



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»

Высшая школа электроники и компьютерных наук  
Кафедра «Электронные вычислительные машины»

Выпускная квалификационная работа на тему  
**Разработка программно-аппаратного комплекса мониторинга сплошности  
нанесённого покрытия на внутренней поверхности труб**

Выполнил: студент группы КЭ-405  
И.В. Гринченко

Проверил: к.пед.н., доцент каф. ЭВМ ВШ ЭКН  
Ю.Г. Плаксина

Консультант: к.т.н., доцент каф. ЭВМ ВШ ЭКН  
И.Л. Кафтанников

Челябинск-2025

# Актуальность

Мониторинг сплошности нанесённого лакокрасочного покрытия на внутренней поверхности труб помогает обеспечивать требуемые эксплуатационные характеристики изделий.

Ошибки при нанесении лакокрасочного покрытия приводят к ускоренному износу материала трубы, аварийным ситуациям и большим экономическим потерям.

Мониторинг сплошности лакокрасочного покрытия затруднен малым диаметром труб.

# Цель и задачи

Цель:

Разработать программно-аппаратный комплекс мониторинга сплошности лакокрасочного покрытия на внутренней поверхности труб для повышения точности выявления дефектов, увеличения автоматизации предприятий и снижения производственных издержек.

Задачи:

1. Аналитический обзор научно-технической и методической литературы.
2. Разработка алгоритма управления процессом сканирования и проектирование структурной схемы программно-аппаратного комплекса.
3. Реализация программно-аппаратного комплекса.
4. Тестирование программно-аппаратного комплекса.

# Выбор метода дефектоскопии

В данной работе был использован оптический метод дефектоскопии. Выбор основан на его следующих преимуществах по сравнению с другими методами дефектоскопии:

- высокая чувствительность к поверхностным дефектам;
- скорость метода ограничена скоростью камеры и вычислительными ресурсами для обработки получаемых изображений;
- не требует габаритного оборудования для реализации;
- не требует дорогостоящего оборудования;
- эффективен для проверок при поточном производстве;
- снижает затраты при массовых проверках.

# Системы дефектоскопии



**Система  
ультразвуковой  
дефектоскопии:  
A2075 SoNet**



**Система  
оптической  
дефектоскопии:  
FWL-100**



**Система  
лазерной  
дефектоскопии:  
Probius**

# Сравнительная таблица систем дефектоскопии

| Критерий \ Название системы                           | A2075<br>SoNet | FWL-100 | Probius |
|---|----------------|---------|---------|
| Возможность исследования труб диаметром менее 70 мм   | —              | —       | —       |
| Возможность хранения результатов исследования         | +              | +       | +       |
| Возможность предоставления отчетов о наличии дефектов | —              | —       | +       |
| Возможность работы без оператора                      | —              | —       | +       |

# Требования к комплексу

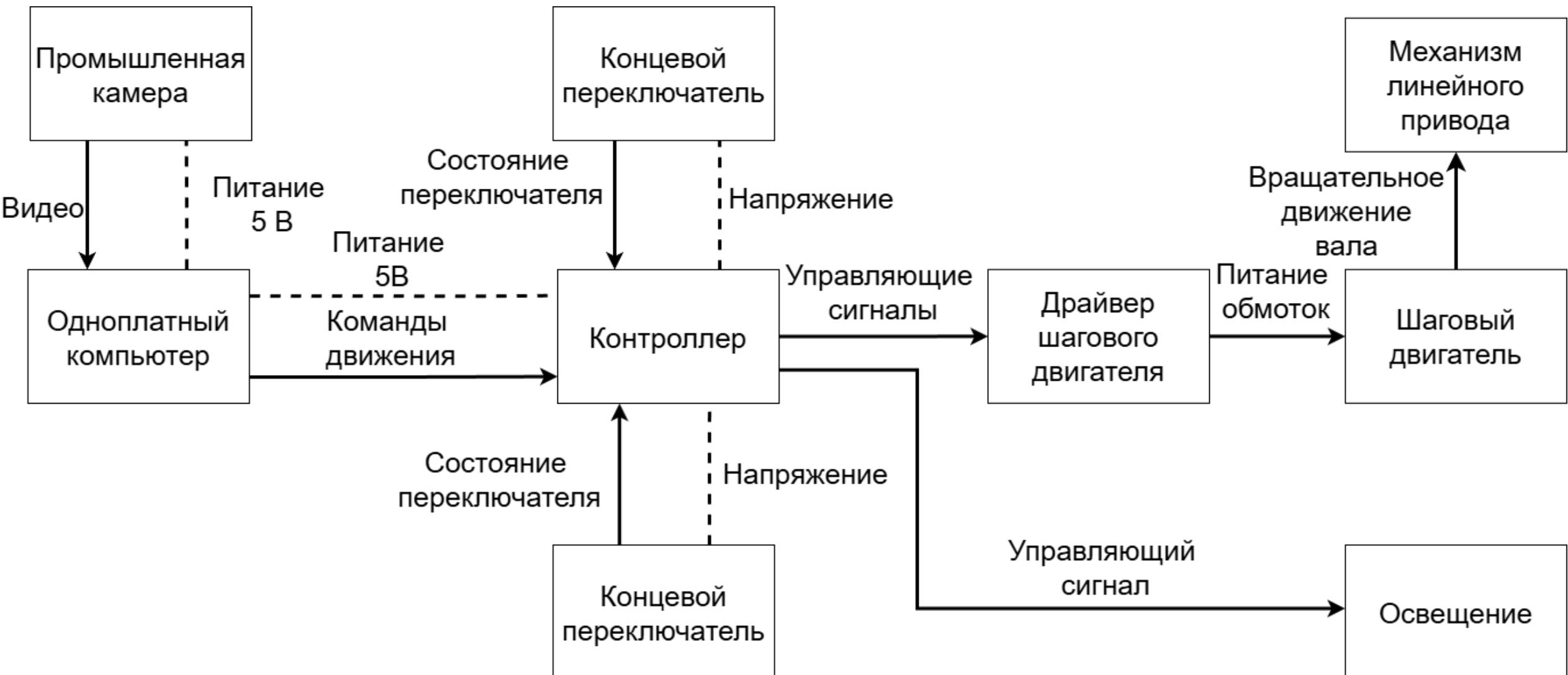
## Функциональные требования:

- устройство мониторинга должно перемещаться во внутрь труб со скоростью 60 мм/с;
- комплекс должен работать от питания постоянного тока 24 В;
- устройство мониторинга должно перемещаться на расстояние 60 см внутрь труб;
- точность позиционирования устройства мониторинга внутри трубы должно быть не более 0,3 мм;
- комплекс должен иметь возможность работы без оператора;
- комплекс должен иметь возможность управления при помощи оператора.

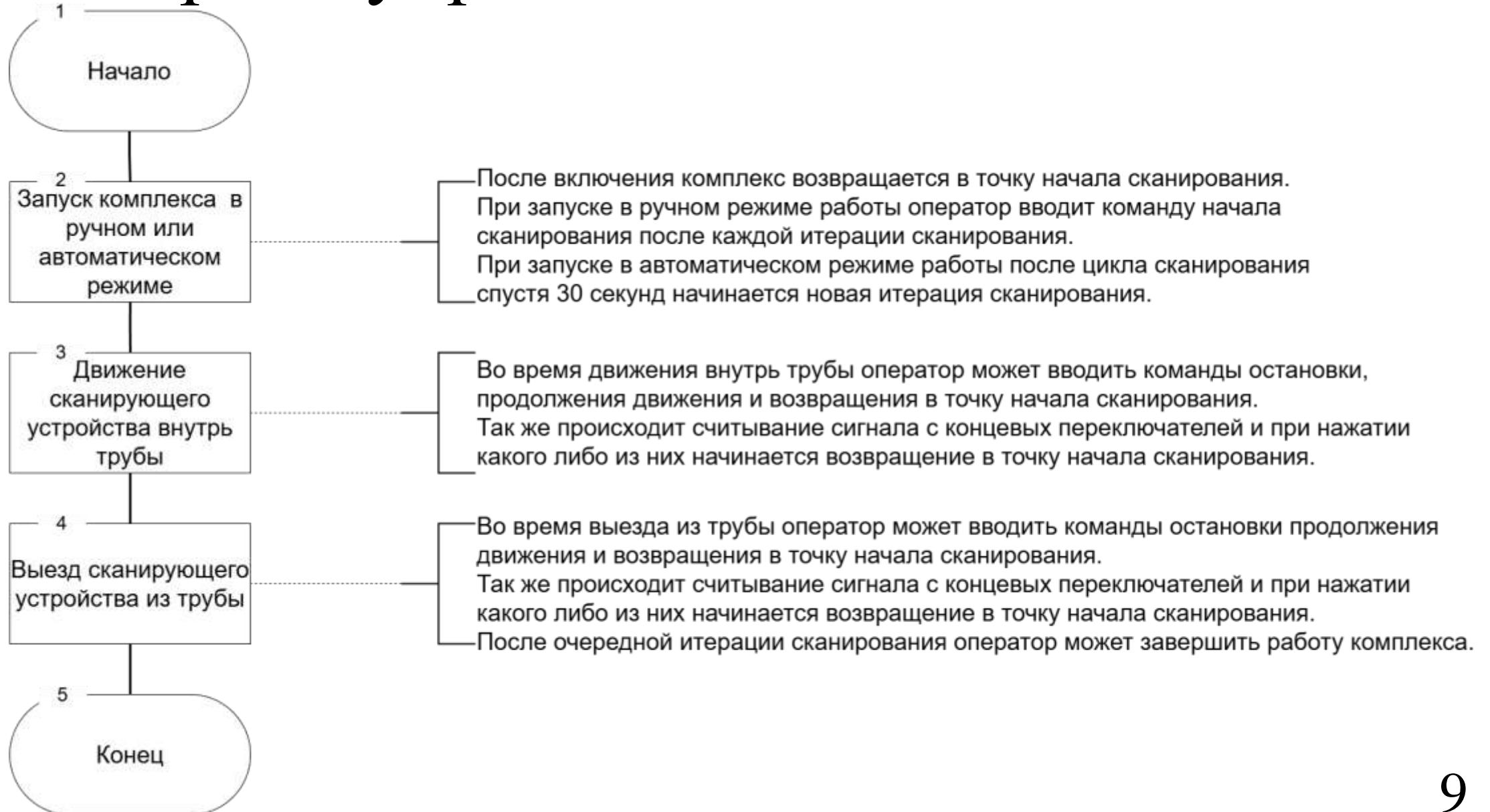
## Нефункциональные требования:

- программа для управления при помощи оператора должна быть написана на языке Python;
- оператор должен вводить команды через одноплатный компьютер.

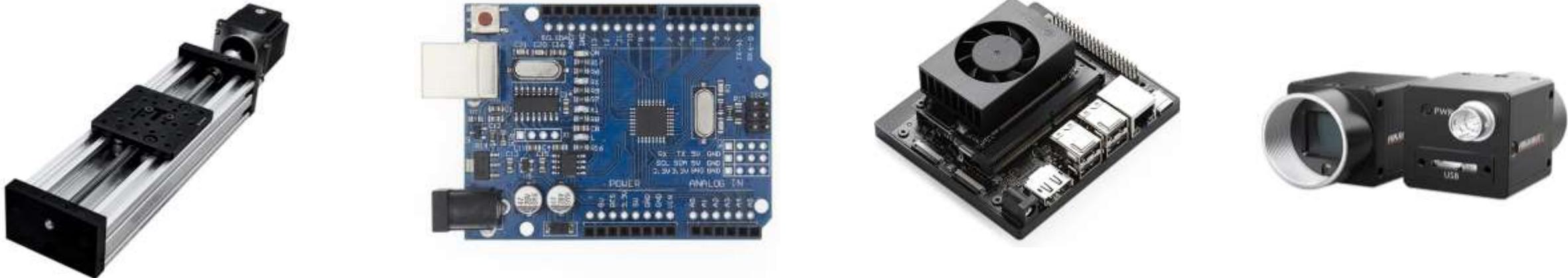
# Структурная схема комплекса



# Алгоритм управления

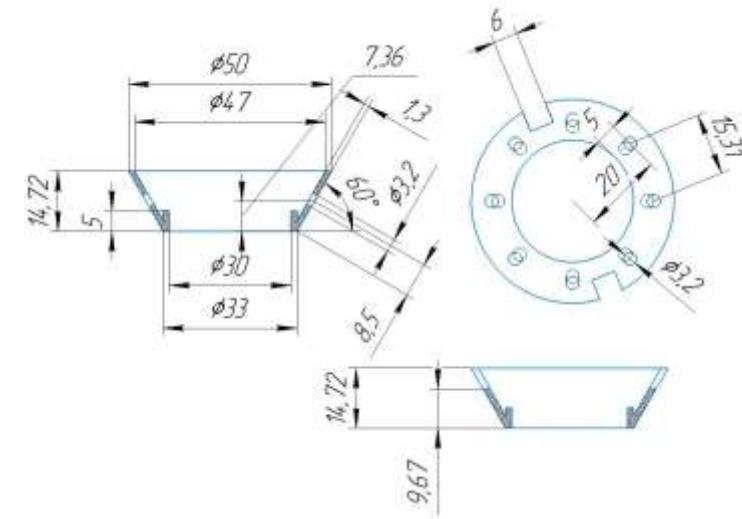


# Реализация аппаратной части комплекса



Линейный привод управляется при помощи Arduino UNO R3.  
Arduino UNO получает команды оператора через Jetson Xavier NX.  
Запись видео производится при помощи промышленной камеры HIKROBOT.

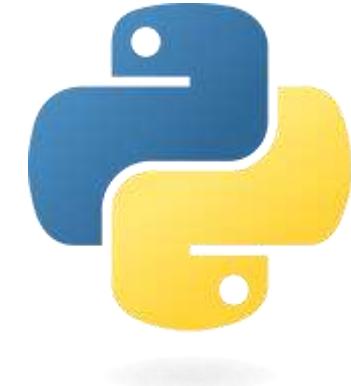
# Реализация аппаратной части комплекса



Комплекс питается при помощи импульсного блока питания на 24 В.  
Положение камеры на пути сканирования определяется концевыми переключателями.  
Освещение реализовано в виде светодиодов, крепящихся к конусообразной детали.

# Реализация программной части комплекса

Программа для ввода команд оператора через одноплатный компьютер и включения автоматического режима работы реализована на языке Python 3.10.5.



Программа управления процессом сканирования написана для контроллера на языке C++ версии 11 с использованием Arduino IDE 2.3.2.



# Реализация программно-аппаратного комплекса



# Реализация программно-аппаратного комплекса



# Реализация программно-аппаратного комплекса



# Заключение

В рамках работы были выполнены следующие задачи:

1. Проведен аналитический обзор научно-технической и методической литературы.
2. Разработан алгоритм управления процессом сканирования и спроектирована структурная схема программно-аппаратного комплекса.
3. Реализован программно-аппаратный комплекс.
4. Произведено тестирование программно-аппаратного комплекса.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ