

УДК 681.51

В.Л. Русинов, В.И. Усенко

## УЧЕБНЫЙ РОБОТ-МАНИПУЛЯТОР «УР-4»

*В статье описывается система управления роботом-манипулятором, который используется для проведения лабораторных работ по автоматизации типовых производственных процессов. Рассматриваются достоинства и недостатки существующей системы управления, построенной на основе программируемого логического контроллера OMRON CPIL, и предлагается его замена на программный контроллер Mach3.*

*Ключевые слова: робот-манипулятор, программируемый логический контроллер, программный робот, технологическая обстановка, шаговый двигатель.*

## EDUCATIONAL ROBOT MANIPULATOR «UR-4»

*The article describes the robot manipulator control system, which is used for laboratory work on automation of typical production processes. The advantages and disadvantages of the existing control system based on the programmable logic controller OMRON CPIL are considered and it is proposed to replace it with the Mach3 software controller.*

*Key words: robot manipulator, programmable logic controller, software robot, technological environment, stepper motor.*

## Введение

Дальнейшим развитием автоматизированных производств стало внедрение в технологическую цепочку промышленных роботов, которые дают большую выгоду при автоматизации мелко- и среднесерийных производств, когда переходы к выпуску новых изделий осуществляются довольно часто.

Промышленные роботы условно можно поделить на три поколения.

Роботы первого поколения (программные), как правило, работают по заранее заданной программе, не меняющейся в процессе работы. Предназначены для автоматизации несложных операций при неизменной окружающей технологической обстановке [1].

Роботы второго поколения (адаптивные) обладают адаптивным управлением, основанном на многовариантном программном управлении и использовании множества датчиков (измерительных преобразователей, чувствительных элементов), с помощью которых робот получил новую способность, названную «очувствлением».

Роботы третьего поколения (интеллектуальные) отличаются от роботов второго поколения более сложной вычислительной и сенсорной системами, обладают способностью зрительно воспринимать окружающую обстановку, вести диалог с человеком в привычной для него форме, самообучаться в процессе решения поставленных задач.

Рассматривая развитие поколений роботов, можно отметить их постепенное очеловечивание: в первом поколении – моделирование механических возможностей человека, во втором – моделирование сенсорных возможностей и в третьем – моделирование мыслительных процессов [2]. При смене поколений технические характеристики роботов (мощность, точность, вес, размеры, внешний вид и пр.) менялись незначительно, но их системы управления стали более сложными, возросли их функциональные возможности, что привело к значительному увеличению стоимости системы управления. Так, стоимость механики в роботах первого поколения составляла 75%, электроники – 25% от общей стоимости, а в роботах третьего поколения система управления может быть дороже механической части в десятки раз.

Можно отметить еще одну характерную особенность промышленной робототехники – органичное сосуществование всех трех поколений роботов, когда более современное и совершенное поколение не вытесняет предыдущее. Этому способствуют два фактора. Первый – надежность, вытекающая из свойства: чем проще система, тем она надежнее. Системы управления роботов первого поколения несложны, программное управление обычно реализуется на аппаратном уровне с использованием микроконтроллеров или программируемых логических контроллеров (ПЛК), надежность работы которых высока. Второй фактор связан с конструктивными особенностями промышленных роботов. При надлежащей кинематике и приводе из робота первого поколения путем улучшения системы управления можно получить робот второго или даже третьего поколения.

В статье рассматривается учебный стенд с роботом-манипулятором «УР-4», который можно отнести к первому поколению. Он использует несколько датчиков, обеспечивающих систему управления технологической информацией. Необходимый алгоритм работы реализуется в ПЛК, который составляет основу системы управления. С целью переналадки робота необходимо менять алгоритм работы системы управления. Для этого в специальной среде программирования создается программа, которая затем загружается в ПЛК, после чего система управления готова к работе по новому алгоритму.

### Конструктивное исполнение робота

Учебный робот «УР-4» входит в состав лабораторного стенда «Средства автоматизации и управления роботами-манипуляторами «САУ-РОБОТ». Стенд позволяет изучить [3]:

архитектуру и программирование промышленного контроллера OMRON CP1L на языках LD и FBD;

программирование и работу «УР-4»;

работу датчиков технологической информации (оптический на отражение, емкостный и индуктивный);

построение систем автоматизации на базе робота-манипулятора.

Робот установлен на металлическую платформу с координатной сеткой (рис. 1). На платформе установлены три площадки, рядом с каждой из которых находится датчик технологической информации для отработки перемещений робота-манипулятора.

Манипулятор робота обладает тремя переносными степенями подвижности в цилиндрической системе координат (рис. 2).

В качестве электропривода используются шаговые двигатели (ШД). Движение вылета стрелы (координата  $r$ ) и подъема (координата  $Z$ ) осуществляется гибридными ШД типа GD57STH56-2808A, поворот (координата  $\varphi$ ) – двигателем GD57STH76- 2006A и схват – двигателем GD42STH47- 0406A. Вращательное движение шаговых двигателей вылета и подъема стрелы преобразуется в поступательное движение с помощью высокоточных шарико-винтовых передач (ШВП). Перемещение схвата и стрелы осуществляется по рельсовым направляющим с использованием подшипников качения.

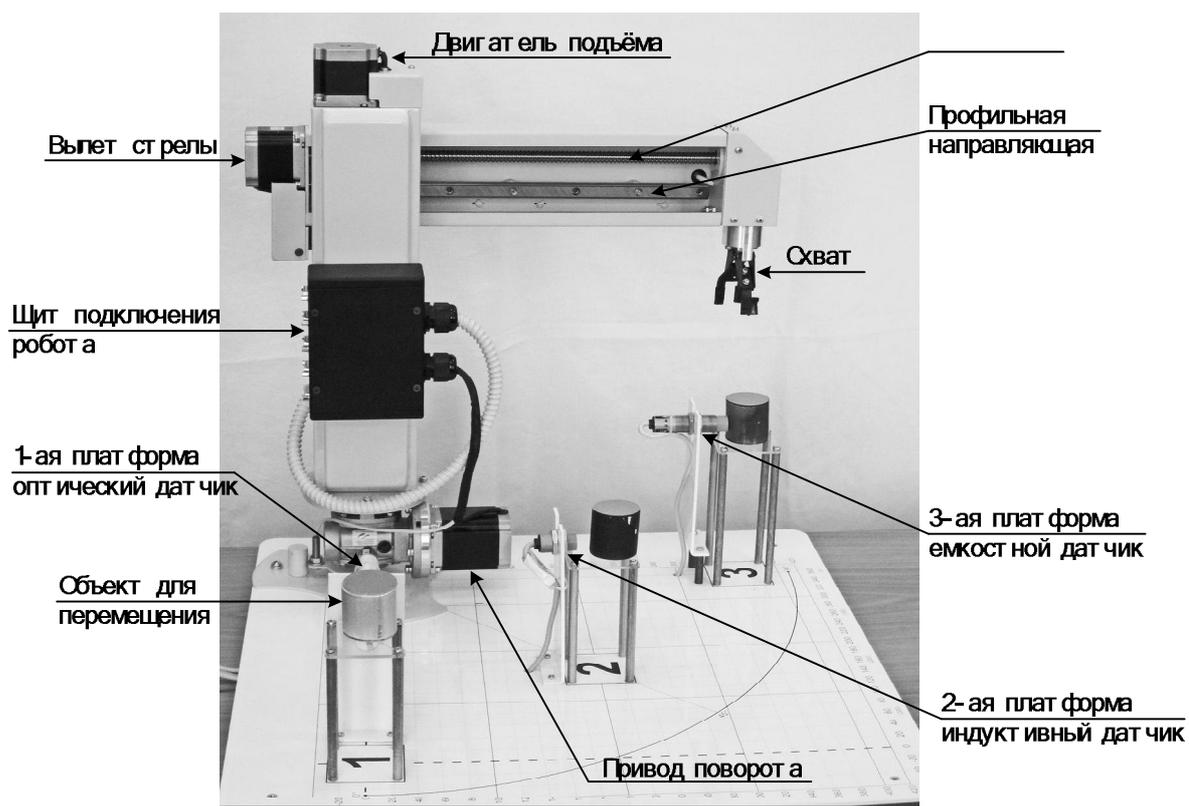


Рис. 1. Внешний вид «УР-4».

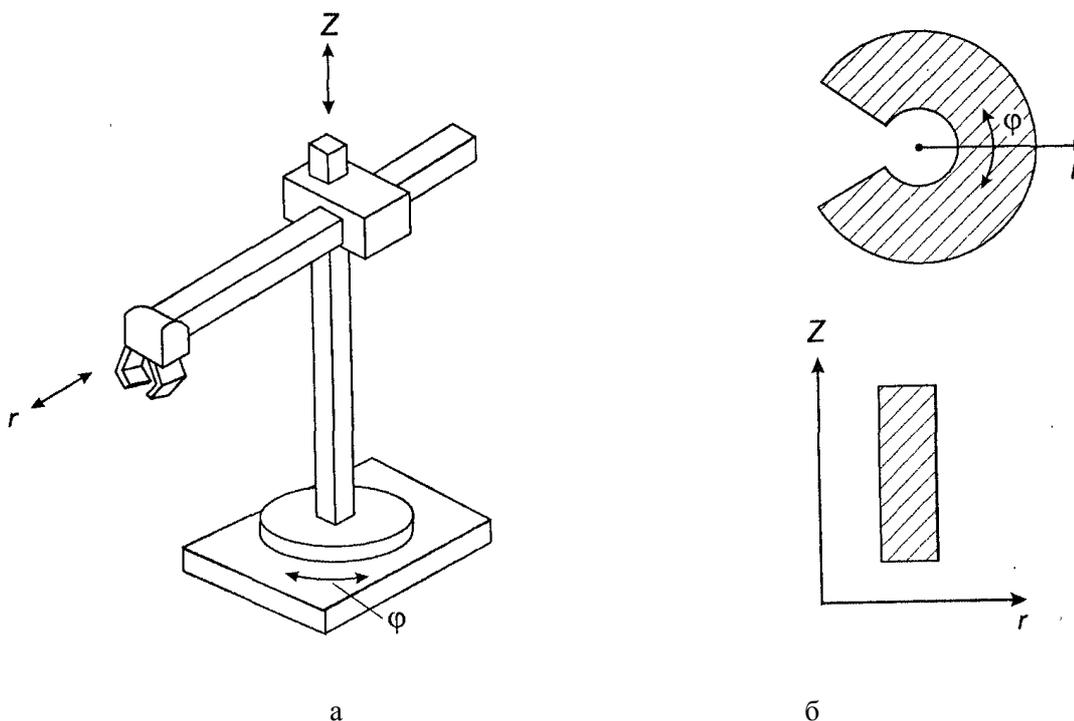


Рис.2. Конструкция манипулятора:

а – манипулятор с цилиндрической системой координат; б – его рабочая зона.

### Система управления

Аппаратная часть системы управления (СУ) роботом реализована с применением программируемого логического контроллера OMRON CP1L и технически выполнена в виде двух блоков – блока лицевой панели стенда (рис. 3) и блока управления роботом (рис. 4).

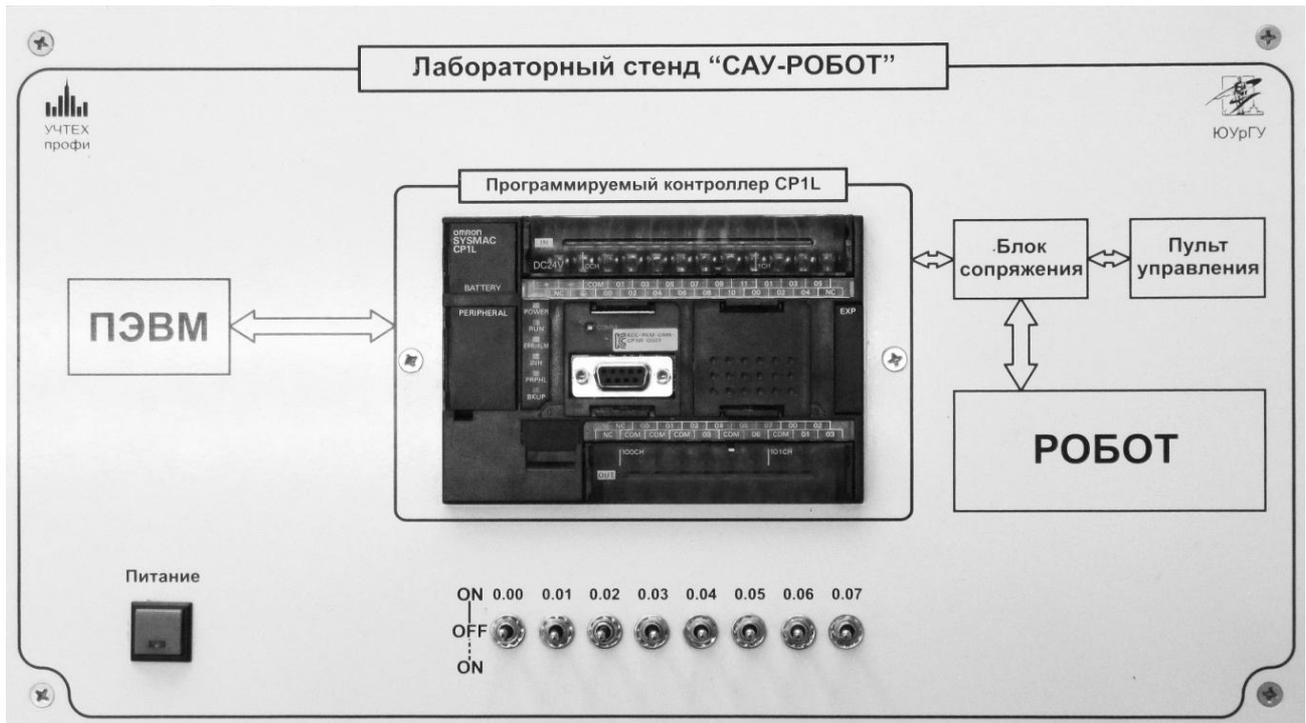


Рис.3. Внешний вид ПЛК OMRON CP1L и лицевой панели стенда.

Блок лицевой панели стенда с изображенной на нем структурной схемы СУ содержит ПЛК и тумблеры подачи логических сигналов на дискретные входы контроллера.

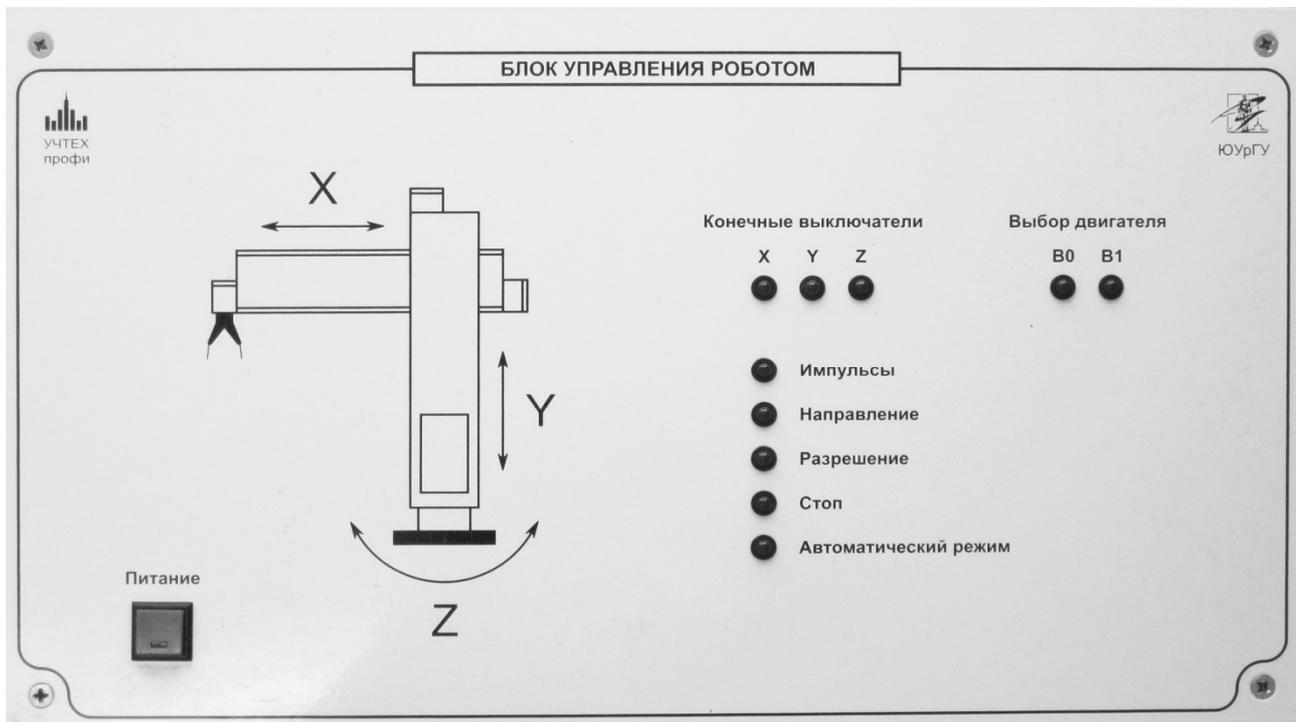


Рис.4. Блок управления роботом.

Блок управления, являющийся по сути блоком сопряжения, предназначен для преобразования сигналов с ПЛК для управления шаговыми двигателями с помощью силовых ключей, входящих в состав блока и обеспечивающий связь с пультом управления роботом (рис. 5).

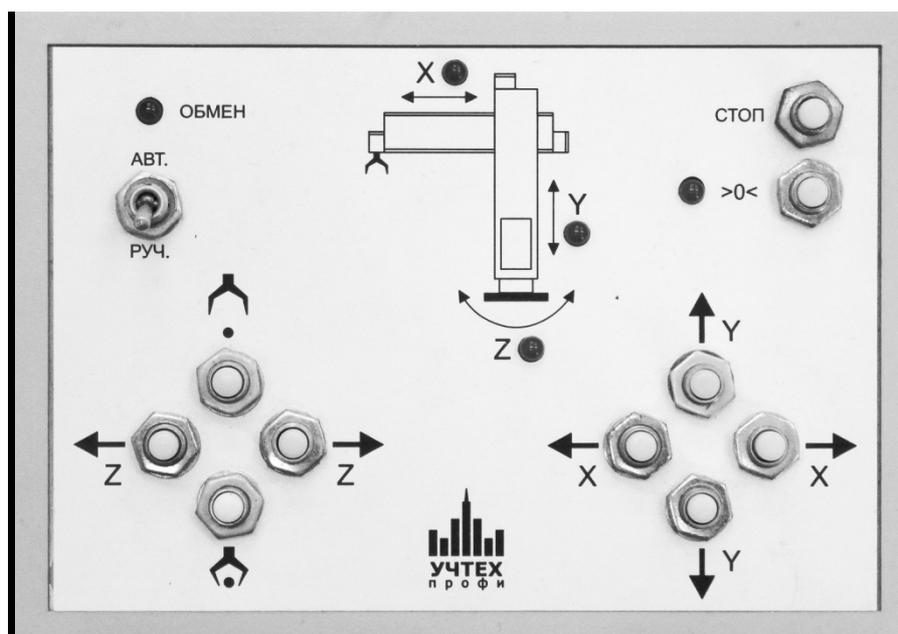


Рис.5. Пульт управления роботом.

Программное обеспечение алгоритмов управления осуществляется с помощью лестничных диаграмм в инструментальной среде CX-Programmer, в ней же производятся редактирование, компилирование, загрузка и выгрузка программ в ПЛК.

#### Особенности системы управления «УР-4»

Управление движением робота относится к дискретному позиционному способу [1]. Используемый шаговый электропривод не имеет датчиков обратной связи по положению и скорости. Такая организация системы управления обладает следующими достоинствами: простота разработки управляющих программ; малые требования к вычислительным ресурсам; высокая надежность работы системы управления.

Недостатки СУ: обеспечивает лишь простейшие технологические операции (обычно вспомогательные – обслуживание металлорежущих станков и др.); точность позиционирования обеспечивается не качеством работы системы управления, а качеством узлов и деталей робота; скорость перемещения рабочего органа (РО) не программируется, а зависит только от динамических свойств привода; невозможность движения рабочего органа робота по заданной траектории с требуемой точностью и быстродействием.

Также использование ПЛК CP1L вносит ограничения: наличие двух импульсных выходов позволяют одновременно управлять только двумя шаговыми двигателями, т.е. одновременное перемещение рабочего органа возможно только по двум осям; использование языков LD и FBD, которые не предназначены для программирования сложных траекторий движения рабочего органа; объем доступных шагов программы ограничен величиной 5 К, что недостаточно для описания сложных траекторий; система «среда программирования-ПЛК-электропривод» не функционирует в режиме отладки программы; программирование траектории возможно только вводом координат (числа импульсов) положения РО, значения которых необходимо рассчитывать.

С целью повысить функциональные возможности робота-манипулятора, необходимо провести следующие улучшения системы управления:

установить подсистему измерения перемещений подвижных элементов робота;

отказаться от управления с использованием имеющегося ПЛК и перейти на управление по принципам числового программного управления ЧПУ.

Чтобы обойти указанные ограничения, нужно перейти к способу непрерывного управления движением РО, для чего воспользоваться программным контроллером Mach3 CNC Controller for Windows XP & 2000 [4].

### Разработка системы управления «УР-4» на основе Mach3

Mach3 – это программный пакет (ПП), который запускается на компьютере в качестве контроллера станка с ЧПУ. Данный ПП может быть использован на станках с ЧПУ, выполняющих фрезерование, трассировку, гравировку, плазменную и лазерную резки, токарную обработку (рис. 6).

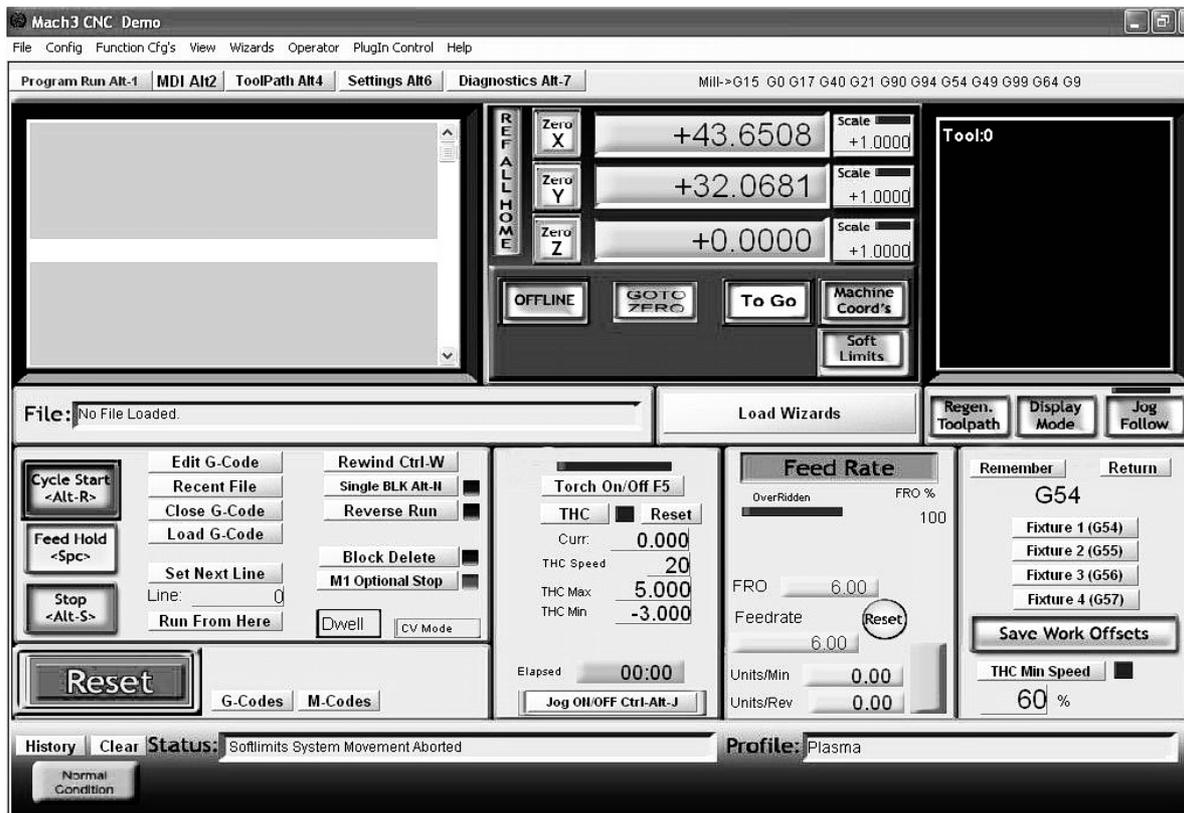


Рис. 6. Главное окно Mach3.

Программа управления Mach3 способна выполнять вычисления команд G-кода в режиме реального времени для сложных координатных вычислений. Mach3 обладает широкими возможностями управления станками, поэтому здесь приводятся только те возможности, которые будут использоваться для управления роботом-манипулятором:

- ручное управление из программного контроллера;
- автоматическое управление по осям X, Y, Z и схватом по командам G-кода;
- анализ состояния концевых выключателей;
- использование зонда, позволяющего производить оцифровку детали;
- использование энкодеров для измерения положений узлов робота.

Система управления роботом на основе Mach3 через драйвер параллельного порта компьютера соединяется с интерфейсной платой, которая передает сигналы step/dir на драйверы шаговых двигателей (рис. 7).

На интерфейсной плате имеются дополнительные аналоговые и дискретные входы/выходы, сигналы которых вводятся (или выводятся) в Mach3 и могут быть использованы для расширения функций управления.

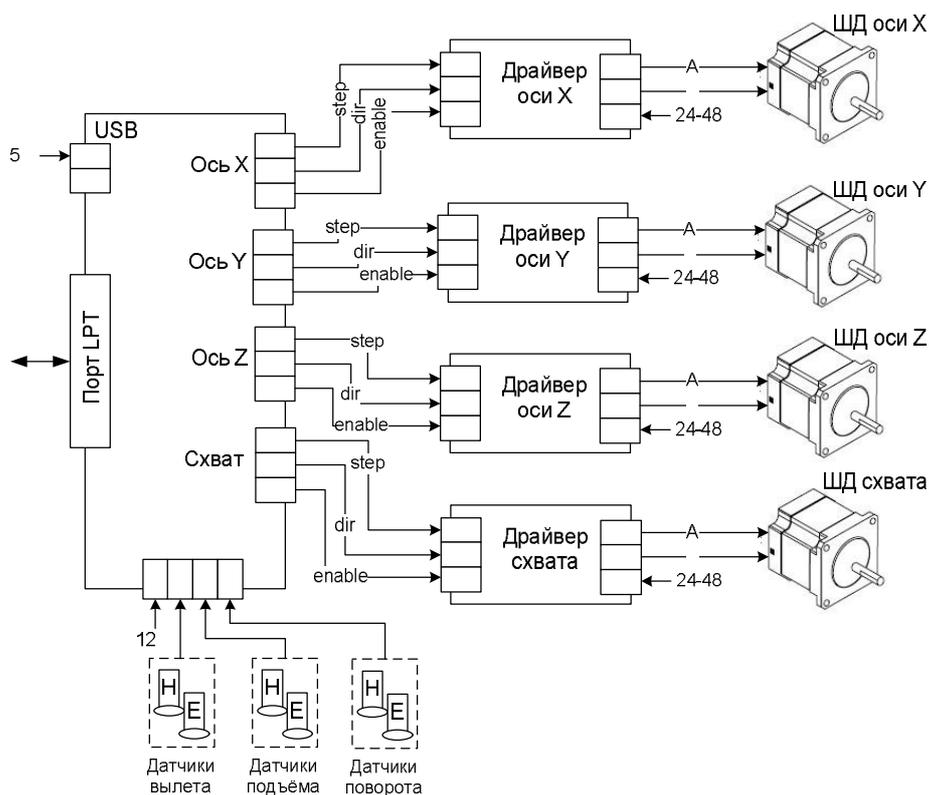


Рис. 7. Схема структурно-функциональная системы управления.

### Выбор технических средств

Для аппаратной реализации СУ робота в качестве интерфейсной платы может быть выбрана плата DXB54 (рис. 8).

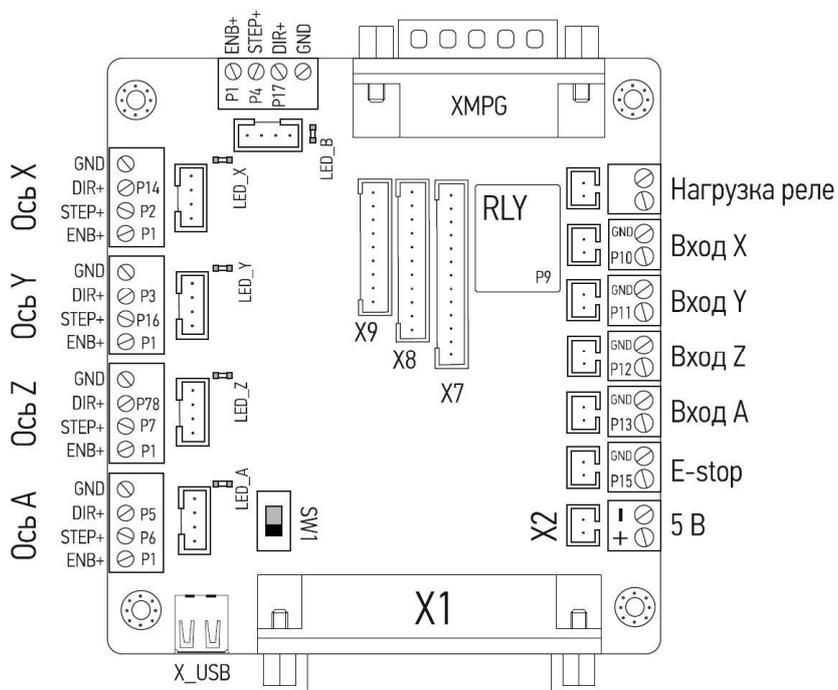


Рис. 8. Внешний вид и основные разъемы платы DXB54:

X1 – разъем DB25M для подключения к источнику сигналов; X\_USB – разъем питания от USB-порта; X2 – разъем питания от внешнего источника 5 В; X7, X8, X9 – разъемы подключения цифровых дисплеев; XMPG – разъем подключения ручного генератора импульсов; LED\_X, LED\_Y, LED\_Z, LED\_A – светодиоды активности сигналов соответствующей оси; SW1 – переключатель выбора разъема питания.

Согласно руководству по эксплуатации плата имеет следующие характеристики [5]:

подключение 5 осей;

5 входов для подключения кнопок и датчиков;

разъем DB25M для подключения к LPT-порту;

напряжение питания 5 В от USB-порта или внешнего источника;

1 силовое реле для подключения нагрузки (ток до 10 А);

разъемы для подключения цифровых дисплеев;

разъем для подключения ручного генератора импульсов (MPG, «джойстика»).

Управление шаговым двигателем может осуществляться драйвером типа STB57-1, который предназначен для управления двухфазными ШД с максимальным током фазы до 4 А [5]. Все управляющие входы драйвера оптоизолированы (рис. 9).

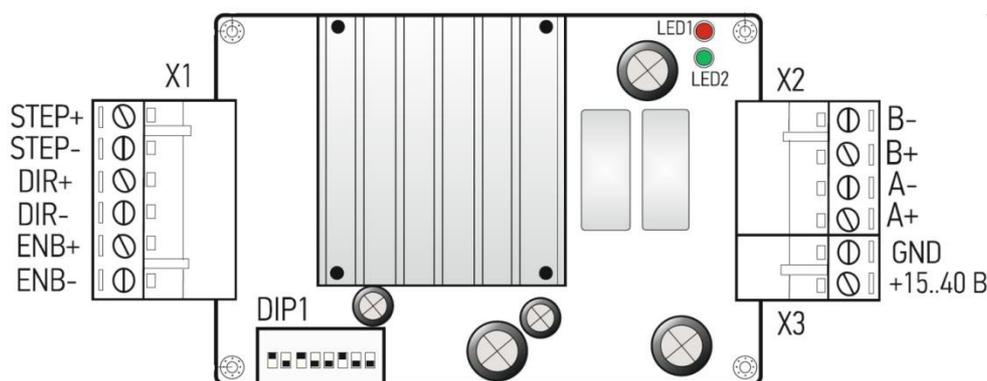


Рис. 9. Внешний вид и основные разъёмы драйвера TB6560-1:

X1 – разъем подключения управляющих сигналов; X2 – разъем подключения шаговых двигателей; DIP1 – переключатель установки микрошага, рабочего тока и тока удержания; X3 – разъем питания; LED1 – индикатор ошибки; LED2 – индикатор готовности.

Управление драйвером осуществляется сигналами STEP/DIR и ENABLE. Краткая характеристика драйвера: напряжение питания 15-40 В; микрошаг – до 1/64; настраиваемый ток обмоток двигателя до 4А; автоматическое снижение тока удержания.

### Заключение

Предлагаемые изменения по улучшению системы управления, т.е. отказ от использования ПЛК OMRON CP1L и переход на программный контроллер Mach3, расширят функциональные возможности робота-манипулятора. Представленный материал является анализом возможностей установленной системы управления роботом «УР-4» и предложениями по выбору аппаратных средств для модернизации СУ.

1. Юревич, Е.И. Основы робототехники. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.

2. Портал-Робототехника.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://board.matrixplus.ru/timero-bot08.htm>. – 31.08.2017.

3. Куликов, С.Е., Качалов, А.В., Богатырев, Е.И. Средства автоматизации и управления «САУ-РОБОТ»: Методические указания к выполнению лабораторных работ. – Челябинск: Учтех-Профи, 2015. – 64 с.

4. Портал-ArtSoft [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.machsupport.com/wp-content/uploads/2013/02/Mach3Mill\\_Install\\_Config.pdf](http://www.machsupport.com/wp-content/uploads/2013/02/Mach3Mill_Install_Config.pdf). – 2.09.2017.

5. Портал-Darxton [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://darxton.ru/files/pdf/breakout/DXB-54.pdf>. – 3.09.2017.