

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Казанский государственный аграрный университет»

Институт механизации и технического сервиса

Кафедра общинженерных дисциплин

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОТОВ И МАНИПУЛЯТОРОВ

Практикум для выполнения лабораторных и самостоятельных работ
по дисциплине «Основы робототехники»



Казань, 2023

УДК 621. 865.8

Составители: Яхин С.М., Пикмуллин Г.В., Сабиров Р.Ф.

Рецензенты:

Синицкий С.А. - к.т.н., доцент кафедры «Тракторы, автомобили и безопасность технологических процессов» ФГБОУ ВО Казанский ГАУ,

Галимова Н.Я. - к.т.н., доцент кафедры «Машиноведение и инженерная графика» ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ».

Практикум утвержден и рекомендован к печати на заседании кафедры «Общеинженерные дисциплины» ФГБОУ ВО Казанского ГАУ «13» февраля 2023 года (протокол № 8).

Практикум обсужден, одобрен и рекомендован к печати на заседании методической комиссии Института механизации и технического сервиса ФГБОУ ВО Казанского ГАУ «22» февраля 2023 года (протокол № 6).

Яхин, С.М. Изучение структуры и технических характеристик роботов и манипуляторов. Практикум для выполнения лаб. и самост. работ / С.М. Яхин., Г.В. Пикмуллин, Р.Ф. Сабиров – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2023. – 20 с.

Практикум предназначен для выполнения лабораторных и самостоятельных работ по дисциплине «Основы робототехники» и адресован студентам, обучающимся по направлению подготовки: 35.03.06 «Агроинженерия».

УДК 621. 865.8

© Казанский государственный аграрный университет, 2023 г.

Введение

Одним из ведущих направлений современной Прикладной науки является робототехника, которая занимается созданием и внедрением в жизнь человека автоматических машин, способных намного облегчить как промышленную сферу жизни, так и бытовую.

Несмотря на универсальность понятия «робот» и ассоциации, вызываемые этим термином у неспециалистов, подавляющее большинство роботов, используемых в промышленности, представляют собой манипуляторы, управляемые посредством микропроцессорных контроллеров.

Многозвенная конструкция манипулятора заканчивается схватом или сменным инструментом, с помощью которого можно перемещать объекты в рабочем пространстве, либо выполнять несложные технологические операции. Чаще всего роботы используют при загрузке механообрабатывающих станков, выполнении операций сварки и покраски, сверления отверстий и нарезания резьб.

Данное издание предназначено как для студентов непрофильных направлений, как учебное пособие по общему курсу робототехники.

И для студентов, специализирующихся в области робототехники, где данное пособие должно служить основным литературным источником для первой специальной дисциплины, за которой последует цикл специальных курсов, соответствующих основным ее разделам.

Лабораторная работа №3

Изучение структуры и технических характеристик роботов и манипуляторов

Цель работы: изучить кинематическую структуру роботов и манипуляторов, получить навыки построения кинематических схем, ознакомиться с техническими характеристиками роботов и манипуляторов.

Оборудование: лабораторный стенд, манипулятор в собранном и разобранном виде, набор инструментов для разборки и сборки, средства измерения.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Робот — это автоматическая машина, включающая перепрограммируемое устройство управления и другие технические средства, обеспечивающие выполнение тех или иных действий, свойственных человеку в процессе его трудовой деятельности.

Наиболее совершенный робот способен самостоятельно решать задачи самоуправления, адаптации к условиям внешней среды и выполнять комплекс трудовых воздействий. Общим признаком роботов является возможность быстрой переналадки для автоматического выполнения различных действий, предусмотренных программой.

Промышленный робот (ПР) — это автономно функционирующая автоматическая машина (стационарная или передвижная), состоящая из манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности, и устройства программного управления, и предназначенная для выполнения основных и вспомогательных операций производственного цикла без участия человека.

В технической литературе часто используется краткое определение: *промышленный робот* — перепрограммируемый автоматический манипулятор промышленного применения.

По мере развития робототехники в мире сформировались три основных этапа оценки уровня промышленных роботов и РТУ: роботы первого, второго и третьего поколения.

Роботы *первого поколения* работают по жесткой программе и поэтому не способны адаптироваться к изменяющимся условиям производства и внешней среды. На входе они требуют упорядоченного размещения ориентированных деталей в накопителе. В то же время благодаря простоте конструкции роботы первого поколения широко применяются в

промышленности (загрузка-разгрузка станков, транспортирование и складирование деталей и т.п.).

Роботы *второго поколения* работают по гибкой программе, оснащены достаточно развитым сенсорным аппаратом, обеспечивающим работу по принципу «ситуация – действие» с целью выбора оптимального алгоритма функционирования в зависимости от реального состояния производственного процесса. Такие роботы можно использовать для выполнения сложных производственных задач, например, для сборки прецизионных изделий.

Роботы *третьего поколения* относят к интегральным (или интеллектуальным) системам, поскольку за счет оснащения новейшими средствами адаптации они приобретают способность к самообучению и распознаванию образов, являющуюся одним из важнейших элементов искусственного интеллекта. С развитием искусственного интеллекта автоматические роботизированные системы получают возможность моделирования внешней среды, анализа производственной обстановки, принятия решений и планирования собственных действий. Применительно к роботам третьего поколения в промышленно развитых странах мира ведутся работы по переходу в системах управления роботизированными комплексами на быстродействующие ЭВМ с интеллектуальным интерфейсом, позволяющим пользователю работать с управляющей ЭВМ средствами естественного языка.

Манипулятор – оснащенное рабочим органом исполнительное устройство для выполнения двигательных функций, аналогичных функциям руки человека при перемещении объектов в пространстве.

Объектом манипулирования называют тело, перемещаемое в пространстве манипулятором. К объектам манипулирования относят заготовки, детали, инструмент, технологическую оснастку и т.д.

Конструкция манипулятора, выполненного в виде механической руки, кинематически аналогична руке человека (рисунок 1).

К числу автоматических манипуляторов могут быть отнесены автооператоры. *Автооператор* – это автоматически действующее устройство, состоящее из исполнительного органа в виде манипулятора (или совокупности манипуляторов), средства передвижения и не перепрограммируемой системы управления. Допускается использовать краткую формулировку: *автооператор* – не перепрограммируемый автоматический манипулятор. Автооператоры, как правило, способны выполнять одну-две простые операции. Однако благодаря простоте

конструкции и системы управления, они находят достаточно широкое применение в промышленности, в частности, для замены режущего инструмента в металлорежущих станках с инструментальным магазином.

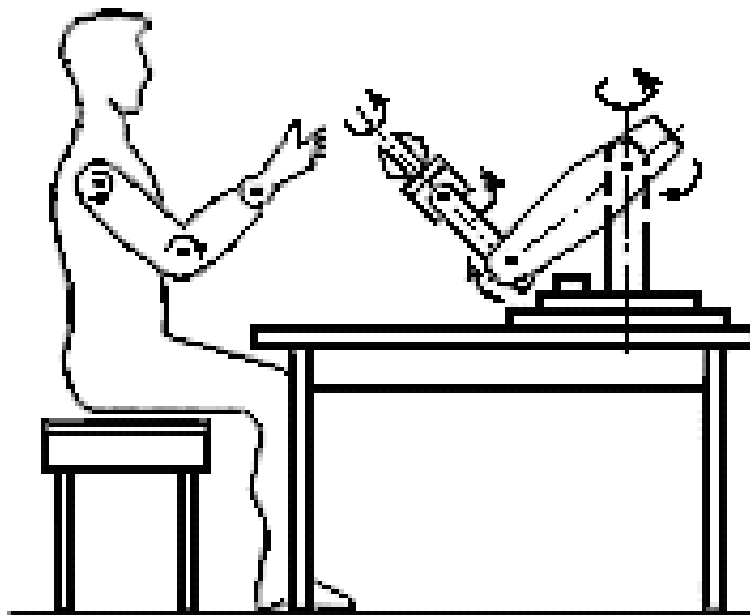


Рисунок 1- Схема кинематической аналогии руки человека и механической руки манипулятора промышленного робота

Промышленные роботы создают условия для качественного скачка в автоматизации путем организации комплексно-автоматизированных участков и цехов. На основе робототехнических устройств можно объединить технологическое оборудование в координировано-работающие комплексы различного уровня. Такие комплексы обеспечивают оптимальную структуру технологических процессов в широком диапазоне серийности изделий. Открываются новые возможности эффективной организации серийного производства на основе комплексной автоматизации материальных и информационных потоков с использованием промышленных роботов и средств вычислительной техники. Такая организационная форма комплексной автоматизации получила название *интегрированной производственной системы*. Особенности серийного производства, связанные с быстрой сменяемостью моделей изделий, требуют создания систем автоматизации, обладающих технологической гибкостью, т.е. возможностью переналадки оборудования в пределах научно обоснованного типоразмерного ряда. Робототехнические устройства составляют основу таких систем автоматизации, которые получили название *гибкой производственной системы*. Гибкая производственная система (ГПС) может быть составлена из модулей двух типов: модуль в виде *роботизированного*

технического комплекса (РТК), в котором робот обеспечивает обслуживание основного технологического оборудования (загрузка-разгрузка станка), и модуль в виде роботизированного производственного комплекса (РПК), в котором робот осуществляет основные операции технологического процесса (сборку, сварку, окраску, напыление и т.д.).

На рисунке 2 показан общий вид РТК для обработки деталей типа «тела вращения» с обслуживающим роботом портального типа.

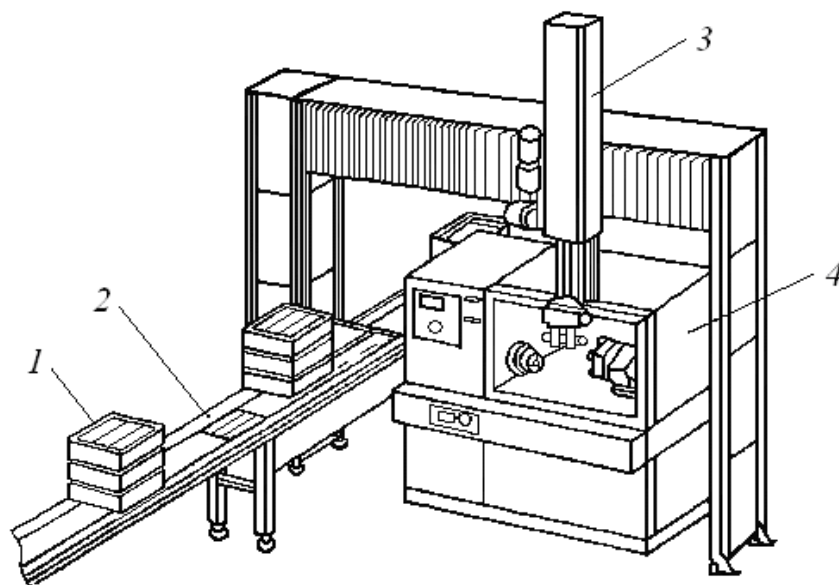


Рисунок 2- Общий вид РТК для обработки деталей типа «тела вращения» с обслуживающим роботом портального типа

Загрузка станка 4 заготовками производится роботом 3 из кассеты 1, которая доставляется к станку транспортером 2 напольного типа. Детали выгружаются также в кассету, которая отводится тем же транспортером-накопителем.

СТРУКТУРА ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ (РТУ)

Структура типового робототехнического устройства содержит следующие основные части: механическую систему (манипулятор), технологическое оборудование, систему управления, информационную систему и пульт управления для ввода программы (рисунок 3).

Система управления предназначена для воспроизведения и отработки программы функционирования ПР с учетом координации его действий с работой технологического оборудования. Управляющая программа содержит последовательность простых инструкций, выполнение которых в определенной последовательности приводит к решению поставленной

задачи. В общем виде для функционирования ПР необходима информация о последовательности шагов программы, о пространственном положении отдельных степеней подвижности и о времени выполнения отдельных шагов программы и отдельных управляющих команд.

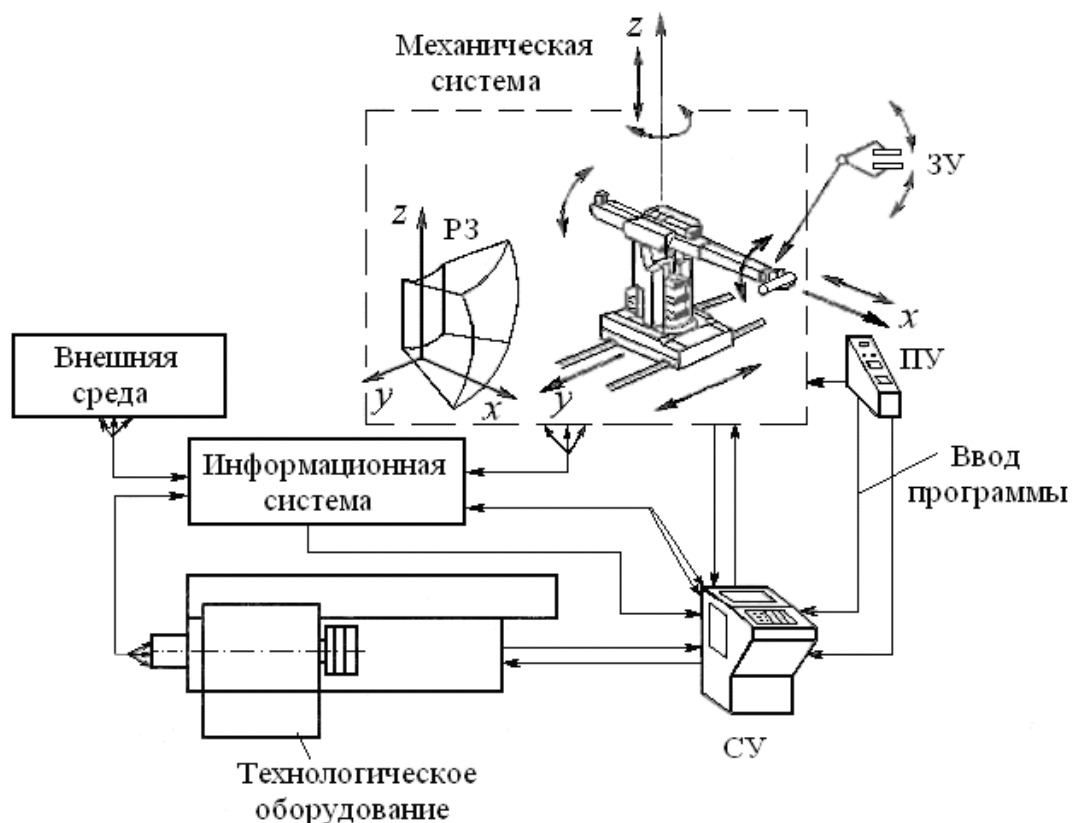
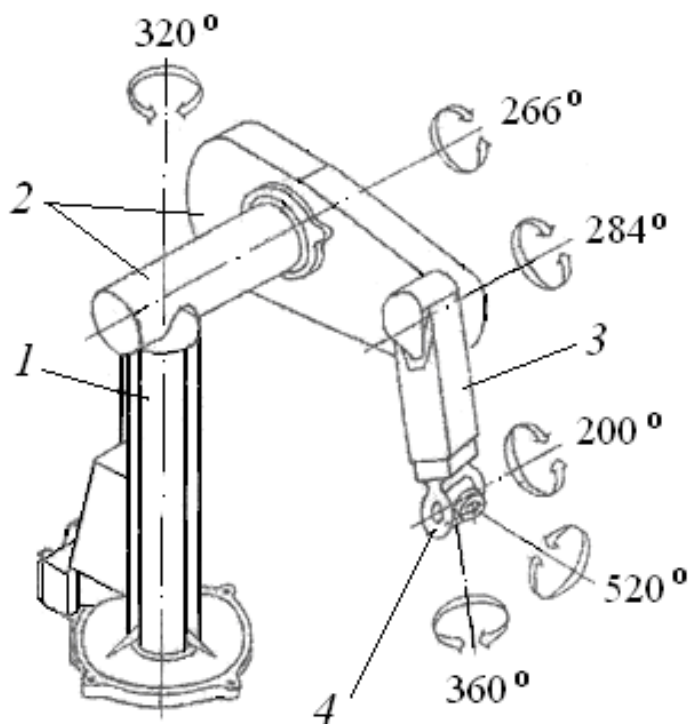


Рисунок 3 - Структура типowego робототехнического устройства: СУ – система управления; ПУ – пульт управления; ЗУ – захватное устройство; РЗ – рабочая зона и система координат основных движений ПР

Информационная система обеспечивает сбор, первичную обработку и передачу в систему управления данных о функционировании узлов и механизмов ПР (в том числе и блоков системы управления) и о состоянии внешней среды. Информационная система входит в состав системы программного управления и включает в себя устройство обратной связи с комплексом датчиков обратной связи различного функционального назначения, а также устройство сравнения сигналов.

Механическая система (манипулятор) обеспечивает выполнение двигательных функций и реализацию технологического назначения ПР. Манипулятор представляет собой пространственный механизм с разомкнутой кинематической цепью. Конструктивно манипулятор состоит из следующих основных узлов: несущих конструкций, приводов, передаточных механизмов, исполнительных механизмов и захватных устройств.

Исполнительный механизм манипулятора – это совокупность подвижно соединенных звеньев, предназначенных для воздействия на объект манипулирования или обрабатываемую среду. Исполнительный механизм, осуществляющий транспортирующие и ориентирующие движения, называют *рукой* ПР. Если звенья исполнительного механизма соединены между собой только вращательными кинематическими парами, то в совокупности они образуют шарнирную руку (рисунок 4).



1 – колонна (первый сустав); 2 – плечо (второй сустав); 3 – локоть (третий сустав); 4 – кисть (четвертый сустав); 360° – угол поворота кисти; 200° – качание кисти (пятый сустав); 520° – качание кисти (шестой сустав)

Рисунок 4- Шарнирная рука промышленного робота РМ – 01










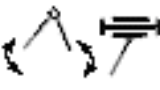


Захватное устройство (захват) – это узел механической системы промышленного робота, обеспечивающий захватывание и удержание в определенном положении объекта манипулирования. Объекты могут иметь различные размеры, форму и массу, поэтому захваты относят к числу сменных элементов промышленного робота и манипуляторов. Как правило, промышленные роботы комплектуют набором типовых (для данной модели) захватных устройств, которые можно менять в зависимости от требований конкретной технологической задачи.

Соединение звеньев манипулятора в кинематическую цепь осуществляется с помощью кинематических пар. *Кинематической парой* называется соединение двух соприкасающихся звеньев, допускающее их относительное движение. Кинематические пары классифицируются по

условиям связи, характеру соприкосновения звеньев и способу замыкания. Ограничения, препятствующие свободному движению тела, называются *условиями связи*. Соединение двух звеньев в кинематическую пару накладывает на относительное движение этих звеньев определенные ограничения, число которых не может быть больше пяти, так как при шести ограничениях кинематическая пара становится жестким соединением.

Класс кинематических пар определяется числом условий связи (количеством отнятых степеней свободы). В таблице 1.1 представлены наиболее распространенные кинематические пары.

Таблица 1.1 - Условные обозначения кинематических пар

Класс пары	Число условий связи	Число степеней свободы	Наименование пары	Рисунок	Условное обозначение
III	3	3	Сферическая		
IV	4	2	Цилиндрическая		
IV	4	2	Сферическая с пальцем		
V	5	1	Поступательная		
V	5	1	Вращательная		
V	5	1	Винтовая		

При подсчете числа условий связи, т.е. при определении класса кинематической пары, необходимо учитывать только независимые между собой движения. Так, например, в винтовой кинематической паре одновременно происходит не только вращение гайки относительно винта, но и ее перемещение вдоль оси винта. Эти движения взаимосвязаны, поэтому винтовую кинематическую пару относят к пятому классу. По характеру относительного движения различают: вращательные В (шарнирные);

поступательные П; вращательно-поступательные В+П и с винтовым движением ВП кинематические пары.

В большинстве конструкций ПР нашли применение кинематические пары пятого (V) класса – вращательные или поступательные, обеспечивающие одну степень свободы в относительном движении каждого из двух подвижно соединенных звеньев. Если на движение звена в пространстве не наложено никаких условий связи, то оно обладает, как известно, шестью степенями свободы. Совокупность некоторого числа подвижных звеньев обеспечивает механизму определенное число степеней подвижности, которое является важной характеристикой механической системы ПР.

Числом степеней подвижности W кинематической цепи называют число степеней свободы цепи относительно звена, принятого за неподвижное. Число степеней подвижности определяют по формуле:

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1, \quad (1)$$

где $n = (m - 1)$ – число подвижных звеньев; m – общее число звеньев; p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 – число кинематических пар I, II, III, IV и V класса соответственно.

Для плоских механизмов:

$$W_{\text{пл}} = 3n - 2p_5 - p_4. \quad (2)$$

Для кинематической цепи манипулятора, образованной только парами V класса, число степеней подвижности робота определяется по формуле:

$$W = 6n - 5p_5 \text{ и } W_{\text{пл}} = 3n - 2p_5. \quad (3)$$

В открытых кинематических цепях, к которым относят механические системы ПР и манипуляторов, число подвижных звеньев всегда равно числу пар: $n = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5$. В качестве примера определим число степеней свободы манипулятора, кинематическая схема которого показана на рисунке 5.

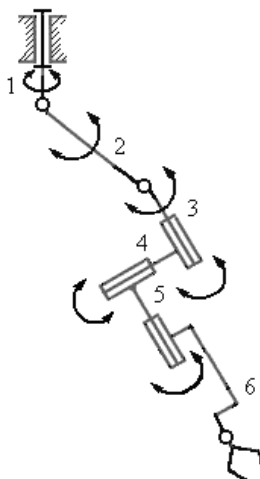


Рисунок 5 - Кинематическая схема манипулятора: 1... 6 – подвижные звенья

Цепь содержит 6 подвижных звеньев, входящих в шесть вращательных кинематических пар. Если не учитывать движение губок захвата, то с помощью структурной формулы получим число степеней свободы манипулятора:

$$W = 6n - 5p_5 = 6 \cdot 6 - 5 \cdot 6 = 6.$$

Возможные степени подвижности сварочных роботов типа IR-160/60 и IR-601/60 немецкой фирмы «Kuka» показаны стрелками на рисунке 6.

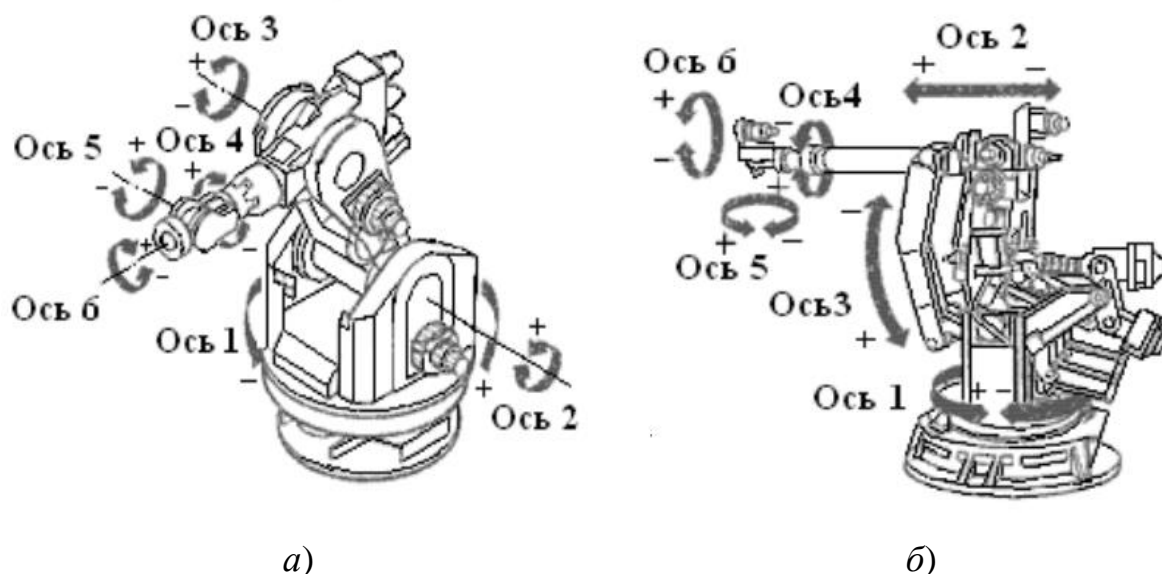


Рисунок 6 - Степени подвижности сварочных роботов типа: а) IR-160/60 и б) IR -601/60 немецкой фирмы «Kuka»

Относительные движения звеньев механической системы промышленного робота, посредством которых реализуются степени подвижности, разделяют на три группы: ориентирующие (локальные), транспортирующие (региональные) и координатные (глобальные). Для полного осуществления пространственного манипулирования объектом манипулятор должен иметь шесть степеней подвижности: три ориентирующих – для получения требуемой угловой ориентации захвата или инструмента и три транспортирующих – для приведения объекта в требуемую точку пространства.

Транспортирующие движения захватного устройства или инструмента в различные зоны рабочего пространства определяются размерами звеньев руки и соизмеримы с размерами зоны обслуживания технологического оборудования.

Координатные движения являются переносными, так как они реализуют перемещения на расстояния, превышающие размеры промышленного робота и обслуживаемого оборудования или рабочего места.

Механическая система промышленного робота может быть разделена на четыре структурных элемента, отличающихся функциональным назначением и характером выполняемых движений: основание (неподвижное звено) – опорная конструкция; корпус (стойка); механическая рука; захватное устройство. Число степеней подвижности: основания $W_o = 0$; корпуса $W_k \geq 0$ (определяется мобильностью промышленного робота); механической руки $W_m \geq 1$ (определяется назначением промышленного робота); захватного устройства $W_z \geq 0$ (в зависимости от способа удержания объекта манипулирования и конструктивного исполнения).

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Основные технические характеристики ПР определяются областью его применения и условиями производства, для которого предназначается робот.

Грузоподъемность ПР – наибольшая суммарная масса объекта манипулирования $m_{ом}$ и захватного устройства $m_{зу}$, которые могут перемещаться рукой робота при заданных условиях (при максимальной или минимальной скорости, при максимальном вылете руки и т. п.):

$$m_n = m_{ом} + m_{зу}, \text{ кг.} \quad (4)$$

Кроме этого, в ряде случаев важным показателем является усилие (или крутящий момент), развиваемое исполнительным механизмом робота, например, усилие зажима (захвата, удержания) объекта захватным устройством; рабочее усилие руки ПР вдоль ее продольной оси; крутящий момент при ротации захвата.

Число степеней подвижности ПР – сумма возможных координатных (переносных $W_{пер}$ и ориентирующих $W_{ор}$) движений объекта манипулирования относительно опорной системы робота (стойки, основания) без учета перемещения губок захвата

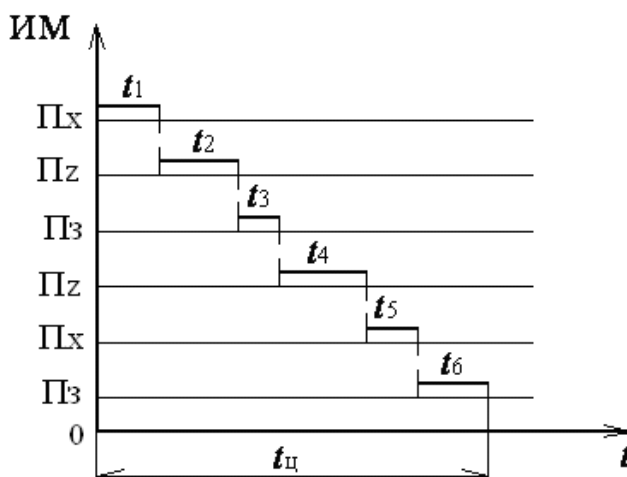
$$W = W_{пер} + W_{ор}. \quad (5)$$

Быстродействие исполнительного механизма ПР определяется скоростями линейного (V , м/с) и углового (Ω , град/с или рад/с) перемещения звеньев манипулятора. Эта характеристика позволяет оценить производительность ПР. Поскольку типовая циклограмма работы ПР содержит последовательность действий по взятию объекта, переносу его в

рабочую зону технологического оборудования, установки объекта и возврата руки в исходное положение, время цикла $t_{\text{ц}}$ рассчитывается как сумма временных интервалов указанных действий (рисунок 7):

$$(6) \quad t_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^n t_i ,$$

где t_i – длительность i -го действия; n – число действий.



P_x, P_z, P_z – приводы по осям x, z и захвата соответственно

Рисунок 7- Типовая циклограмма работы ПР по обслуживанию технологического оборудования

При оптимизации задачи многостаночного обслуживания скоростные характеристики ПР позволяют рассчитать оптимальное число $n_{\text{опт}}$ единиц технологического оборудования, обслуживаемых одним роботом:

$$n_{\text{опт}} = \frac{t_{\text{об}}}{t_{\text{шт}}} + 1, \quad (7)$$

где $t_{\text{об}} = t_{\text{ц}}$ – время обслуживания роботом одного станка; $t_{\text{шт}}$ штучное время обработки заготовки на одном станке.

Надежность ПР, как комплексный показатель, включающий параметры: среднюю наработку на отказ, коэффициент готовности k_g , долговечность D , определяется по формулам теории надежности технических систем.

Следует помнить, что вероятность безотказной работы любой технической системы равна произведению вероятностей $p_i(t)$ безотказной работы ее элементов:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t). \quad (8)$$

Эта формула соответствует последовательному соединению элементов в узле. Таким образом, повышение $P(t)$ напрямую связано с сокращением (по возможности) числа деталей в узле (и числа узлов в системе) на стадии конструирования промышленных роботов. Второй путь повышения

надежности роботов (как и любой технической системы) связан с применением принципа резервирования потенциально ненадежных элементов в особо ответственных узлах:

$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^n p_{oti}(t). \quad (9)$$

Эта формула соответствует параллельному соединению элементов, когда перемножаются вероятности отказов элементов p_{oti} .

Погрешность позиционирования – отклонение заданной позиции исполнительного механизма робота от фактической при многократном позиционировании (повторении движения). Погрешность позиционирования может оцениваться в линейных или угловых единицах. Применительно к ПР важным показателем является суммарная погрешность позиционирования всех исполнительных механизмов, приведенная к фактическому положению объекта манипулирования, отличающегося от заданного по программе робота. Такой показатель называют *погрешностью позиционирования рабочего органа ПР*, которая определяется как величина отклонения рабочего органа от заданного управляющей программой.

Погрешность отработки траектории рабочего органа ПР – отклонение фактической траектории от заданной по программе.

Коэффициент сервиса ПР характеризует возможность подхода захватного устройства (конечного звена) манипулятора к заданной точке с разных направлений. Совокупность возможных положений оси захвата, при которых центр его находится в заданной точке рабочего пространства, определяет телесный угол ζ , называемый *пространственным углом обслуживания*, или углом сервиса. Коэффициент сервиса в данной точке пространства представляет собой выражение:

$$k_c = \zeta / 4\pi. \quad (10)$$

Он может изменяться от нуля на границе рабочего пространства (где ось захвата может занимать только одно положение) до единицы для точек зоны полного сервиса (где ось захвата может занимать любое положение).

Полным коэффициентом сервиса принято называть среднее его значение в рабочем пространстве объемом V :

$$k_c = \frac{1}{V} \int_{(V)} k_c dV. \quad (11)$$

Коэффициент сервиса дает возможность качественной оценки кинематических свойств ПР в целом. Такая оценка позволяет выбрать рациональный вариант структурной схемы механической руки. Задача оптимизации сводится к выбору для звеньев вида и расположения кинематических пар, при которых $k_c = \max$.

Рабочая зона ПР – пространство, в котором может находиться рабочий орган (например, рука) при функционировании ПР.

Зона обслуживания ПР – часть рабочей зоны, где полностью сохраняются заданные (паспортные) значения технических характеристик ПР.

Мобильность ПР определяется его возможностью совершать движения. По мобильности роботы подразделяют на: стационарные (обеспечивающие ориентирующие и транспортирующие движения) и передвижные, обеспечивающие дополнительно координатные движения.

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД И ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Лабораторный стенд представляет из себя учебный стенд (рисунок 11), который состоит из робота-манипулятора 1 и компьютера управления 2.



Рисунок 11 – Лабораторный стенд

Управление манипулятором может производиться при помощи:

- Программное управление – производится при помощи ПК или программируемого логического контроллера.
- Адаптивное управление – управление на основании показаний датчиков. Сигналы, передаваемые датчиками, анализируются в зависимости от результатов принимаются решения о дальнейших действиях

- Ручное управление (управление при помощи джойстиков человеком)

Работа стенда происходит следующим образом. На Интерфейсе управления роботом-манипулятором (рисунок 11) устанавливаются необходимые положения и функции звеньев робота-манипулятора. После запуска программы управления робот-манипулятор выполняет заданные команды.

Компьютер управления собран на платформе миникомпьютера Raspberry (рисунок 12).

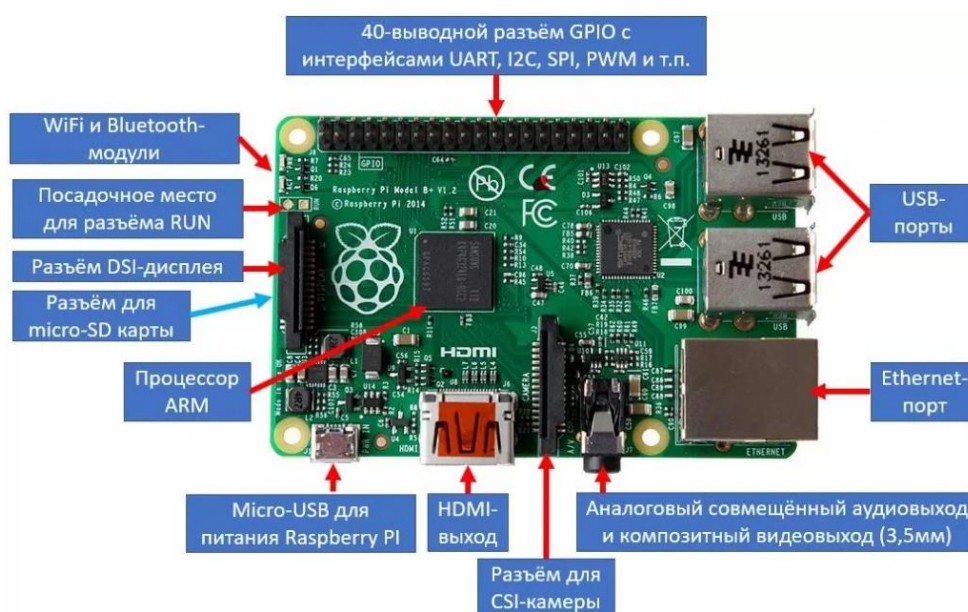


Рисунок 12 – Raspberry Pi 4 Model B

Raspberry Pi — это крошечный и доступный компьютер, который вы можете использовать для изучения программирования с помощью практических проектов, размером с кредитную карту, который подключается к телевизору и клавиатуре. Это мощный маленький ПК, который можно использовать для многих задач, которые выполняет ваш настольный ПК, например для работы с электронными таблицами, обработки текстов и игр. Он также воспроизводит видео высокой четкости. Невероятно доступный одноплатный компьютер, впервые выпущенный в начале 2012 года. Он размером с кредитную карту и оснащен процессором ARM. Raspberry Pi доступен в нескольких различных моделях, каждая из которых имеет разные характеристики и возможности.

В данном стенде установлен мини ПК со следующими характеристиками:

1. Однокристальная система: SoC Broadcom BCM2711.

2. Центральный процессор: 4-ядерный 64-битный CPU на ARM Cortex A72 с тактовой частотой 1,5 ГГц.
 3. Графический процессор: VideoCore VI GPU с тактовой частотой 500 МГц.
 4. Оперативная память: 1/ 2 / 4 / 8 ГБ LPDDR4-3200 SDRAM.
 5. Стандарт Wi-Fi: 802.11 b/g/n/ac.
 6. Стандарт Bluetooth: v5.0 с BLE.
 7. Частотный диапазон: 2,4 / 5 ГГц.
 8. Цифровой аудио/видеовыход: 2× micro-HDMI версии 2.0.
 9. Максимальное выходное разрешение: 2160p (60 Гц).
- Управление сервоприводами производится платформе Arduino Nano (рисунок 13).

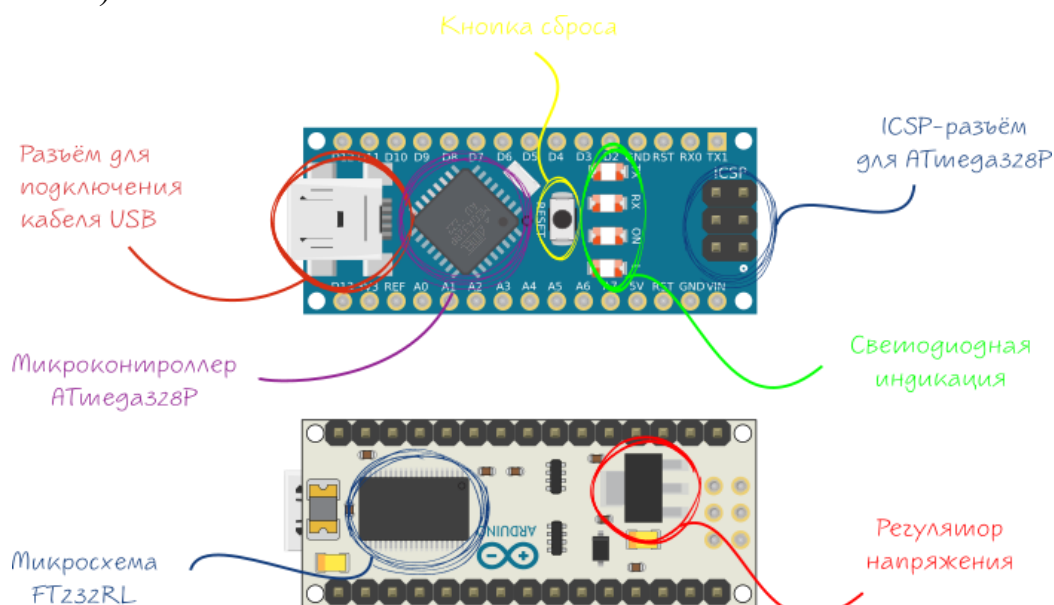


Рисунок 13 – Arduino Nano

Характеристики:

Микроконтроллер	Atmel ATmega168 или ATmega328
Рабочее напряжение (логическая уровень)	5 В
Входное напряжение (рекомендуемое)	7-12 В
Входное напряжение (предельное)	6-20 В
Цифровые Входы/Выходы	14 (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ)
Аналоговые входы	8
Постоянный ток через вход/выход	40 мА
Флеш-память	16 Кб (ATmega168) или 32 Кб (ATmega328) при этом 2 Кб используются для загрузчика

ОЗУ	1 Кб (АТmega168) или 2 Кб (АТmega328)
EEPROM	512 байт (АТmega168) или 1 Кб (АТmega328)
Тактовая частота	16 МГц
Размеры	1.85 см x 4.2 см

Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретический материал, изложенный в первой части методического указания.
2. Зарисовать кинематическую схему манипулятора, указанного преподавателем.
3. Указать стрелками на кинематической схеме возможные направления движения каждого из звеньев манипулятора.
4. Обозначить на схеме и записать названия звеньев манипулятора.
5. Обозначить на схеме классы кинематических пар.
6. Рассчитать число степеней подвижности манипулятора.

Содержание отчета

1. Кинематическая схема манипулятора с обозначенными звеньями, кинематическими парами и возможными движениями каждого из звеньев.
2. Названия звеньев манипулятора.
3. Расчет числа степеней подвижности манипулятора.

Контрольные вопросы

1. Что называется, роботом?
2. Что называется, манипулятором?
3. Три поколения роботов. Назовите особенности каждого поколения.
4. Из каких основных систем состоит робототехническое устройство?
5. Что называется, кинематической парой?
6. Виды кинематических пар.
7. Назовите основные технические характеристики промышленных роботов.

Вопросы для самостоятельной работы

1. Применение роботов и робототехнических устройств в различных отраслях сельскохозяйственного производства.
2. Требования, предъявляемые к сельскохозяйственным роботам.

Список литературы

Основная учебная литература:

1. Иванов, А.А. Основы робототехники: учеб. пособие / А.А. Иванов. — 2-е изд., испр. — Москва: ИНФРА-М, 2020. — 223 с.
2. Курышкин, Н.П. Основы робототехники: учебное пособие / Н. П. Курышкин. — Кемерово: КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2012. — 168 с. — ISBN 978-5-89070-833-5.
3. Лукинов, А.П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: учебное пособие [Электронный ресурс] / А. П. Лукинов. – СПб.: Лань, 2012. – 608 с.
4. Захватные устройства и инструменты промышленных роботов: учебное пособие / Ю.Г. Козырев. — М.: Кнорус, 2011. — 312 с.: ил.

Дополнительная учебная литература:

1. Основы робототехники на Lego® Mindstorms® EV3: учебное пособие / Д. Э. Добриборщ, К. А. Артемов, С. А. Чепинский, А. А. Бобцов. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург: Лань, 2019. — 108 с. — ISBN 978-5-8114-4551-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/121993>.
2. Лекции по курсу "Основы робототехники": учебное пособие / составитель В. Б. Кульневич. — Челябинск: ИАИ ЮУрГАУ, 2009. — 165 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/9696>.
3. Захватные устройства промышленных роботов. Учебное пособие / К.А. Украженко, Ю.В. Янчевский, А.А. Кулебякин, А.Ю. Торопов. — Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2007. - 83 с. ISBN 5-230-20645-4.
4. Яхин, С.М. Изучение захватных устройств роботов. Практикум для выполнения лаб. и самост. работ по дисциплине «Основы робототехники» / С.М. Яхин, Г.В. Пикмуллин – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2022. – 20 с.
5. Яхин, С.М. Изучение строения линейного привода на основе шарико-винтовой передачи. Практикум для выполнения лаб. и самост. работ / С.М Яхин, Г.В. Пикмуллин, Р.Ф. Сабиров – Казань: Изд-во Казанский ГАУ, 2023. – 20 с.