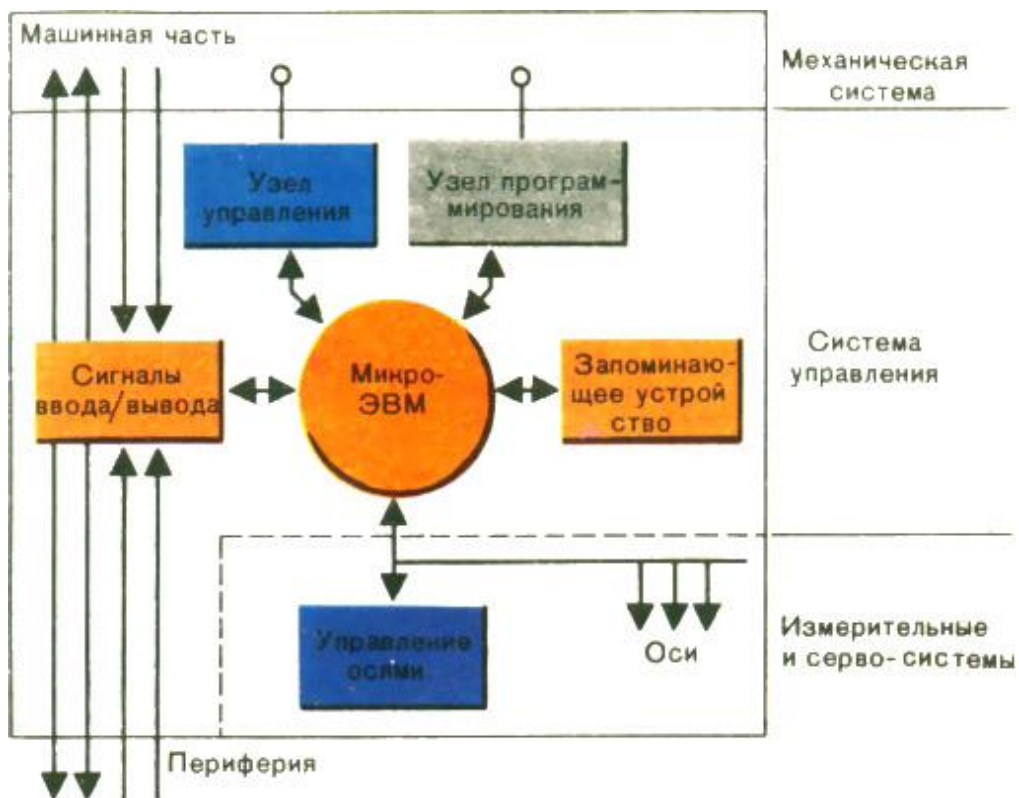


ОСНОВЫ РОБОТОТЕХНИКИ

Исследование роботизированного сборочного участка с техническим зрением



Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)
Кафедра компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП)

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой КСУП
_____ Ю.А. Шурыгин

ОСНОВЫ РОБОТОТЕХНИКИ

Исследование роботизированного сборочного участка с техническим зрением

Руководство к лабораторной работе
для бакалавров обучающихся по направлению 27.03.04 – Управление и информа-
тика в технических системах (Управление в робототехнических системах), а также
для магистров обучающихся по направлению 27.04.04 – Управление и информатика
в технических системах (Управление и автоматизация технологических процессов и
производств)

Разработчики
Доцент каф. КСУП
_____ Коцубинский В.П
Инженер каф. КСУП
_____ Изюмов А.А.
« ___ » _____ 2018 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 ВВЕДЕНИЕ.....	5
2 СОСТАВ КОМПЛЕКСА.....	6
3 ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИНИ–РОБОТА	9
4 ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСА.....	9
5 РАБОТА С ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ.....	14
6 УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА.....	21
7 УПРАВЛЕНИЕ МИНИ–РОБОТОМ В РУЧНОМ РЕЖИМЕ	27
8 СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОМ	29
9 Исследование роботизированного сборочного участка с техническим зрением. Лабораторная работа №1	33
10 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	34

1 ВВЕДЕНИЕ

Робототехнические системы на фоне последних достижений в науке и технике выступают как один из новых видов производственной техники. Применение робототехнических систем требует новой организации технологического процесса и, следовательно, новой специальной подготовки инженеров в этой области. Только при таком условии промышленные роботы и роботизация производства могут дать наибольший народнохозяйственный эффект.

Техническое переоснащение промышленных предприятий связано с комплексной автоматизацией производства на базе использования вычислительной техники и робототехники, созданием роботизированных технологических комплексов (РТК). При этом должна быть обеспечена возможность быстрой переналадки производства на изменение изготавливаемой продукции и технологии, т.е. нужны гибкие производственные системы (ГПС).

Гибкая производственная система имеет многоуровневую иерархическую структуру, нижний уровень которой составляют средства программного управления отдельными объектами (станок, пресс, робот и т.д.). Одним из важных уровней иерархии гибкой производственной системы является гибкий производственный модуль (ГПМ). В состав ГПМ входит от одного до трех станков, вспомогательные механизмы и промышленные роботы.

По традиции история развития роботов делится на поколения, а именно, на три поколения.

Роботы первого поколения – это роботы с программным управлением, предназначенные для выполнения, жестко запрограммированных операций. Такие роботы лишены возможности воспринимать информацию внешнего мира.

Роботы второго поколения – это осязательные роботы, предназначенные для работы с объектами произвольной формы, выполнения сборочных работ и монтажных операций. Они могут собирать информацию о внешней среде, и снабжены большим набором сенсорных датчиков как внешних (оптических, тактильных, телевизионных), так и внутренних (датчиков усилий, моментов, положений).

Роботы третьего поколения – это интеллектуальные роботы, предназначенные не только для воспроизведения физических действий человека, но и для воспроизведения интеллектуальной деятельности.

Совокупность роботов первого и второго поколений позволяет автоматизировать ручные и транспортно–погрузочные операции в промышленности, строительстве и т.д.

Настоящая лабораторная работа посвящена исследованию особенностей сборочных операций, выполняемых с использованием средств автоматизации.

2 СОСТАВ КОМПЛЕКСА

Роботизированный сборочный участок с техническим зрением состоит из следующих частей (рис. 1):

- основание;
- мини–робот;
- штанга с видеокамерой;
- стойка;
- контейнер;
- детали.

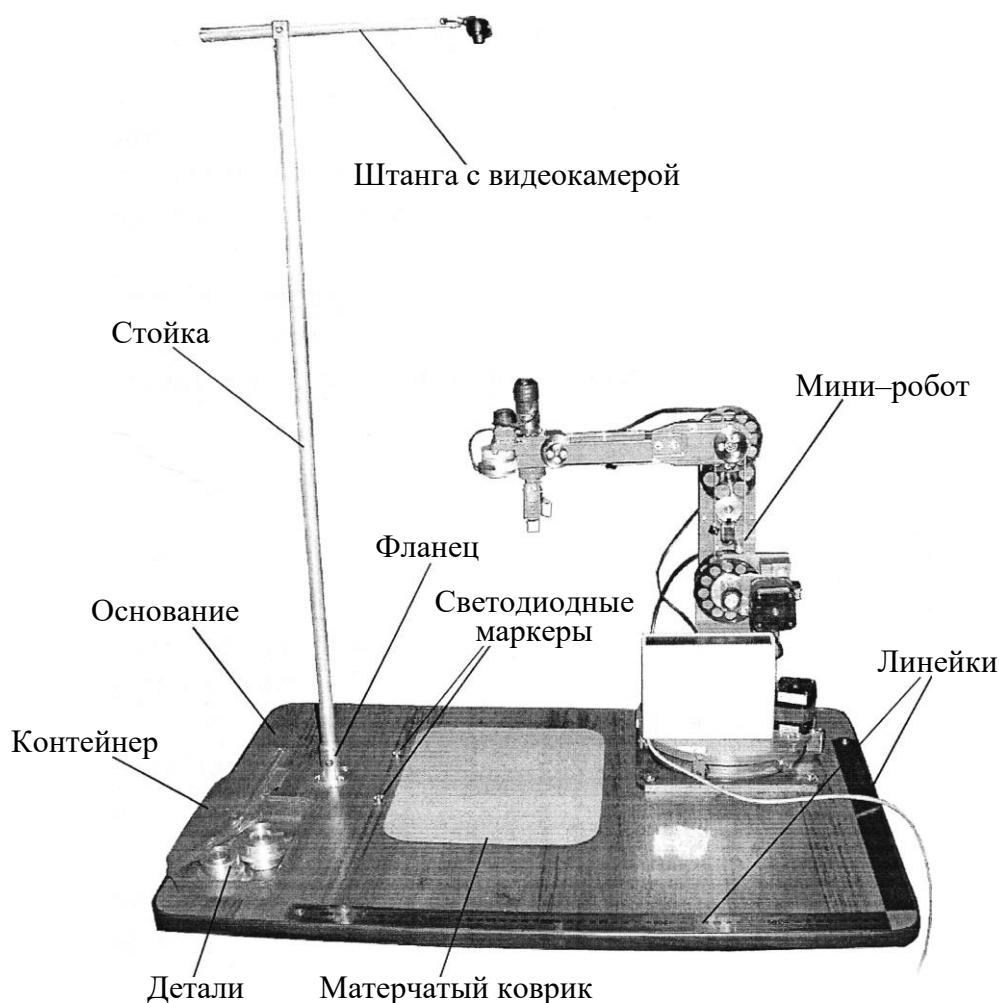


Рисунок 1

Основание

На основание монтируются другие части комплекса: мини-робот, контейнер для хранения деталей, стойка. В состоянии поставки на основании закреплены следующие элементы (рис. 1):

- матерчатый коврик;
- линейки;
- светодиодные маркеры;
- фланец;
- контейнер.

Матерчатый коврик задает рабочую зону системы технического зрения – область, в которой располагаются детали перед автоматической сборкой. Линейки задают систему координат основания.

Светодиодные маркеры предназначены для привязки системы координат видеокамеры к системе координат основания.

Фланец служит для крепления к основанию стойки.

Контейнер предназначен для хранения деталей, используемых при работе комплекса.

Мини-робот

Мини-робот предназначен для выполнения сборочных операций. На рис. 2 показаны звенья мини-робота (в начальном положении): основание, плечо, локоть, кисть, а также принятые направления углов поворота этих звеньев.

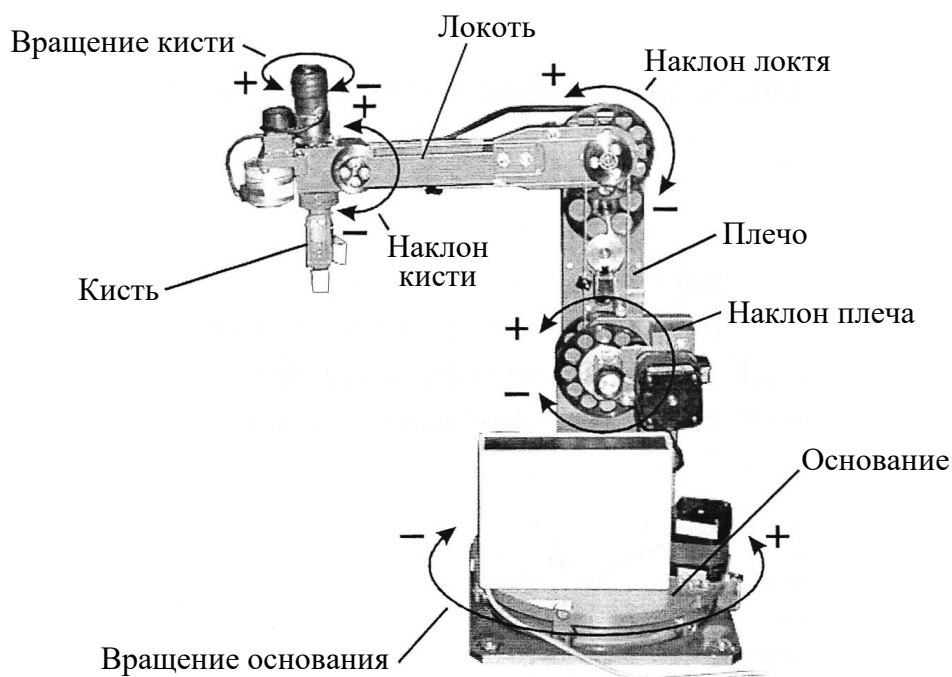


Рисунок 2

Штанга с видеокамерой

Видеокамера предназначена для приема информации о расположении деталей в рабочей зоне системы технического зрения перед выполнением автоматической сборки. Видеокамера работает с разрешением 320×240 пикселей. Видеоинформация передается в персональный компьютер по шине USB.

Штанга определяет горизонтальные координаты видеокамеры в пространстве основания комплекса.

Стойка

Стойка определяет вертикальную координату видеокамеры в пространстве основания комплекса.

Детали

Детали предназначены для использования в сборочных операциях. Условно (по увеличению проекции диаметра на горизонтальную плоскость) детали, поставляемые в составе комплекса, названы «Деталь 1», «Деталь 2», «Деталь 3» (рис. 3). При эксплуатации комплекса рекомендуется придерживаться указанной нумерации деталей.

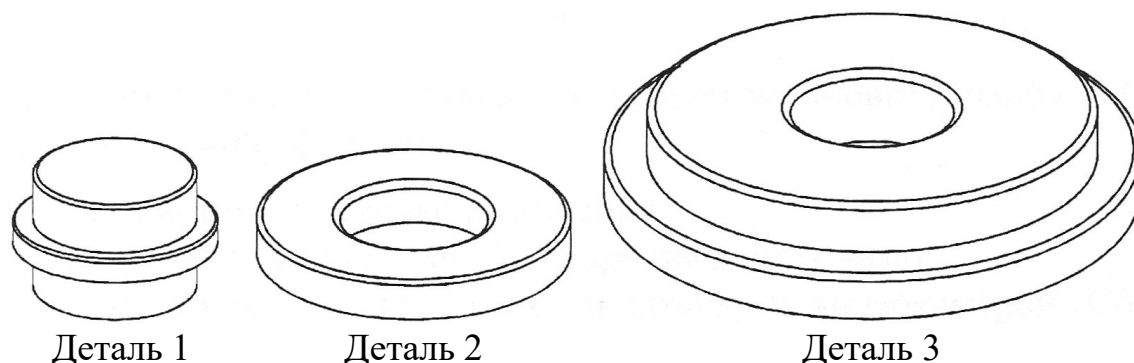


Рисунок 3

3 ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИНИ-РОБОТА

В таблице 1 приведены основные технические характеристики мини-робота.

Таблица 1

Количество степеней свободы	5 + хват
Максимальный вылет кисти	420 мм
Углы поворота звеньев (от начального положения):	
основание	$\pm 150^\circ$
плечо	$-5^\circ \dots +130^\circ$
локоть	$-30^\circ \dots +130^\circ$
наклон кисти	$-130^\circ \dots +50^\circ$
поворот кисти	$\pm 95^\circ$
Грузоподъемность при максимальном вылете	100 г
Величина раскрытия хвата	0 ... 70 мм
Максимальное усилие сжатия хвата	30 Н
Минимальный шаг поворота по осям:	
основание	$0,06^\circ$
плечо	$0,06^\circ$
предплечье	$0,06^\circ$
наклон кисти	$0,3^\circ$
вращение кисти	$0,01^\circ$
Скорости разворота в степенях подвижности, град/с	$15^\circ/\text{с}$
Погрешность повторяемости позиционирования, не более	1 мм
Тип интерфейса	RS232
Питание	сеть 220В, 50Гц
Максимальная мощность потребления	70 Вт

4 ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСА

После подачи питания на мини-робота его внутренняя система управления производит вывод его органов в исходное положение («нулевое положение»), показанное на рис. 1. После выхода мини-робота в «нулевое положение» комплекс готов к работе. Вся дальнейшая работа с комплексом осуществляется при помощи программного обеспечения, установленного на персональном компьютере.

Комплекс может функционировать в ручном и автоматическом режимах. Основным режимом работы – автоматический. В автоматическом режиме выполняются следующие действия:

- при помощи системы технического зрения определяются координаты деталей в рабочей зоне;
- по заранее составленной программе мини-робот выполняет сборку одного или нескольких узлов.

Для математического описания функционирования комплекса введены несколько систем координат (рис. 4).

Основной системой координат, в которой выполняется программирование мини-робота оператором, является система координат основания $OXYZ$. Оси данной системы координат заданы физически при помощи линеек, закрепленных на основании (см. рис. 1). Ось OZ направлена вверх.

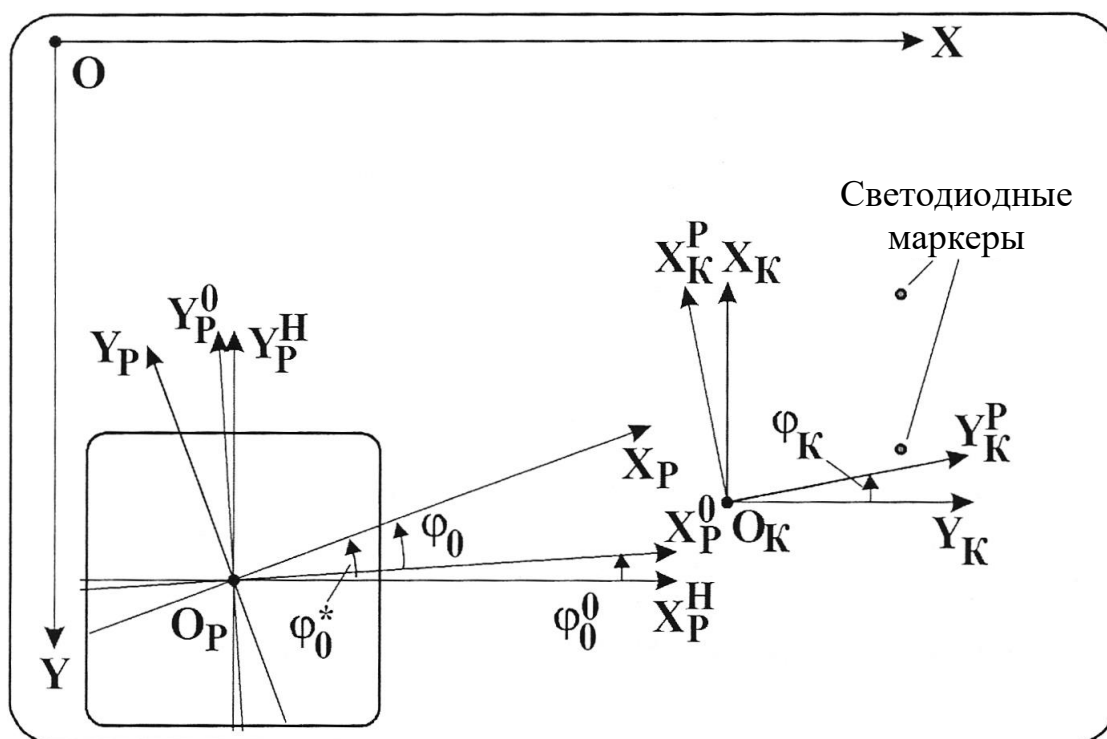


Рисунок 4

Системы координат $O_P X_P Y_P Z_P$ (рис. 4), $O_P^0 X_P^0 Y_P^0 Z_P^0$, $O_P^H X_P^H Y_P^H Z_P^H$ – используются при описании работы мини-робота.

Подвижная система координат $O_P X_P Y_P Z_P$ связана с мини-роботом: плечо и локоть робота находятся в плоскости $O_P X_P Z_P$.

Неподвижная система координат $O^0_P X^0_P Y^0_P Z^0_P$ совпадает с $O_P X_P Y_P Z_P$ в том случае, когда мини-робот находится в «нулевом положении».

Оси неподвижной системы координат $O^H_P X^H_P Y^H_P Z^H_P$ параллельны осям системы координат основания $OXYZ$. Координаты точки O^H_P в системе координат основания хранятся в файле `\data\k_rbt.det`: в первой строке – координата X , во второй строке – координата Y .

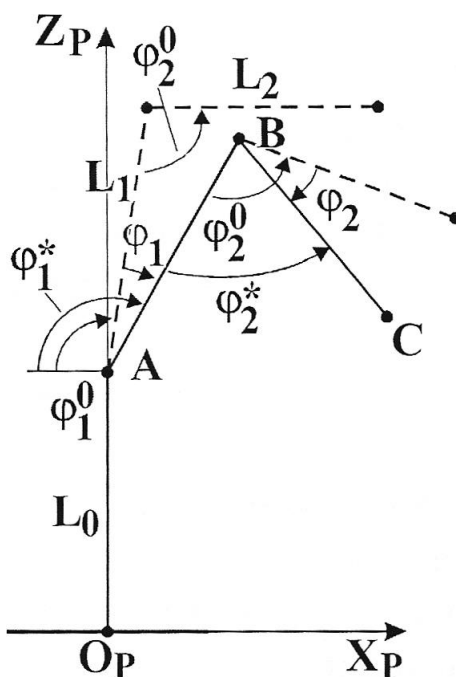


Рисунок 5

Системы координат $O^0_P X^0_P Y^0_P Z^0_P$ и $O^H_P X^H_P Y^H_P Z^H_P$ могут не совпадать. В третьей строке файла `\data\k_rbt.det` хранится величина угла φ^0_0 , в четвертой – φ^0_1 , в пятой – φ^0_2 . Значения углов заданы в градусах, направления отсчета показаны на рис. 4 и 5.

Управление мини-роботом в общем случае строится путем задания углов поворота его звеньев (см. рис. 2): для основания это угол φ_0 , для плеча – угол φ_1 , для локтя – φ_2 . В математических расчетах, реализуемых программным обеспечением комплекса, участвуют углы φ^*_0 , φ^*_1 , φ^*_2 . При расчетах принимается, что $L_0 = 196$ мм, $L_1 = 160$ мм, $L_2 = 180$ мм. Эти числа хранятся в файле `\data\k_rbt.det` (шестая, седьмая и восьмая строки соответственно).

Система технического зрения обрабатывает информацию в собственной плоской системе координат $O_K X^K_P Y^K_P$, оси которой лежат в плоскости OXY и, в общем случае, развернуты относительно осей OX

и ОУ на угол φ_K . Определение этого угла, а так же координат точки O_K в системе координат основания осуществляется при выполнении операции «**Настройка камеры**». При этом используется информация о координатах светодиодных маркеров.

Таким образом, функционирование комплекса в автоматическом режиме сводится к следующему:

1. видеочкамера системы технического зрения принимает изображение деталей, находящихся в рабочей зоне;
2. программное обеспечение определяет тип этих деталей и координаты их центров в системе координат $O_K X_K^P Y_K^P$;
3. с использованием угла φ_K координаты центров деталей пересчитываются в систему координат $O_K X_K Y_K$, оси которой параллельны осям системы координат основания;
4. по известным координатам точки O_K координаты центров деталей пересчитываются в систему координат основания $OXYZ$;
5. схват мини-робота выводится в заданную точку, определяемую требуемыми координатами (например, координатами центра одной из деталей).

В ручном режиме оператор может управлять мини-роботом двумя способами:

- по координатам звеньев мини-робота;
- по координатам схвата мини-робота.

При управлении по координатам звеньев оператор может задать требуемый угол поворота любого из звеньев, а также состояние схвата.

Внимание! При управлении по координатам звеньев углы поворота задаются в дискретах, связанных с реальными углами следующими соотношениями:

поворот основания	1 градус = 16,67 дискрет
поворот плеча	1 градус = 16,67 дискрет
поворот локтя	1 градус = 16,67 дискрет
наклон кисти	90 градусов = 300 дискрет
поворот кисти	90 градусов = 250 дискрет

Физически дискрета равна «шагу» соответствующего шагового двигателя.

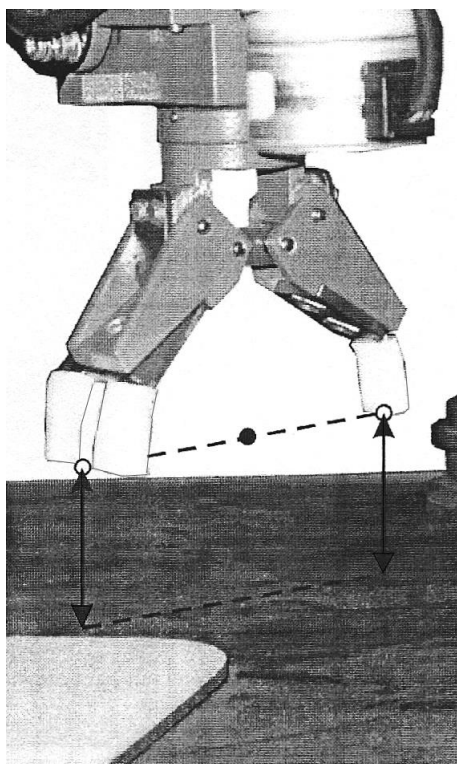


Рисунок 6

При управлении по координатам схвата оператор задает требуемые координаты схвата, пересчет в углы поворота звеньев осуществляется программным обеспечением комплекса.

Под координатами схвата подразумевается координаты «виртуальной» точки «Центр схвата», показанной на рис. 6. При этом схват должен быть полностью разжат. Программное обеспечение пересчитывает задаваемые оператором координаты схвата в координата центра шарнира, вокруг которого осуществляется наклон кисти робота (см. рис. 2).

Внимание! Координаты схвата должны задаваться в системе координат основания в миллиметрах. Схват робота должен быть строго вертикален.

5 РАБОТА С ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ

Запуск программы


Запуск программы осуществляется запуском файла RobotVision.exe. На момент запуска программы к ПК должны быть подключены мини-робот и система технического зрения. Монитор ПК должен быть настроен на разрешение минимум 1024×768 пикселей.

После запуска на экране монитора ПК появится окно программы, показанное на рис. 7.



Рисунок 7

Открытие СОМ–порта

СОМ–порт персонального компьютера должен быть открыт оператором для установления обмена с мини–роботом. СОМ–порт открывается нажатием на кнопку . Об открытии СОМ–порта свидетельствует индикатор, расположенный рядом с этой кнопкой (рис. 8).

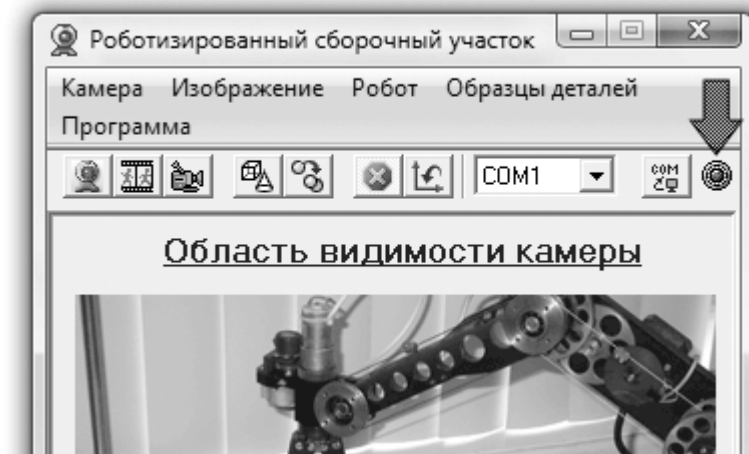



Рисунок 8

Для настройки СОМ–порта используется команда меню **Робот** ⇒ **Настройка СОМ-порта**.

Параметры СОМ–порта (кроме, при необходимости, номера) изменять не следует. По умолчанию программа использует порт СОМ1.

Получение изображения рабочей зоны

Для получения изображения рабочей зоны системы технического зрения необходимо выбрать команду меню **Камера** ⇒ **Получить видеоизображение** или нажать кнопку . В окне программы должно появиться изображение, охватывающее рабочую зону системы технического зрения (матерчатый коврик, закрепленный на основании).

Внимание! Перед выполнением операции получения изображения на мини–робота должно быть подано питание. В этом случае мини–робот осуществит автоматический переход в «опорную точку» с тем, чтобы не загромождать рабочую зону системы технического зрения.

Если перед выполнением этой операции СОМ–порт персонального компьютера не был открыт, то на экране появится соответствующее сообщение. В этом случае после нажатия кнопки необходимо открыть СОМ–порт. Если к персональному компьютеру не подключена система технического зрения, то в нижнем поле окна программы на



несколько секунд появится сообщение «Камера не найдена!!!» (рис. 9).

9).

Рисунок 9



Рисунок 10


Кадр сохраняется в файле `\pic.bmp` и может быть помещен в поле программы командой **Изображение** ⇒ **Исходное изображение**.

Настройка камеры

Внимание! Данная операция не затрагивает настроек видеокамеры. При выполнении этой операции осуществляется привязка системы координат видеокамеры $O_K X_K Y_K$ к системе координат основания (см. рис. 4) по имеющемуся в кадре изображениям светодиодных маркеров.

Появившееся в окне программы видеоизображение (рис. 10) охватывает рабочую зону системы технического зрения.

На данном этапе работы с программой можно осуществить ручную подстройку резкости изображения (путем вращения объектива видеокамеры).

Для получения кадра необходимо выполнить команду меню **Камера** ⇒ **Снять кадр** или нажать кнопку  (рис. 10).

В этом случае работа программы с видеокамерой останавливается, изображение в окне программы становится статичным. Вся дальнейшая работа программы по обработке изображения будет осуществляться с полученным кадром.

Для настройки камеры необходимо выделить на изображении кадра область, охватывающую изображения светодиодных маркеров (рис. 11).

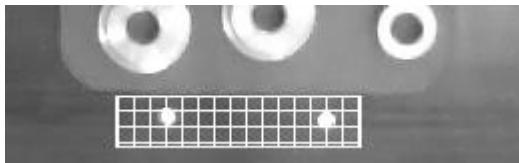



Рисунок 11

После выделения области необходимо выбрать команду меню **Камера ⇒ Настройка камеры** или нажать кнопку .

Программа переводит изображение выделенной области в черно-белое, анализирует черно-белое изображение и находит две окружности заданного радиуса. Центры этих окружностей принимаются за координаты светодиодных маркеров в системе координат камеры.

При корректном выполнении операции в поле программы должно появиться изображение, аналогичное показанному на рис. 12.

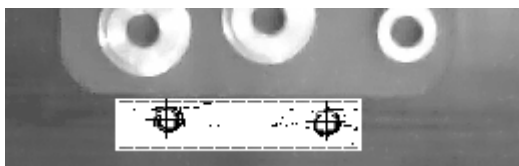


Рисунок 12

Распознавание деталей

Для выполнения автоматической сборки деталей в узлы необходимо рассортировать детали, находящиеся в рабочей зоне системы технического зрения, по какому-либо признаку и определить координаты этих деталей, т. е. выполнить распознавание деталей. Для упрощения алгоритмов распознавания детали, используемые для автоматической сборки, имеют в горизонтальной проекции круглую форму (см. рис. 3). Сортировка деталей осуществляется по характерному размеру – диаметру. Диаметры деталей (в пикселях изображения видеокамеры) хранятся в файле `\data\det.det` и автоматически считываются при запуске программного обеспечения комплекса.

Перед выполнением операции распознавания деталей необходимо на полученном кадре рабочей зоны системы технического зрения выделить область поиска деталей (рис. 13). Область может охватывать как все детали, имеющиеся в кадре, так и часть деталей.

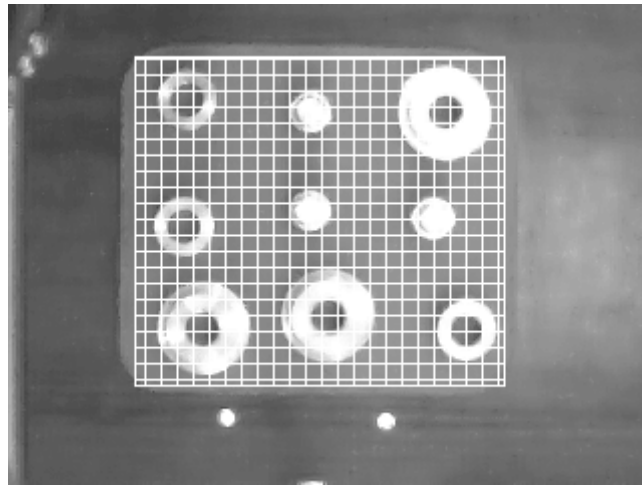



Рисунок 13

Распознавание деталей не может быть выполнено, если камера предварительно не была настроена. Чтобы ранее выделенная область, охватывающая изображения светодиодных маркеров, не «мешала» работе с изображениями деталей (реально выделение этой области на распознавании деталей не скажется) кадр можно «обновить», считав изображение из памяти персонального компьютера командой **Изображение** ⇒ **Исходное изображение**.

Параметры настройки камеры хранятся в памяти персонального компьютера до завершения работы с программой, поэтому настройку камеры следует производить только перед первым распознаванием деталей после запуска программы (при условии, что физическое положение видеокамеры не меняется).

Для распознавания деталей, расположенных в выделенной области изображения, необходимо выбрать команду **Изображение** ⇒ **Быстрое распознавание деталей** или нажать кнопку .

Алгоритмы, реализующие распознавание деталей в лабораторном комплексе, выполняют преобразование выделенной области в черно-белое изображение с выделением контуров деталей и поиск в выделенной области контуров круглой формы заданного диаметра. Диаметры деталей (в пикселях изображения видеокамеры), хранящиеся в файле `\data\det.det`, получают при обработке изображений образцовых деталей. Для уверенного распознавания требуется, чтобы диаметры деталей отличались не менее чем на 3 пикселя.

Параметр «**Яркость контура**» влияет на преобразование исходного изображения в черно–белое. На рис. 14 показаны результаты преобразования исходного значения в черно–белое (с выделением контуров) при различных значениях этого параметра. Получить черно–белое изображение выделенной области можно командой **Изображение** ⇒ **Черно-белое**.

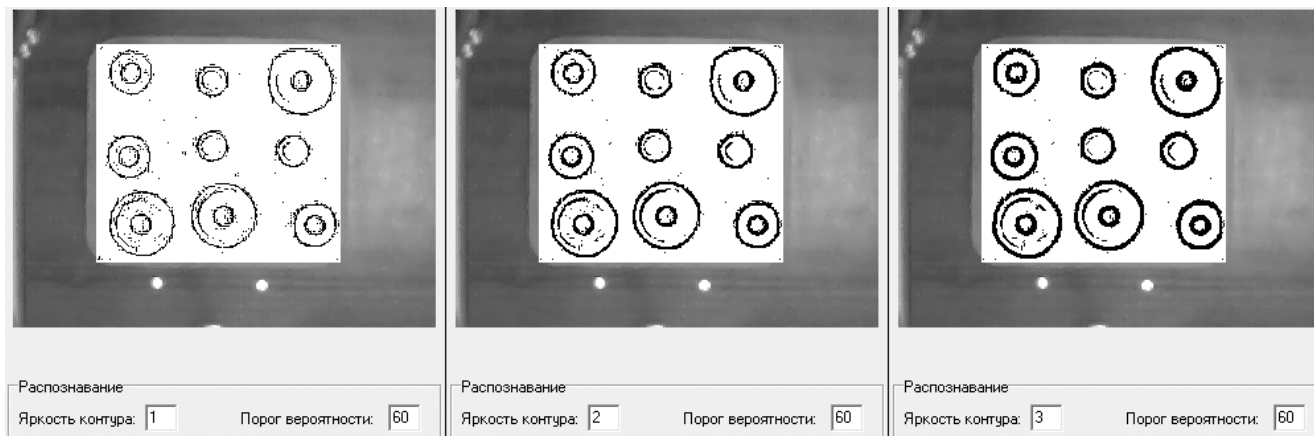


Рисунок 14

Величина параметра «**Яркость контура**» существенно влияет на качество распознавания деталей.

Параметр «**Порог вероятности**» задает нижнюю границу количества точек черного цвета, которые лежат на окружности заданного радиуса. Если в процессе распознавания деталей находится контур круглой формы, который содержит точек черного цвета не менее, чем задано этим параметром, а радиус контура не более чем на 3 пикселя отличается от радиуса одной из образцовых деталей, то этот контур считается контуром детали.

Значение параметра «**Порог вероятности**» не может быть выше 80. Уменьшение порога повышает качество распознавания деталей при недостаточно «ярком» контуре. Однако чрезмерное уменьшение порога может привести к ошибкам в распознавании.

Результат работы алгоритма программного обеспечения, реализующего распознавание деталей, показан на рис. 15.



Детали, изображения которых присутствовали в выделенной области кадра, сортируются на три группы «Деталь 1», «Деталь 2», «Деталь 3». Контуры деталей одной группы описываются окружностями одинакового цвета. Каждой детали в группе присваивается порядковый номер. Нумерация деталей ведется по направлению оси O_KX_K системы координат камеры (слева направо на изображениях в поле программы). Деталей одного типа не может быть больше 10.

Рисунок 15

Поле «Параметры деталей» содержит информацию о результатах распознавания: диаметр деталей в группе, количество деталей в группе, количество черных точек в контуре принятого диаметра, соответствующее каждой детали. Данная информация является вспомогательной и программным обеспечением не используется.

В файле `\data\rasp.det` сохраняются горизонтальные координаты (в мм, в системе основания) центров деталей, найденные в ходе выполнения распознавания.

6 УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА

В автоматическом режиме мини-робот выполняет управляющую программу, составленную оператором. Цель программы – выполнить сборку узлов из деталей, исходно находящихся в рабочей зоне системы технического зрения.

Для перехода в окно работы с управляющей программой необходимо использовать команду **Программа**. Окно работы с управляющей программой показано на рис. 16.

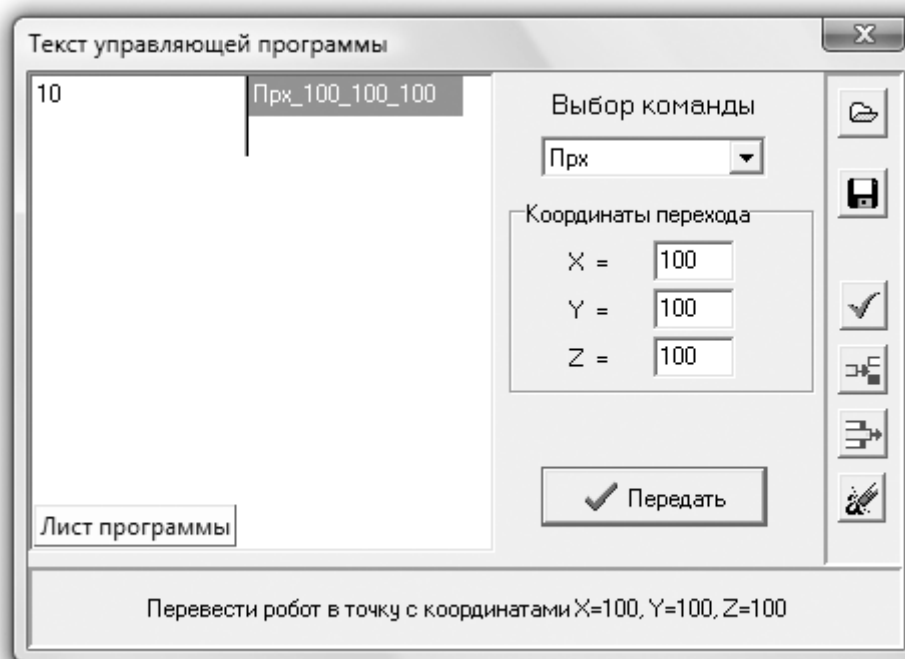




Рисунок 16



Текст управляющей программы состоит из команд. Каждая команда в программе имеет свой номер. Нумерация команд осуществляется автоматически с шагом в 10. При написании программы команды выбираются из списка.


При нажатии на кнопку  выбранная в списке команда добавляется в конец программы.


При нажатии на кнопку  выбранная в списке команда добавляется в позицию курсора в тексте программы.

При нажатии на кнопку  стирается строка в позиции курсора в тексте программы.

При нажатии на кнопку  стирается вся программа.

Управляющая программа может быть сохранена в памяти ПК () и считана оттуда (). При считывании программы из памяти производится проверка ее корректности. Если файл с управляющей программой содержит неверные команды или их номера, то выдается предупреждение.

Управляющая программа должна быть передана в основное окно программы нажатием на кнопку . После появления сообщения, «Управляющая программа передана», следует нажать кнопку ОК: управляющая программа будет передана, окно работы с управляющей программой закроется.

Для выполнения управляющей программы следует выбрать команду **Робот** ⇒ **Выполнить сборку** или нажать кнопку .

Команды управляющей программы

Для управления мини-роботом используется 10 команд.

СхЗ – зажать схват мини-робота. Команда отрабатывается системой управления в течение 5 секунд.

СхР – разжать схват мини-робота. Команда отрабатывается системой управления в течение 1 секунды.

СхП – повернуть схват мини-робота. В команде задается абсолютный угол поворота схвата (в градусах) относительно положения схвата после выхода робота в начальную точку.

СхН – наклонить схват мини-робота. В команде задается абсолютный угол наклона схвата (в градусах) относительно положения схвата после выхода робота в начальную точку.

ДН_n – взять n-ю деталь N-го типа. При выполнении данной команды программное обеспечение рассчитывает координаты схвата мини-робота, обеспечивающие захват n-й детали N-го типа. Захват детали схватом при отработке этой команды не выполняется. Горизонтальные координаты детали определяются с использованием системы технического зрения в процессе распознавания деталей. Вертикальная координата Z схвата при выполнении этой команды задается разной для деталей разного типа с учетом высоты матерчатого коврика h_k (рис. 17). Значения заданных вертикальных координат схвата для деталей трех типов хранятся в файле `\data\h_det.det` по порядку увеличения диаметров деталей. **Внимание!** Перед выполнением данной команды схват мини-робота должен быть выведен в вертикальное положение.

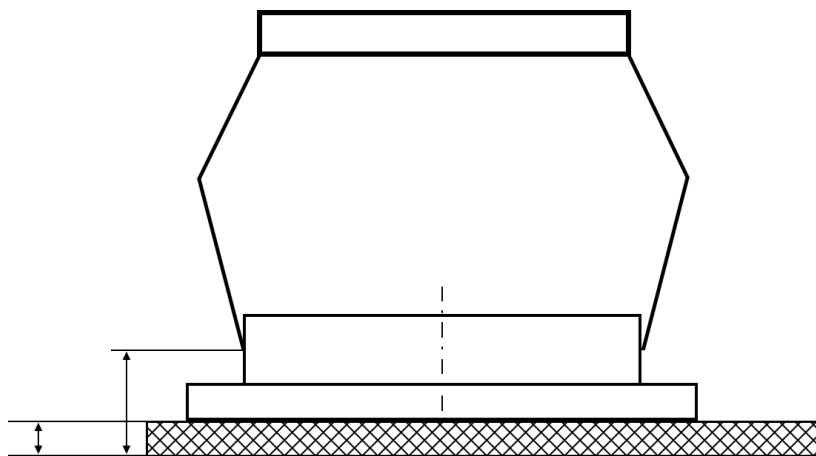



Рисунок 17



Прх – переход мини-робота в заданное положение. В команде задаются требуемые координаты схвата мини-робота (в мм, в системе координат основания). **Внимание!** Перед выполнением данной команды схват мини-робота должен быть выведен в вертикальное положение.


Отн – переход мини-робота в заданное положение. В команде задаются требуемые координаты схвата мини-робота (в мм, относительно текущего положения схвата). **Внимание!** Перед выполнением данной команды схват мини-робота должен быть выведен в вертикальное положение.

НулПол – переход мини-робота в «нулевое положение». После перехода в «нулевое положение» выполнение управляющей программы прекращается.

Выполнение управляющей программы

Для выполнения управляющей программы следует выбрать команду **Робот** ⇒ **Выполнить сборку** или нажать кнопку . В этом случае управляющая программа начнет выполняться с первой команды, имеющей номер 10.

Если требуется начать выполнение программы не с первой команды, следует при нажатии кнопки  удерживать клавишу Shift на клавиатуре. В этом случае появится поле, предлагающее ввести номер команды, с которой следует начать выполнение программы. Программа начнет выполняться после нажатия .

Выполнение управляющей программы может быть прервано командой **Робот** ⇒ **Аварийная остановка робота** или нажатием на кнопку . Мини-робот в этом случае совершает выход в «нулевое положение».

Особенности составления управляющей программы

При составлении управляющей программы следует обратить внимание на ряд моментов.

В большинстве случаев хват мини-робота должен находиться в вертикальном положении. Поэтому одной из первых команд в программе должна быть команда **СхН**, корректирующая возможную исходную неvertикальность.

Команды перехода **Прх** и **Отн** не обеспечивают (в силу особенностей системы управления используемого мини-робота) перемещение по кратчайшим траекториям. При отработке этих команд звенья мини-робота начинают перемещаться практически одновременно, но время окончания их движений разное. Это ведет к непредсказуемым промежуточным положениям хвата, которые в ряде случаев могут привести к временной неработоспособности мини-робота. Поэтому рекомендуется вводить в программу дополнительные команды перехода в точки с «безопасными» координатами. Так как наибольшую опасность представляет контакт хвата с основанием, то безопасными можно считать точки с вертикальными координатами более 100 мм.

Команда **ДН_n** обеспечивает автоматический захват n-й детали N-го типа. Вертикальная координата Z хвата при выполнении этой команды задается с учетом высоты матерчатого коврика и хранится в файле `\data\h_det.det`. Эту координату следует учитывать при последующем выполнении операции **Прх**. Например, для случая, показанного на рис. 18, требуется взять деталь и перенести в новую точку таким образом, чтобы деталь находилась на высоте Z_{TP} над поверхностью основания. Очевидно, что вертикальная координата хвата в этой точке $Z_1 = Z_{TP} + Z_0 - h_K$.

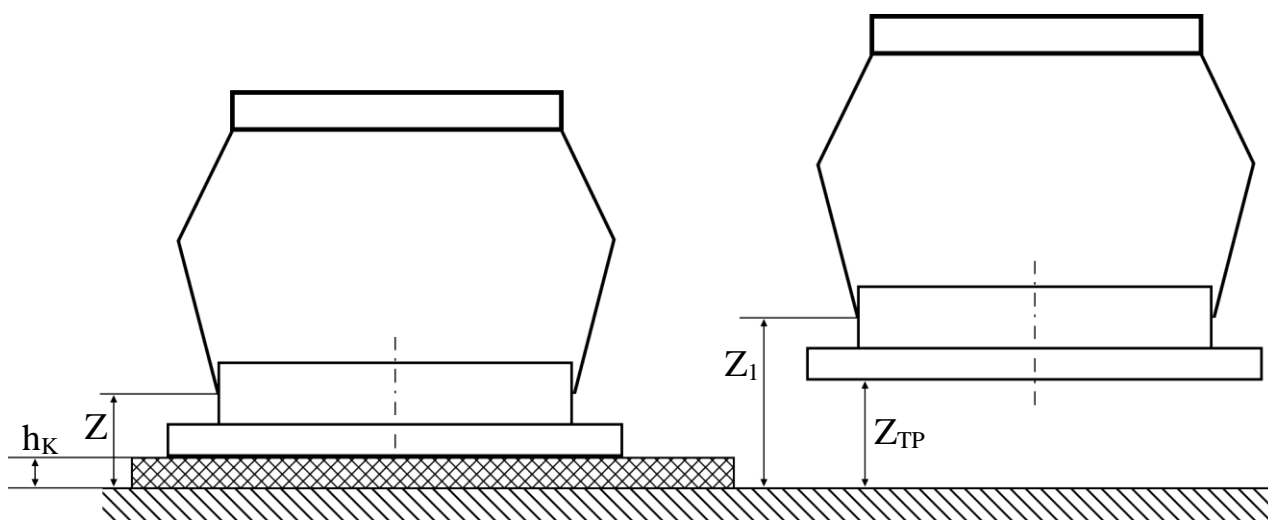


Рисунок 18

При составлении управляющей программы будет полезна информация, представленная на рис. 19.

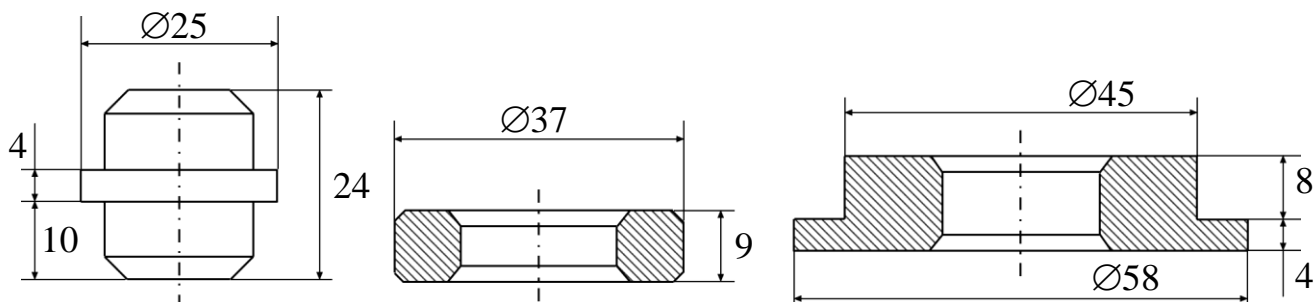


Рисунок 19

Программное обеспечение контролирует соответствие количества распознанных деталей и деталей, присутствующих в управляющей программе. Если в управляющей программе встречается деталь, не распознанная системой технического зрения (например 4-я деталь 2-го типа при условии, что деталей 2-го типа на рабочей зоне 3 штуки), то схват мини-робота выводится в некоторую точку над основанием комплекса и выполнение программы продолжается. Управляющая программа не может содержать более 250 команд.

Пример составления управляющей программы

Пусть стоит задача из деталей, находящихся в рабочей зоне системы технического зрения, собрать узел, показанный на рис. 20: установить на основание деталь 2, вставить в нее деталь 1, одеть на деталь 1 еще одну деталь 2. Центр узла должен иметь горизонтальные координаты (100 мм, 100 мм).

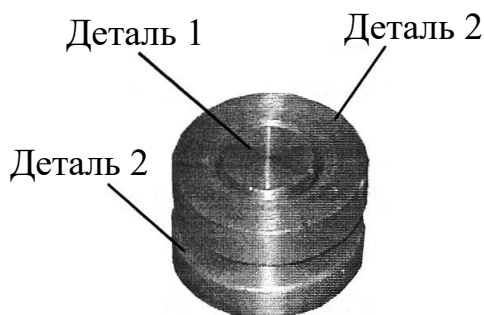


Рисунок 20

Ниже приведен текст управляющей программы, позволяющей реализовать данную сборочную операцию. Программа носит ознакомительный характер и при использовании может потребовать корректировки.

10	СхР	- схват разжать
20	СхН_ -3	- наклон схвата на 3° для устранения исходной невертикальности схвата мини-робота
30	Д2_1	- взять 1-ю деталь 2-го типа (схват мини-робота устанавливается над этой деталью)
40	СхЗ	- схват зажать – команда отрабатывается в течении 5 секунд, хотя деталь большого диаметра зажимается за существенно меньшее время
50	Отн_0_0_100	- зажатая деталь перемещается вверх на 100 мм
60	Прх_100_100_100	- схват с зажатой деталью перемещается в точку с заданными координатами
70	Отн_0_0_-92	- зажатая в схват деталь перемещается вниз на 92 мм практически до касания основания
80	СхР	- схват разжать
90	Отн_0_0_100	- схват перемещается вверх на 100 мм
100	Прх_350_200_200	- схват перемещается в промежуточную точку с «безопасными» координатами
110	Д1_1	- взять 1-ю деталь 1-го типа (схват мини-робота устанавливается над этой деталью)
120	СхЗ	- схват зажать
130	Отн_0_0_100	- зажатая деталь перемещается вверх на 100 мм
140	Прх_100_100_100	- схват с зажатой деталью перемещается в точку с заданными го координатами
150	Отн_0_0_-70	- зажатая в схват деталь перемещается вниз на 70 мм практически до касания с деталью 2
160	СхР	- схват разжать
170	Отн_0_0_100	- схват перемещается вверх на 100 мм
180	Прх_350_200_200	- схват перемещается в промежуточную точку с «безопасными» координатами
190	Д2_2	- взять 2-ю деталь 2-го типа (схват мини-робота устанавливается над этой деталью)
200	СхЗ	- схват зажать
210	Отн_0_0_100	- зажатая деталь перемещается вверх на 100 мм
220	Прх_100_100_100	- схват с зажатой деталью перемещается в точку с заданными координатами
230	Отн_0_0_-70	- зажатая деталь перемещается вниз на 70 мм практически до касания с деталью 1
240	СхР	- схват разжать
250	Прх_350_200_200	- схват перемещается в промежуточную точку с «безопасными» координатами
260	НулПол	- окончание программы – переход мини-робота в «нулевое положение»

ПРИМЕЧАНИЕ. На точность распознавания деталей (и, следовательно, на последующую работу робота) влияет расположение источника света. Тень от детали может привести при распознавании к смещению расчетного геометрического центра. Данную ситуацию можно использовать для изучения влияния контрастности тени на примененный способ технического зрения. При смещении стенда относительно источника освещения можно устранить возникшую погрешность распознавания.

7 УПРАВЛЕНИЕ МИНИ-РОБОТОМ В РУЧНОМ РЕЖИМЕ

Для управления мини-роботом в ручном режиме необходимо выбрать команду **Робот ⇨ Ручное управление роботом**. Выполнение этой команды вызовет появление окна, показанного на рис. 21.

В ручном режиме оператор может управлять мини-роботом двумя способами:

- по координатам звеньев мини-робота;
- по координатам схвата мини-робота.

При управлении по координатам звеньев оператор может задать требуемый угол поворота любого из звеньев, а также состояние схвата. При этом углы поворота задаются в дискретах, связанных с реальными углами следующими соотношениями:

поворот основания	1 градус = 16,67 дискрет
поворот плеча	1 градус = 16,67 дискрет
поворот локтя	1 градус = 16,67 дискрет
наклон кисти	90 градусов = 300 дискрет
поворот кисти	90 градусов = 250 дискрет

Физически дискрета равна «шагу» соответствующего шагового двигателя.

При управлении по координатам схвата оператор задает требуемые координаты схвата, пересчет в углы поворота звеньев осуществляется программным обеспечением комплекса.

Под координатами схвата подразумевается координаты «виртуальной» точки «Центр схвата» (см. рис. 6). Программное обеспечение пересчитывает задаваемые оператором координаты схвата в координаты центра шарнира, вокруг которого осуществляется наклон кисти робота (см. рис. 2).

Внимание! Координаты схвата должны задаваться в системе координат основания в миллиметрах. Схват робота должен быть строго вертикален.

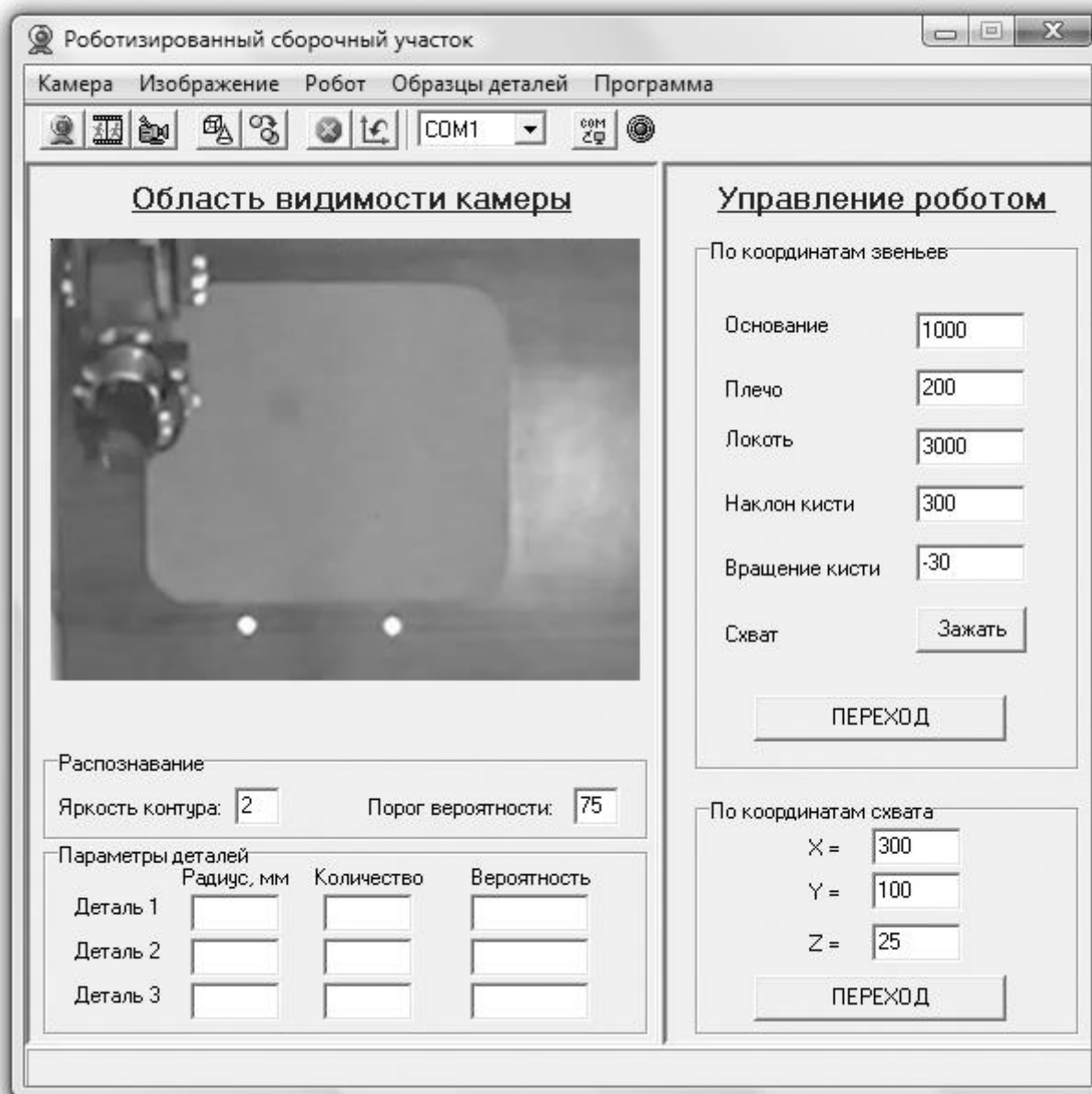


Рисунок 21

Кнопки обеспечивают отработку мини-роботом заданных оператором координат. Окно, обеспечивающее ручное управление мини-роботом, может быть закрыто командой **Программа**.

8 СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОМ

Система управления выполнена без обратных связей по угловому положению осей манипулятора, что возможно только при использовании шаговых двигателей.

Однако при таком принципе управления необходимо в начальный момент времени (включение питания) каким-то образом задавать начальное положение осей, относительно которого далее происходит подсчет шагов каждого шагового двигателя. Для этого, в каждой оси манипулятора установлены потенциометрические датчики угла типа СП5-21, установленные на осях звеньев манипулятора и обеспечивающие грубое приведение осей манипулятора в начальное положение. Для точного приведения осей (с точностью до одного шага двигателя) используются щелевые оптроны, установленные непосредственно на осях приводных шаговых двигателей, за исключением оси поворота кисти.

Процесс приведения в исходное состояние по каждой оси состоит из следующих этапов:

1. определение направления движения по потенциометрическому датчику;
2. приведение «грубо» по потенциометрическому датчику угла в требуемую зону с погрешностью до одного оборота шагового двигателя;
3. продолжение движения в заданном направлении до возникновения сигнала с выхода щелевого оптрона.

В манипуляторе используются 5 шаговых двигатели (ШД) – во всех осях, кроме схвата, а в приводе схвата установлен коллекторный двигатель постоянного тока (Д). На оси «вращение схвата» установлен только потенциометрический датчик угла.

Система управления выполнена на одной печатной плате. Блок-схема платы управления приведена на рис. 22.

Центральным звеном системы управления манипулятора является микроконтроллер 16F877 фирмы «Microchip», выполняющий:

1. приведение звеньев манипулятора в исходное положение после включения манипулятора;
2. прием команд от управляющей ПЭВМ через интерфейс RS232;
3. формирование ответного пакета информации о действительном положении осей манипулятора;
4. управление всеми двигателями манипулятора.

В качестве усилителей для управления двигателями используются микросхемы КТ1128КН4, в качестве блока связи, формирующего требуемые уровни напряжений для работы интерфейса RS232, использована микросхема ADM232. Для работы логических микросхем входное напряжение 12В от блока питания стабилизируется линейным стабилизатором КР142ЕН5.

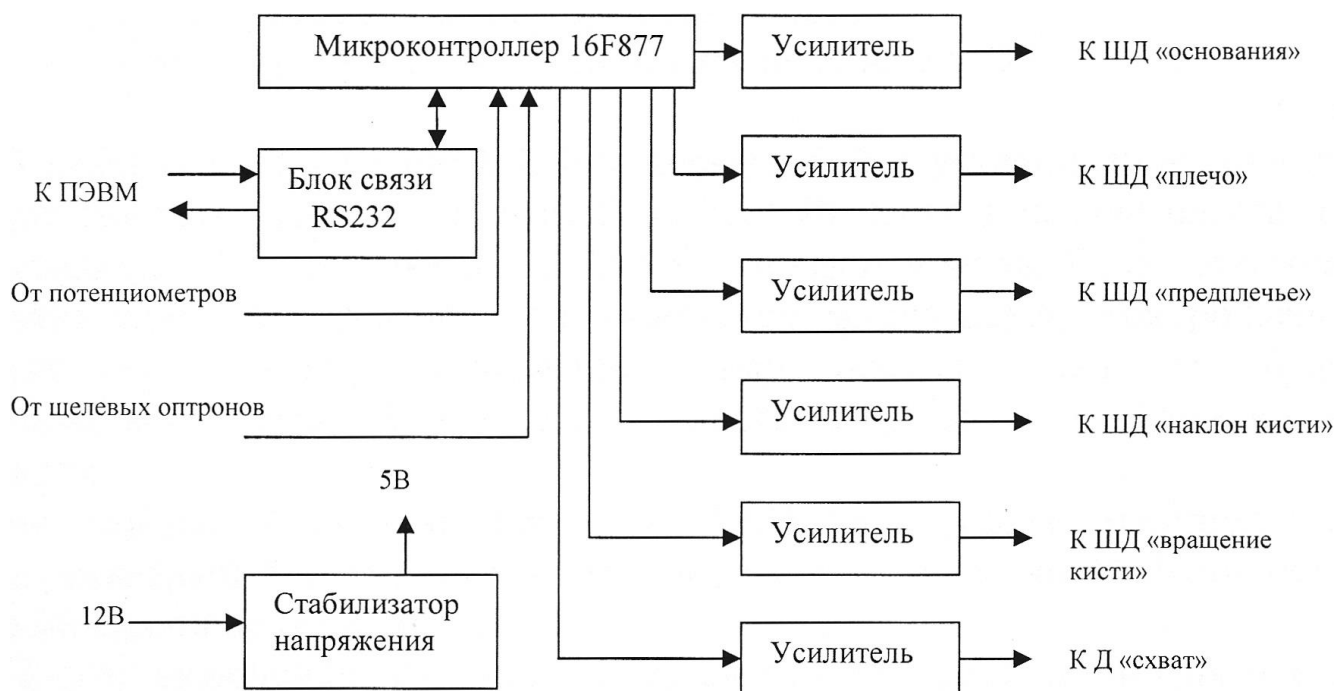


Рисунок 22

Протокол обмена информацией между управляющей ПЭВМ и манипулятором

Обмен информацией осуществляется через интерфейс RS232. Параметры обмена: длина слова – 9 бит (8 бит информации + бит признака первого слова); скорость обмена – 9200 Бод.

Инициатором обмена является управляющая ПЭВМ. Передача от ПЭВМ к контроллеру осуществляется пакетами по 11 байт. Каждые два байта пакета несут информацию для соответствующего ему шагового двигателя (16-ти разрядное знаковое целое число шагов, первый байт – младшая часть):

- 1 и 2 байты – установка для ШД основания;
- 3 и 4 байты – установка для ШД плеча;
- 5 и 6 байты – установка для ШД локтя;
- 7 и 8 байты – установка для ШД наклона кисти;
- 9 и 10 байты – установка для ШД вращения кисти;
- 11 байт – установка силы сжатия схвата (–127..+127).

В каждом новом пакете 9-й бит первого байта установлен в единицу. Это гарантия того, что именно этот байт первый, то есть начало пакета. Во всех остальных байтах пакета 9-й бит установлен в ноль. Если приемник обнаружил единицу в 9-м бите, то начинается запись пакета контроллером манипулятора, иначе, информация (передаваемые данные) будет игнорироваться. Каждый байт пакета начинается старт-битом и заканчивается стоп-битом. На каждый принятый пакет от ПЭВМ контроллер манипулятора передает ответный пакет из 10-ти байт – по два байта на звено. Информация о состоянии схвата не передается.

Некоторые дополнительные данные:

1. для двигателей основания, плеча, локтя – 16,6 шагов/градус,
2. для двигателей кисти: наклон – 300 шагов/90 градусов,
3. вращение – 750 шагов/90 градусов.

После включения питания и установки звеньев манипулятора в исходное положение контроллер манипулятора посылает донесение в ПЭВМ со всеми нулями.

После получения первоначального сигнала с манипулятора (все нули) оператор может посылать команды. В процессе выполнения манипулятором очередной команды на ПЭВМ передаются углы, соответствующие действительному положению звеньев.

На рис. 24 показана кинематическая схема манипулятора.

- 1, 3, 5, 11, 15 – потенциометры СП5-21
 2, 4, 6, 10, 16 – шаговые двигатели
 7, 8, 9, 12 – нуль-контакт (щелевой оптрон)
 13, 14 – тросовая передача
 17 – мотор-редуктор

$U1 = U2 = U3 = U4 = 30$
 $U5 = 1$

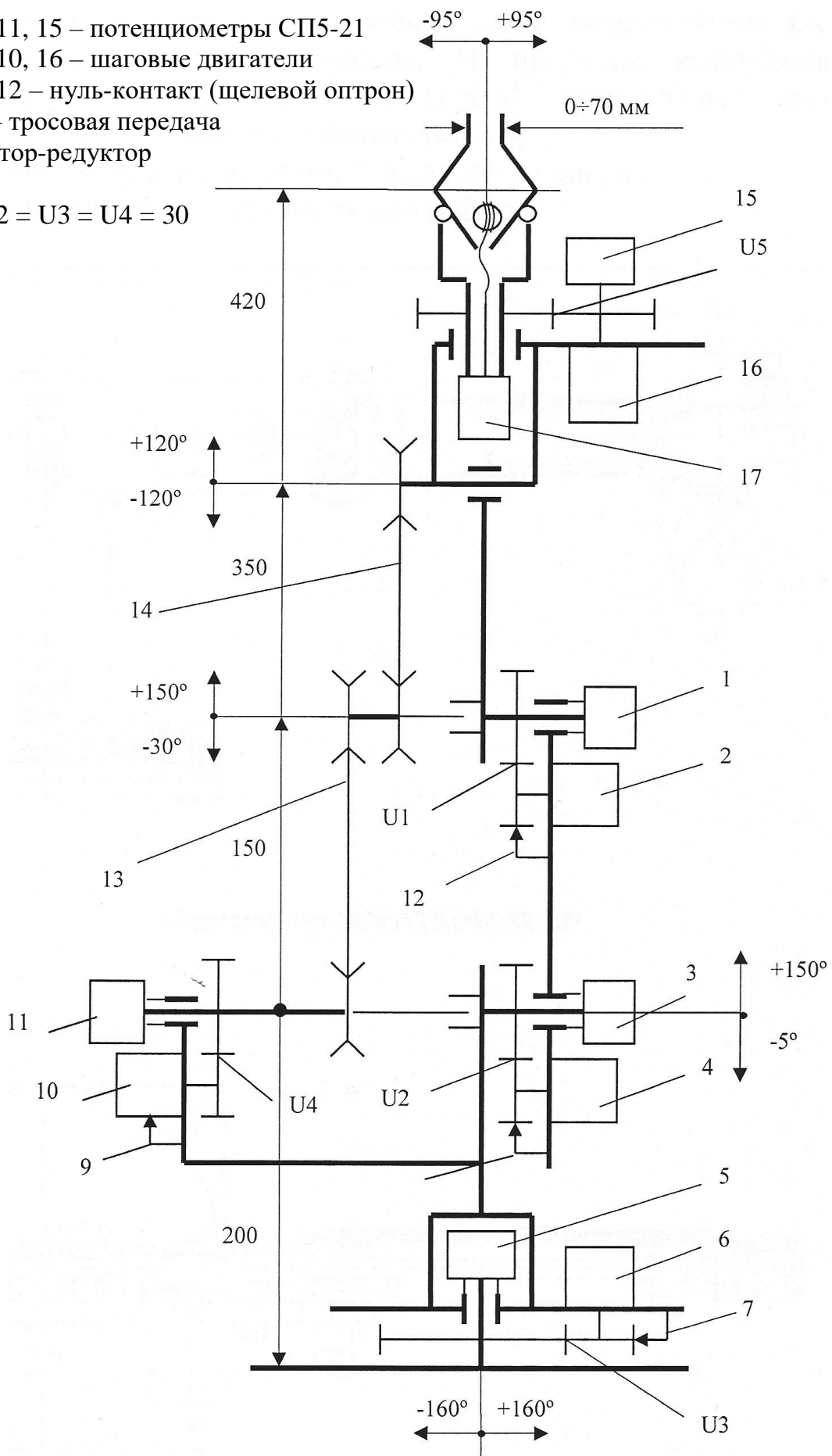


Рисунок 24

9 Исследование роботизированного сборочного участка с техническим зрением. Лабораторная работа №1

Цель работы

Изучение набора команд и структуры Роботизированного сборочного участка с техническим зрением, а также написание программ для выполнения сборки составной детали.

Ход работы

- 1.** Ознакомьтесь с правилами техники безопасности, указаниями по эксплуатации и порядком подключения комплекса к компьютеру в инструкции по эксплуатации учебного робота.
- 2.** Изучите раздел 4 «Функционирование комплекса» данного методического пособия и включите комплекс.
- 3.** Ознакомьтесь с разделом 5 данного методического пособия, после чего составьте детали на коврик, запустите программу управления комплексом, откройте СОМ-порт, настройте камеру и выполните распознавание деталей.
- 4.** Прочитайте раздел 6 данного методического пособия, загрузите и выполните пример управляющей Программы 1 из \data\helloworld.dat (текст этой программы приведен на стр. 26), и проследите за сборкой.
- 5.** Составьте и выполните управляющую программу для сборки фигуры из 4х деталей Программа 2.
- 6.** Построчно прокомментируйте, над какими объектами производятся действия в заключительной части («Сборка») управляющей программы из \data\program.xls находится в соответствующей папке на Рабочем столе Программа 3.
- 7.** Соберите детали в контейнер, выведите мини-робот в нулевое положение и отключите питание комплекса.
- 8.** Отчет должен содержать результаты выполнения пунктов работы, тексты программ 1, 2, 3 а также общие выводы по работе.

10 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы основные проблемы программной и аппаратной частей комплекса, при составлении и исполнении программы, собирающей вместе все 9 деталей?
2. Возможно–ли программно изменить угол φ_0 ровно на 2 градуса? На 3 градуса?
3. Каким координатам звеньев и состоянию схвата соответствует переданный мини–роботу пакет данных, представление которого в кодировке KOI8-R содержит текст «|Hi Cyborg|»?
4. Опишите содержимое файла \data\k_rbt.det.
5. Каковы быстродействие (MIPS) и рабочая частота (MHz) используемого в мини–роботе микроконтроллера?
6. Сколько ДПТ содержит манипулятор мини–робота? Состояние сколько из них передаётся в ответных пакетах?
7. Возможно–ли при помощи комплекса автоматизировать процесс выполнения последовательности команд: в области технического зрения распознать бутылку и стакан, взять бутылку, перелить содержимое в стакан, поставить бутылку и протянуть стакан в нужном направлении?

Ответы:

1)

Аппаратной – погрешности, программной – низкий лимит команд (ниже заявленного), отсутствие циклов, отсутствие возможности обработать данные обратной связи и т.д.

2)

φ_0 – угол поворота основания; на 2° – нет, на 3° – да. $16,(6) \times 3 = 50$ дискрет ровно, либо по таблице 1: $2/0,06 = 33,(3)$; $3/0,06 = 50$.

3)

Текст KOI8-R \Rightarrow

81	48	69	20	43	79	62	6F	72	67	81
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

 \Rightarrow

\Rightarrow слова:

48	81	20	69	79	43	6F	62	67	72	81
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

 \Rightarrow

\Rightarrow координаты:

18561	8297	31043	28514	26482
-------	------	-------	-------	-------

, схват:

-127

.

Проверка – снифер, или отправка порта в текстовик.

4)

Содержимое файла \data\k_rbt.det, построчно:

1. координата X точки O^{H_p} ,
2. координата Y точки O^{H_p} ,
3. величина угла φ^0_0 ,
4. величина угла φ^0_1 ,
5. величина угла φ^0_2 (направления отсчета – рис. 4 и 5),
6. $L_0 = 196$ мм,
7. $L_1 = 160$ мм,
8. $L_2 = 180$ мм (рис 5).

5)

<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010241>

На сайте: CPU Speed (MIPS) – 5, в pdf: Operating Frequency – 20 MHz.

Ответы на вопросы с подвохом:

6)

ДПТ – 1 (остальные ШД), из них с обратной связью – 0.

7)

Технически – возможно, но процесс распознавания не полностью автоматизирован \Rightarrow нет.