

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПЕТРА ВЕЛИКОГО»

Институт машиностроения, материалов и транспорта Высшая школа
автоматизации и робототехники

Курсовой проект
по дисциплине «Объектно-ориентированное программирование»
**«Программирование промышленного манипулятора KUKA с
использованием захвата»**

Пояснительная записка

Выполнили
студенты гр.
3331506/20401

(подпись)

Базельцев А. А.
Пантелеймонов Б. Б.

Работу принял

(подпись)

Ананьевский М.С.

Санкт-Петербург
2025 г.

Оглавление

Техническое задание.....	3
1. Введение.....	3
2. Теоретические сведения.....	3
2.1 Ручное управление	3
2.2 Программное управление.....	4
3. Подготовительные работы	7
3.1 Юстировка	7
3.1.1 Зачем нужна юстировка?.....	8
3.1.2 Комплект для юстировки	8
3.1.3 Подготовка к юстировке	8
3.1.4 Порядок юстировки	9
3.2 Калибровка инструмента робота KUKA	10
3.2.1 Зачем нужна калибровка?	10
3.2.2 Комплект калибровки.....	11
3.2.3 Подготовка к калибровке	11
3.2.4 Порядок калибровки	11
3.3 Калибровка базы	12
3.3.1 Зачем нужна калибровка базы?	12
3.3.2 Методы калибровки базы.....	13
3.3.3 Комплект калибровки.....	13
3.3.4 Подготовка к калибровке	13
3.3.5 Порядок калибровки методом трех точек	13
4. Ход работы.....	15
5. Результаты работы программы.....	20
6. Заключение	20
7. Список литературы	21

Техническое задание

Необходимо произвести подключение Манипулятора KUKA и захвата, произвести наладку оборудования, а также изучить основные принципы управления промышленным манипулятором с захватом, с написанием программы для построения башни из 3 кубиков в качестве теста.

1. Введение

Современные промышленные роботы становятся неотъемлемой частью автоматизированных производственных процессов. Они обеспечивают высокую точность и скорость выполнения операций, что позволяет значительно повысить производительность труда и снизить затраты на изготовление продукции. Одним из наиболее популярных и востребованных решений на рынке промышленных роботов является манипулятор KUKA, который широко применяется в различных отраслях промышленности — от автомобильной сборки до прецизионной обработки деталей.

2. Теоретические сведения

У данной модели существует 2 типа управления в ручном режиме и с помощью написанной заранее программы.

2.1 Ручное управление

Робот имеет возможность управляться в режиме реального времени с помощью KUKA smartPAD представленного на рисунках 2.1.1 и 2.1.2

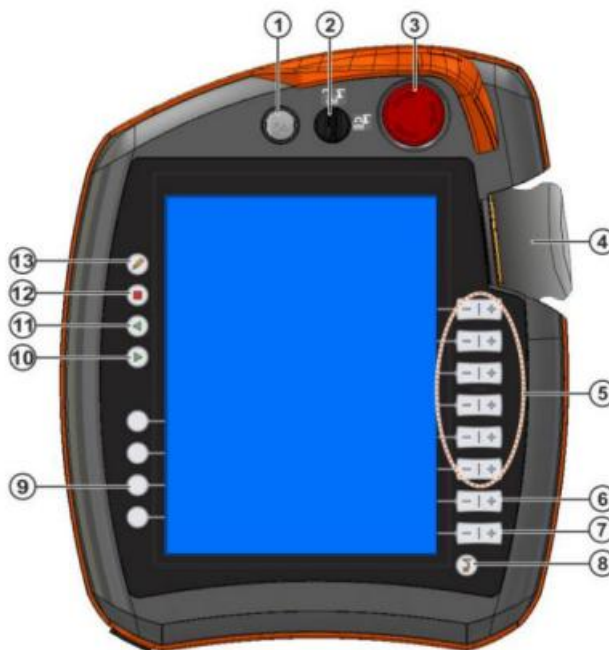


Рисунок 2.1.1 - Передняя сторона пульта управления KUKA smartPAD.



Рисунок 1.1.2 - Задняя сторона пульта управления KUKA smartPAD.

В ручном режиме с помощью пульта можно управлять в отдельности каждым звеном или управлять перемещением по координатам конечной точки. Также перемещение можно осуществлять в различных системах координат (WORLD, BASE, TOOL), что очень удобно.

1. BASE - система координат, связанная с местом крепления робота.
2. WORLD - переназначаемая система, которую можно поставить в любое место для упрощения написания программы.
3. TOOL – система, связанная с инструментом.

Каждая из этих систем координат может быть изменена и сохранена для дальнейшей работы

В обоих случаях для перемещения используются кнопки “+” и “-” (обозначение 5 на рисунке 2.1.1). Этот блок кнопок либо управляет каждым из звеньев, либо меняет положение инструмента по координатам X, Y, Z с возможностью вращения осей A, B, C. Также необходимо чтобы кнопка 3 на рисунке 2.1.1 была отжата, а одна из кнопок 3 или 5 на рисунке 2.1.2 нажата.

2.2 Программное управление

Кроме ручного управления можно осуществлять программное управление с помощью пульта или компьютера. В данной работе мы рассмотрим управление с пульта.

Все роботы KUKA используют KRL – KUKA Robot Language. Все программы для управления располагают в следующем каталоге, представленном на рисунке 2.2.1

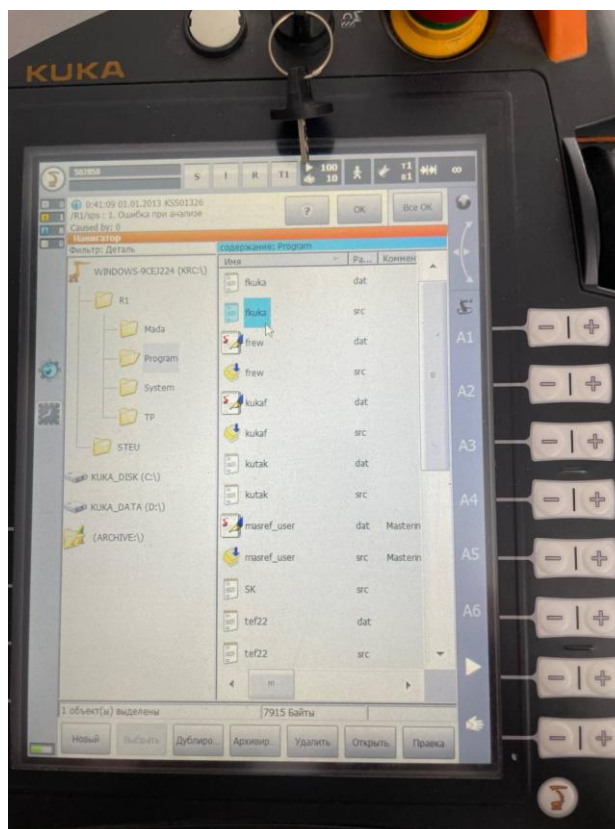


Рисунок 2.2.1 - Расположение программ

Рассмотрим основные команды, используемые для управления манипулятором:

1. Движение

- **PTP (Point-to-Point)**

Команда PTP перемещает робота в заданную точку по кратчайшему пути. Это движение обычно выполняется по траектории, которая не является прямой линией.

PTP {X <значение>, Y <значение>, Z <значение>, A <значение>, B <значение>, C <значение>}

Аргументы:

X, Y, Z — координаты целевой точки в пространстве.

A, B, C — углы ориентации инструмента (в градусах).

- **LIN (Linear)**

Команда LIN перемещает робота по прямой линии в заданную точку.

LIN {X <значение>, Y <значение>, Z <значение>, A <значение>, B <значение>, C <значение>}

Аргументы:

X, Y, Z — координаты целевой точки в пространстве.

A, B, C — углы ориентации инструмента.

- **CIRC (Circular)**

Команда CIRC перемещает робота по дуге окружности через промежуточную точку.

CIRC {X1 <значение>, Y1 <значение>, Z1 <значение>}, {X2 <значение>, Y2

<значение>, Z2 <значение>}

Аргументы:

Первая точка — промежуточная точка на дуге.

Вторая точка — конечная точка.

2. Управление программой

END

Завершает выполнение программы.

WAIT

Останавливает выполнение программы на заданное время или до выполнения условия.

WAIT SEC <время>

Аргументы:

SEC — время ожидания в секундах.

- LOOP

Создает бесконечный цикл.

LOOP

; команды

ENDLOOP

3. Управление вводом/выводом

- OUT

Устанавливает значение выхода.

OUT[<номер>] = <значение>

Аргументы:

<номер> — номер выхода.

<значение> — TRUE или FALSE.

- IN

Читает значение входа.

IF IN[<номер>] == <значение> THEN

; команды

ENDIF

Аргументы:

<номер> — номер входа.

<значение> — TRUE или FALSE.

4. Управление переменными

- DECL

Объявляет переменную.

DECL <тип> <имя>

Аргументы:

<тип> — тип переменной (например, INT, REAL, BOOL).

<имя> — имя переменной.

- SET

Присваивает значение переменной.

<имя> = <значение>

5. Управление подпрограммами

-DEF

Определяет подпрограмму.

DEF <имя>()

 ; команды

END

- CALL

Вызывает подпрограмму.

CALL <имя>()

6. Управление условиями

- IF

Условный оператор.

IF <условие> THEN

 ; команды

ENDIF

- SWITCH

Множественный выбор.

SWITCH <переменная>

 CASE <значение>:

 ; команды

 DEFAULT:

 ; команды

ENDSWITCH

7. Управление инструментом

- TOOL

Выбирает инструмент.

\$TOOL = TOOL_DATA[<номер>]

- BASE

Выбирает базовую систему координат.

\$BASE = BASE_DATA[<номер>]

8. Управление скоростью и ускорением

- \$VEL.CP

Устанавливает скорость движения.

\$VEL.CP = <значение>

3. Подготовительные работы

3.1 Юстировка

Юстировка робота KUKA — это обязательная процедура для обеспечения точности и стабильности работы манипулятора. Она позволяет устранить различия между механическим и электрическим положениями осей и корректирует возможные смещения, вызванные нагрузкой.

3.1.1 Зачем нужна юстировка?

Юстировка необходима в следующих случаях:

1. При первом вводе робота в эксплуатацию.
2. После технического обслуживания, связанного с компонентами определения положения (например, двигатель с синус-косинусным преобразователем).
3. После механического ремонта или столкновений.
4. После перемещения осей без системы управления (например, вручную).

3.1.2 Комплект для юстировки

Для юстировки робота KUKA используются следующие устройства:

1. **Юстировочное устройство EMD (Electronic Mastering Device)** - для настройки механических нулевых положений.
2. **Адаптерный кабель (KR C2)** - для подключения устройства к системе управления.

Юстировочный комплект представлен на рисунке 3.1.2.1.



Рисунок 3.1.2.1 – Юстировочный комплект

3.1.3 Подготовка к юстировке

1. **Режим работы:** активировать режим T1 (ручной режим с пониженной скоростью).

2. **Подключение устройства EMD:** подсоединить кабель EtherCAT к разъему X32.
3. **Проверка нулевого положения:** ось A6 необходимо привести в юстировочное положение по нанесенным меткам.

3.1.4 Порядок юстировки

1. Деюстировка осей:

- Перейти в меню: **Пуск в эксплуатацию> Юстировка> EMD> С коррекцией нагрузки> Первичная юстировка.**
- Деюстировать все оси перед началом настройки.

2. Подвод осей к предъюстировочному положению:

- На рисунке 3.1.4.1 все оси находятся в положении, соответствующем механическим нулевым точкам:
 - A1: 0°
 - A2: -90°
 - A3: +90°
 - A4: 0°
 - A5: 0°
 - A6: 0°.

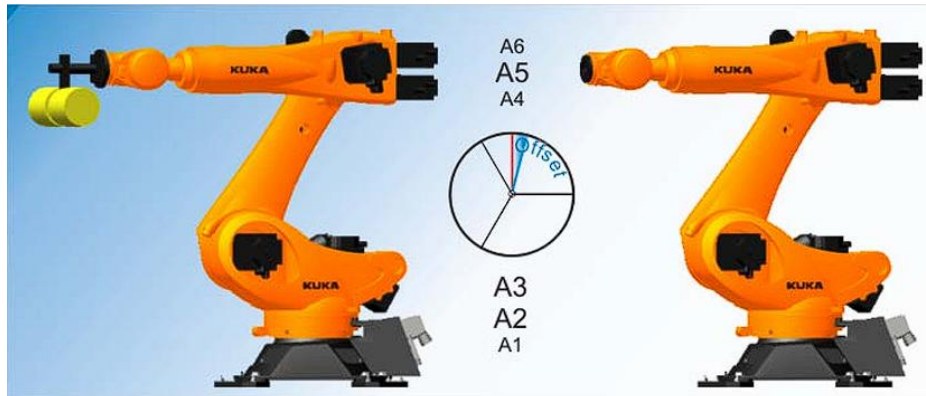


Рисунок 3.1.4.1 – Предъюстировочное положение

4. Юстировка с использованием EMD:

- Снять защитную крышку с измерительного патрона.
- Навинтить устройство EMD на патрон.
- Подключить провод к разъему X32 на коробке выводов робота.
- Активировать процесс юстировки через меню на пульте управления KUKA smartPAD.
- Держать клавишу запуска и подтвердить действие.
- Дождаться завершения юстировки и затемнения оси в окне настроек.

Подключённые элементы юстировочного комплекта во время юстировки представлены на рисунке 3.1.4.2.



Рисунок 3.1.4.2 – Подключённые элементы юстировочного комплекта

5. Завершение юстировки:

- Отсоединить провод от устройства и разъема.
- Установить защитную крышку на патрон.
- Проверить точность юстировки путем тестового перемещения.

Проверка и фиксация данных

- Все результаты юстировки сохраняются в лог-файле Mastery.log по пути:
- C:\KRC\ROBOTER\LOG\Mastery.log
- В лог-файле фиксируются:
 - Дата и время юстировки.
 - Серийный номер оси.
 - Значение юстировки (FirstEncoderValue).
 - Разница энкодера (Encoder Difference).
 - Номер инструмента.

3.2 Калибровка инструмента робота KUKA

Калибровка инструмента робота KUKA — это процесс определения точки TCP (Tool Center Point) и ориентации инструмента относительно фланца манипулятора. Основная цель калибровки — обеспечение точности позиционирования и правильного выполнения рабочих операций роботом.

3.2.1 Зачем нужна калибровка?

Калибровка инструмента позволяет:

1. Точно определить точку центра инструмента (TCP).
2. Обеспечить правильное позиционирование и ориентацию инструмента.
3. Улучшить точность выполнения задач с инструментом.

4. Гарантировать правильное движение робота относительно точки ТСР и ориентации инструмента.

3.2.2 Комплект калибровки

Для калибровки инструмента используется:

1. **Электронное калибровочное устройство (EMD)** - для настройки и измерения.
2. **KUKA smartPAD** - для управления процессом калибровки.
3. **Захват или штифт** - инструмент, используемый в качестве эталона.

3.2.3 Подготовка к калибровке

1. **Режим работы:** активировать режим T1 (ручной режим с пониженной скоростью).
2. **Проверка безопасности:** убедиться в активации аварийного останова.
3. **Выбор инструмента:** установить и зафиксировать инструмент на фланце робота.
4. **Активировать систему координат инструмента (TOOL):** проверить, что координатная система активна.

3.2.4 Порядок калибровки

Калибровка методом «XYZ, 4 точки»

1. **Запуск процедуры:**
 - Выбрать последовательность меню:
 - Пуск в эксплуатацию> Калибровка> Инструмент> XYZ, 4 точки
 - Присвоить номер и имя инструменту.
 - Нажать кнопку **ОК** для подтверждения.
2. **Подвод точки ТСР к отсчетной точке:**
 - Сначала подвести инструмент к первой точке калибровки.
 - Нажать кнопку **ОК** для сохранения точки.
3. **Измерение в других направлениях:**
 - Повторить измерения с трех оставшихся направлений.
 - После каждого измерения нажимать кнопку **ОК**.
4. **Сохранение данных:**
 - Нажать кнопку **Сохранить** для фиксации данных инструмента.

Визуализация процесса калибровки инструмента представлена на рисунке 3.2.4.1.

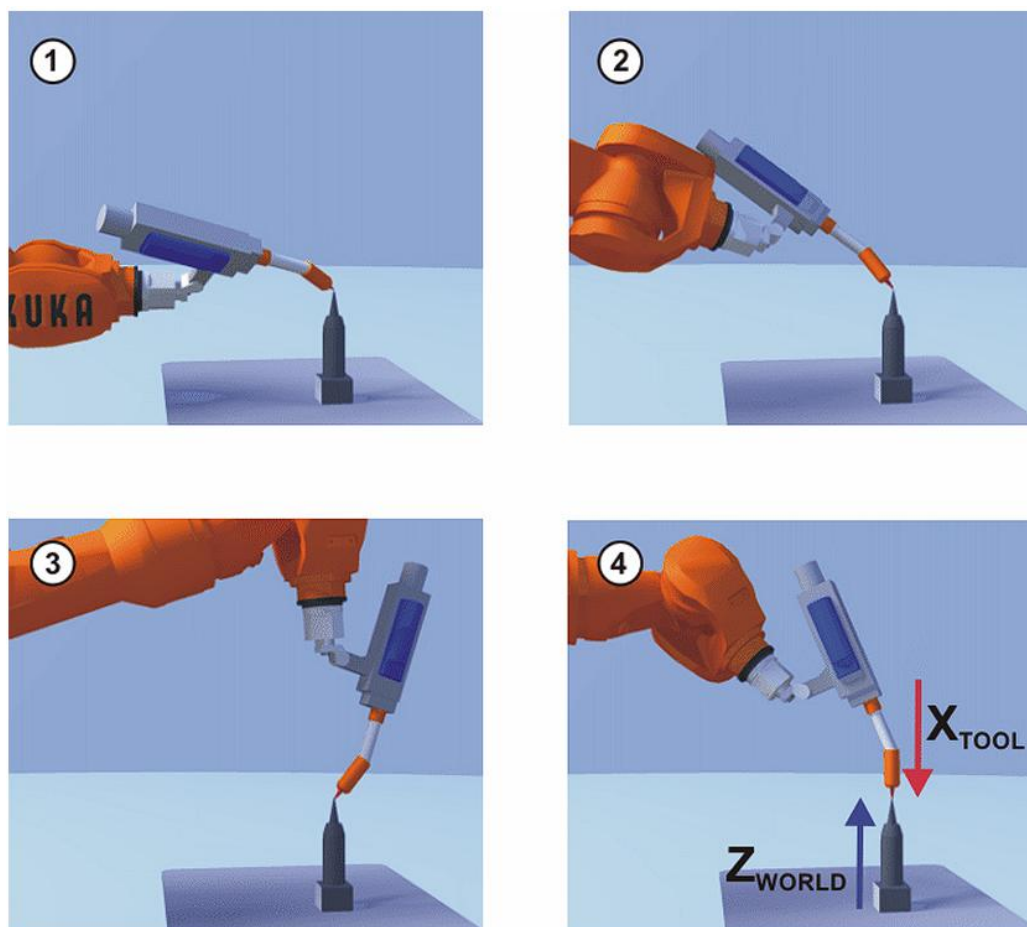


Рисунок 3.2.4.1 – Калибровка методом «XYZ, 4 точки»

3.3 Калибровка базы

Калибровка базы робота KUKA — это процесс настройки системы координат базы робота, чтобы обеспечить точное перемещение инструмента относительно рабочей поверхности. Этот процесс особенно важен при выполнении задач, требующих высокой точности, таких как сварка или сборка.

3.3.1 Зачем нужна калибровка базы?

Калибровка базы позволяет:

1. Определить начальную точку системы координат.
2. Настроить направление координатных осей.
3. Выполнять перемещения вдоль кромок заготовок и других элементов рабочей зоны.

4. Обеспечить использование нескольких базовых систем координат в зависимости от этапа программы (до 32 систем).

3.3.2 Методы калибровки базы

Для настройки базовой системы координат используются три основных метода:

1. **Метод трех точек (3 точки):** определение начала координат, направления оси X и направления оси Y.
2. **Косвенный метод:** используется, если физический доступ к точке базы невозможен.
3. **Цифровой ввод:** прямой ввод координат относительно универсальной системы координат (X, Y, Z) и поворота (A, B, C).

3.3.3 Комплект калибровки

Для проведения калибровки базы требуется:

1. **KUKA smartPAD:** для управления процессом калибровки.
2. **Откалиброванный инструмент (например, захват):** точка TCP которого известна и откалибрована ранее.
3. **Рабочее поле:** например, прямоугольник.

3.3.4 Подготовка к калибровке

1. **Режим работы:** убедиться, что робот находится в режиме T1 (ручной режим с пониженной скоростью).
2. **Проверка безопасности:** деблокировать аварийный останов и убедиться в готовности системы.
3. **Выбор инструмента:** активировать откалиброванный инструмент на пульте управления.

Во время калибровки базы было принято решение воспользоваться методом трех точек, так как он просто в исполнении и точен.

3.3.5 Порядок калибровки методом трех точек

1. Настройка калибровки

1. На пульте управления выбрать:
2. Пуск в эксплуатацию > Калибровка > База > 3 точки
3. Присвоить базе номер и имя (например, "Синяя база"). Нажать кнопку **Далее** для подтверждения.

2. Выбор инструмента

1. Ввести номер инструмента, точка TSP которого будет использоваться для калибровки базы.
2. Подтвердить выбор нажатием кнопки **Далее**.

3. Определение начала координат

1. С помощью TSP подвести инструмент к началу системы координат новой базы.
2. Нажать программируемую клавишу **Калибровка** и кнопку **Да** для подтверждения положения.

4. Определение положительного направления оси X

1. Переместить инструмент к точке на положительной оси X.
2. Нажать кнопку **Калибровка** и кнопку **Да** для фиксации положения.

5. Определение плоскости XY

1. Подвести инструмент к точке с положительным значением Y на плоскости XY.
2. Нажать кнопку **Калибровка** и кнопку **Да** для подтверждения положения.

6. Сохранение данных

1. Нажать кнопку **Сохранить**.
2. Закрыть меню калибровки.

Визуализация процесса калибровки базы представлена на рисунке 3.3.5.1.

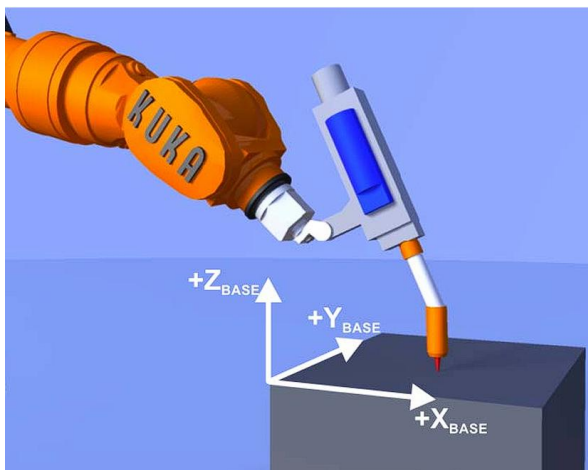


Рисунок 3.3.5.1 – Калибровка методом трех точек

Проверка калибровки базы

1. Переместить инструмент к началу координат новой базы.
2. Вывести фактическое положение на экран в прямоугольных координатах.
3. Сравнить полученные значения с расчетными.

4. Ход работы

Для начала переходим в режим “Эксперт” (рисунок 4.1).

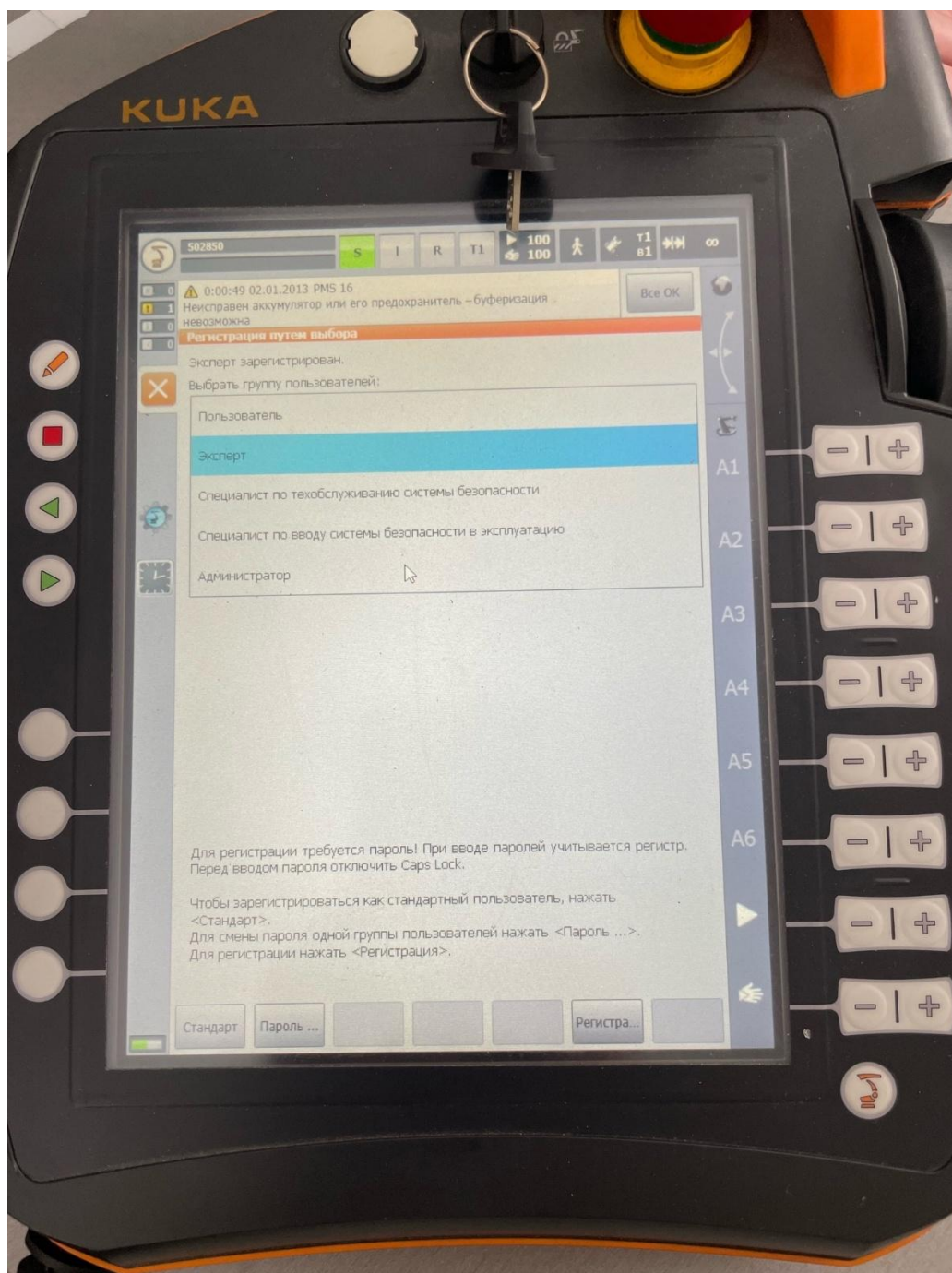


Рисунок 4.1 - Режим эксперта

Производим калибровку инструмента, что показано на рисунке 4.2.

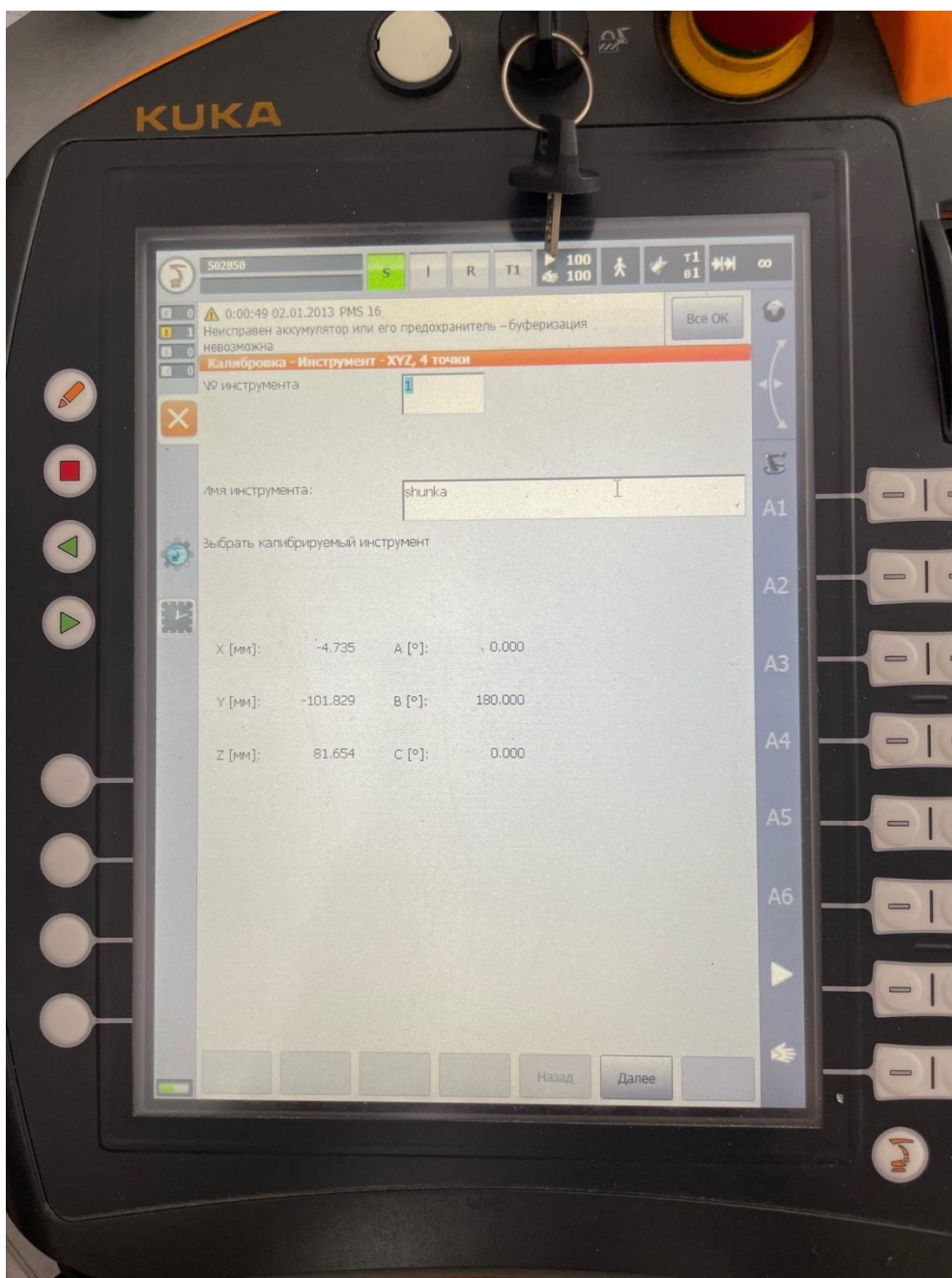


Рисунок 4.2 - Калибровка инструмента

Создаём базу для удобства управления (рисунок 4.3).

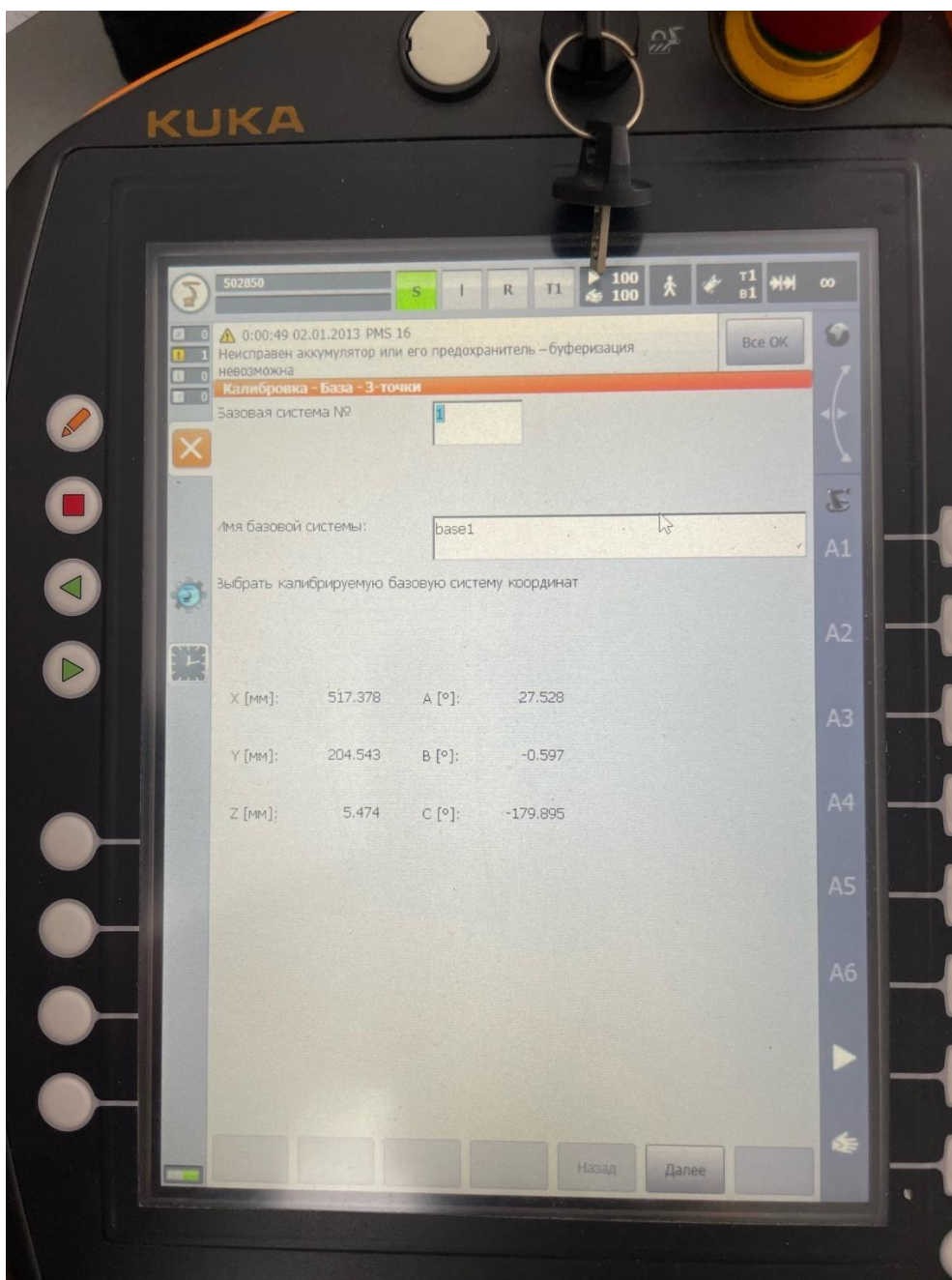


Рисунок 4.3 - Создание базы

Пишем необходимую программу с помощью пульта управления для перемещения 3 кубиков с построением из них башни. Код программы представлен на рисунке 4.4 и 4.5.

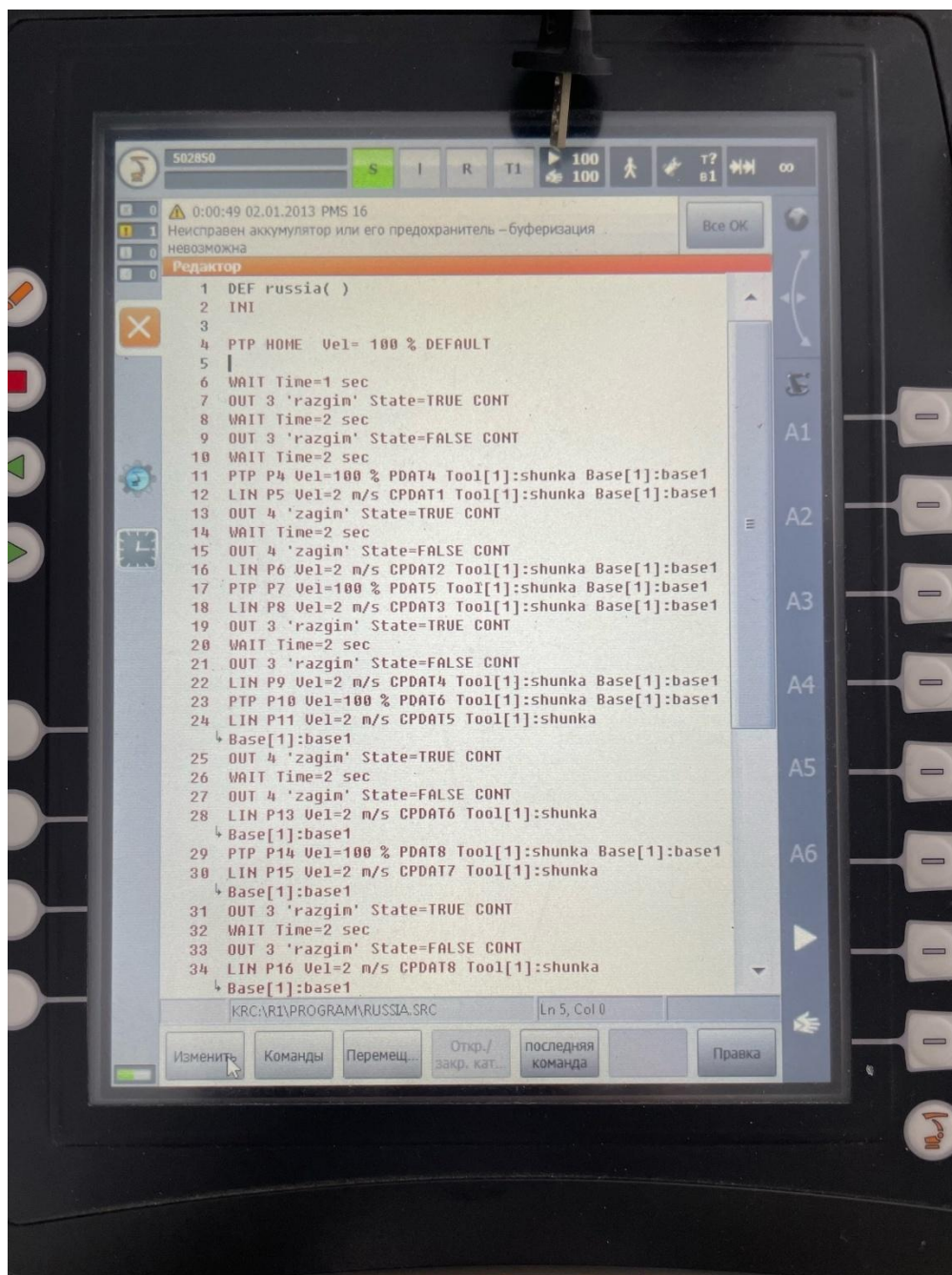


Рисунок 4.4 - Программа управления манипулятором

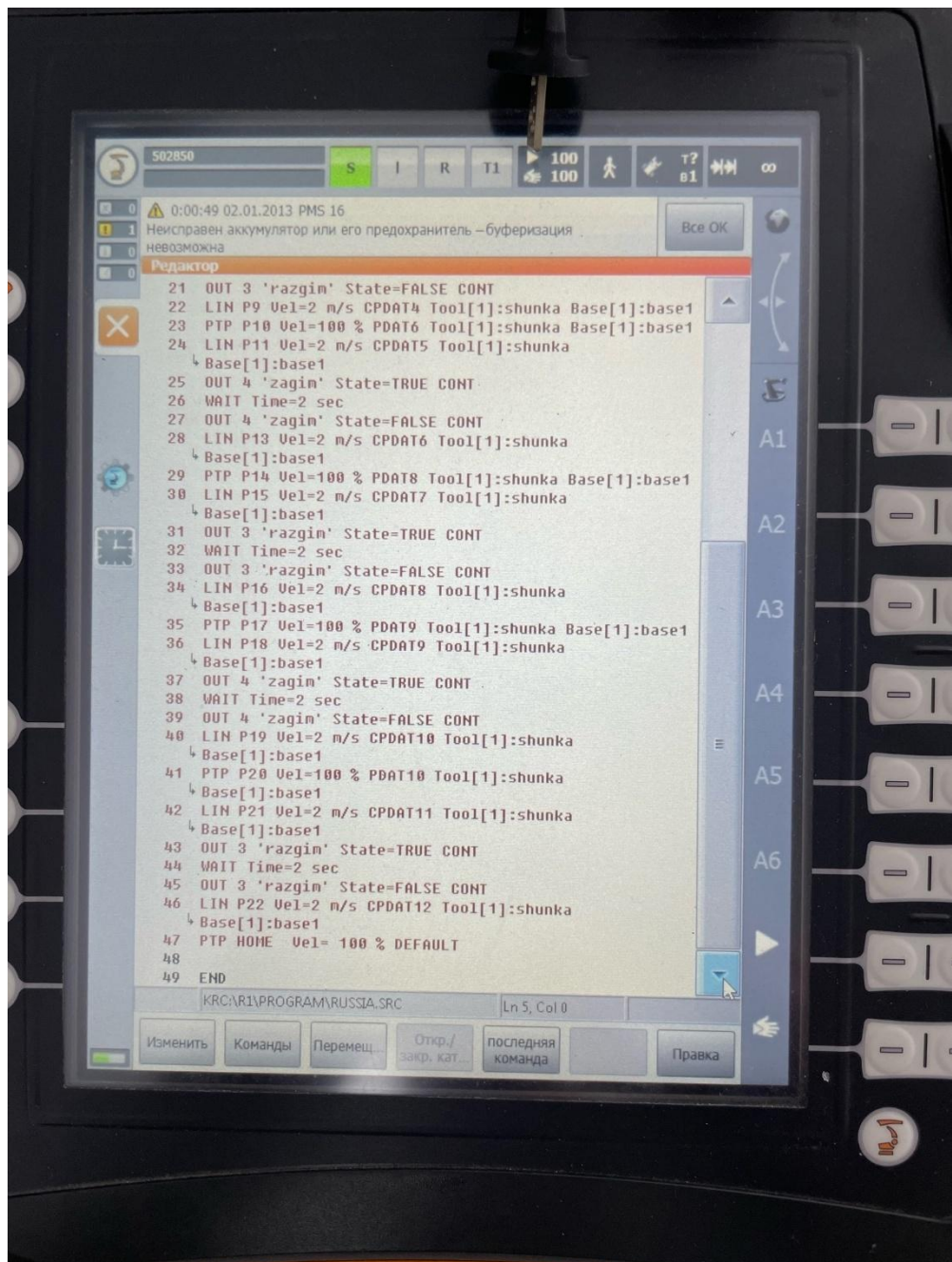


Рисунок 4.5 - Программа управления манипулятором

5. Результаты работы программы

В результате проверки программы она успешно завершилась и выполнила поставленные задачи, что можно увидеть на рисунке 5.1.



Рисунок 5.1 - Результат работы программы

6. Заключение

В ходе выполнения курсового проекта была проведена всесторонняя работа по исследованию манипулятора KUKA, включая изучение его конструкции и основных характеристик. Особое внимание было уделено процессам юстировки, калибровке инструмента и базы, что позволило добиться высокой точности работы робота. Результатом проекта стало создание программы для построения башни, демонстрирующей возможности манипулятора KUKA в выполнении точных и сложных операций.

Полученные результаты подтверждают высокую эффективность использования промышленных роботов в автоматизированных производственных процессах. Таким образом, выполненная работа позволяет сделать вывод о значимости применения манипуляторов KUKA для повышения производительности и качества современных производств, а также об актуальности дальнейших исследований в данной области.

7. Список литературы

1. <https://wikis.utexas.edu/display/SOAdigitech/KUKA+Programming+KRL+Examples>
2. <https://drstienecker.com/tech-332/11-the-kuka-robot-programminglanguage/>
3. https://swsu.ru/sveden/files/PROGRAMMIROVANIE_PROMYSHLENNOGO_ROBOTA_KUKA_LAB.pdf
4. https://www.youtube.com/watch?v=GtxShP_Wtec&t=171s&ab_channel=FutureRobotics
5. KUKA Roboter GmbH «Программирование робота 1 KUKA System Software 8 Учебная документация», 2015.