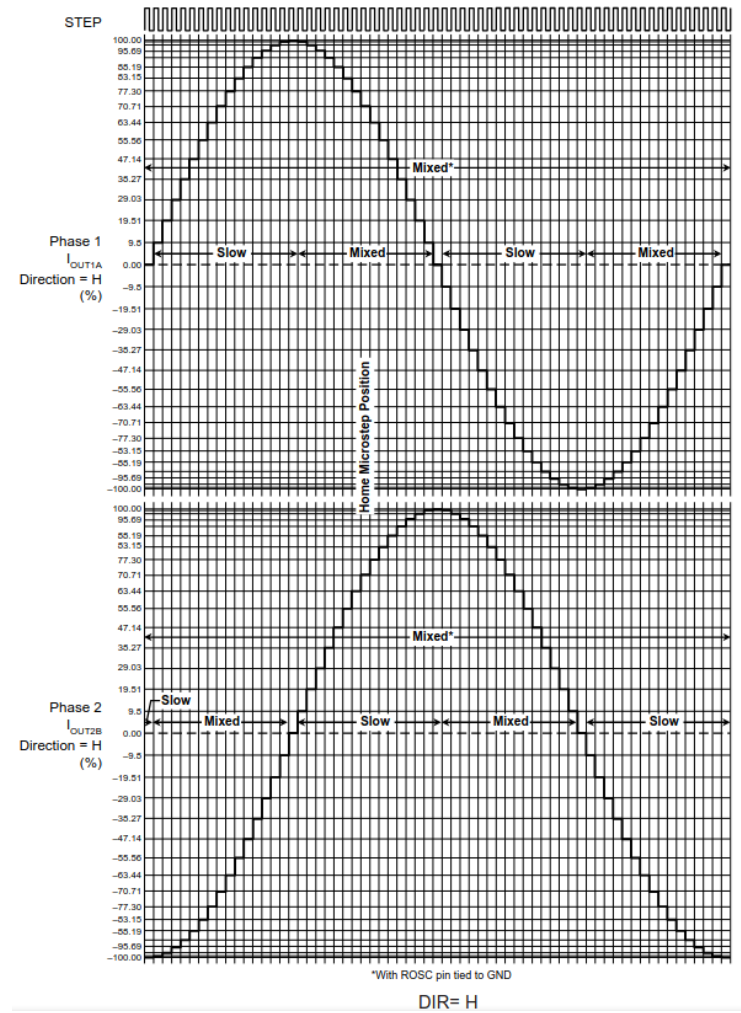
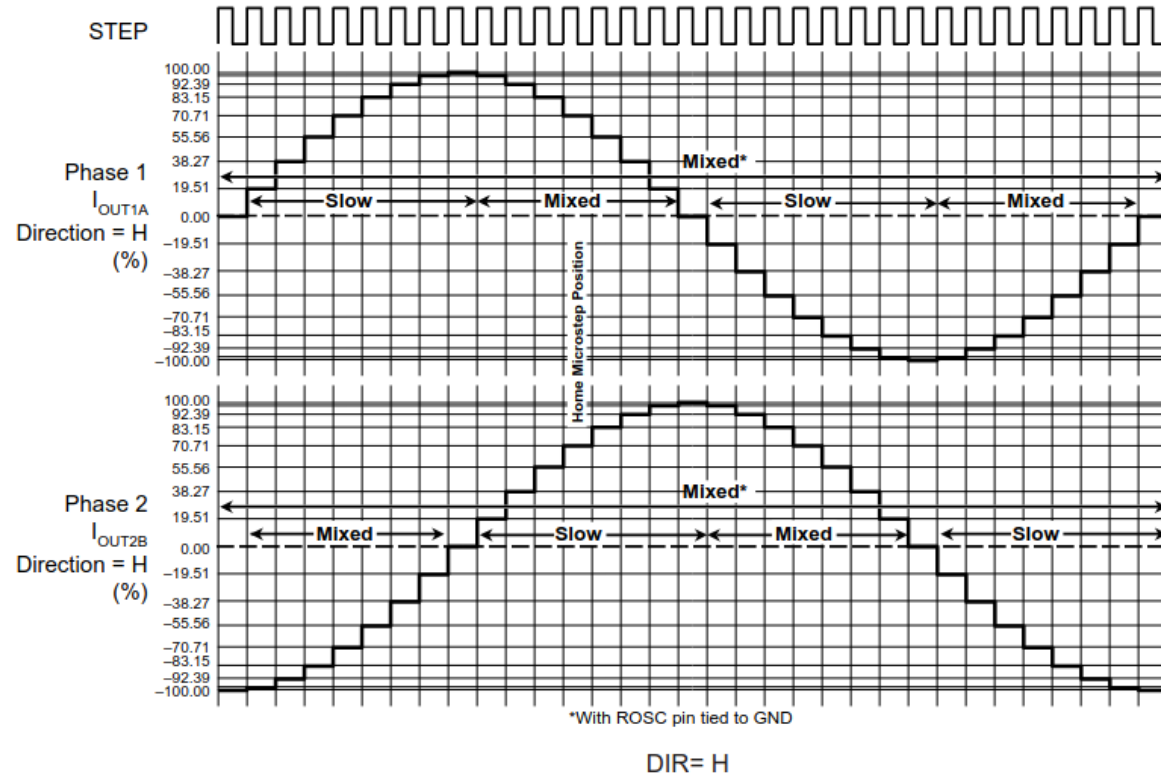


# Backups

# Шаги по datasheet 1



## Шаги по datasheet 2



# Поддерживаемые команды G-Code 1

% - старт программы.

Ответ: START

G00 - быстрое перемещение по координатам.

Синтаксис:

G00 XN YM FK

где

N - количество мм на которое нужно переместиться по оси X

M - количество мм на которое нужно переместиться по оси Y

K - скорость перемещения мм/с

Ответ: Ok - готовность принять новую команду

G01 - перемещение по координатам с заданным шагом (по умолчанию - 2 мм)

Синтаксис:

G01 XN YM FK

Ответ:

STEP - сообщение о завершении шага

DONE - сообщение о завершение перемещения

Ok

G10 - переход в новую систему координат с нулём в текущей позиции (сбрасывается после команды M40)

Ответ: Ok

G22 - задание новых лимитов на перемещение (блокирует перемещение свыше указанных значений)

Синтаксис:

G22 XN YM

Ответ: Ok

## Поддерживаемые команды G-Code 2

G90 - переход в абсолютную систему координат - новые перемещения будут осуществляться до заданных точек относительно установленной нулевой точки

Ответ: Ok

G91- переход в относительную систему координат - новые перемещения будут осуществляться до заданных точек относительно установленной текущей точки

Ответ: Ok

M02 - команда завершения программы

Ответ: END - сигнал о завершении

M09 - включение/выключение охлаждения

Ответ:

Cooler on - было осуществлено включение вентилятора

Cooler off - было осуществлено выключение вентилятора

Ok

M40 - вернуться к концевым выключателям

Ответ:

Ok

Skipping X N - количество пропущенных шагов по оси X\\

Skipping Y M - количество пропущенных шагов по оси Y\\

M42 - установить новый размер шага для команды G01

Синтаксис:

M42 S T

Ответ: Ok

## Поддерживаемые команды G-Code 2

NEXT - сделать следующий шаг, является ответом на STEP

Ответ:

STEP - сообщение о завершении шага

DONE - сообщение о завершение перемещения

Ok