

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)**

**УТВЕРЖДАЮ**  
Заведующий кафедрой  
«Управление инновациями»  
\_\_\_\_\_ /А.Ф.Уваров

" \_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2014 г.

**Учебно-методическое пособие**  
к лабораторным работам и практическим занятиям  
по дисциплине

**ОСНОВЫ МЕХАТРОНИКИ И РОБОТОТЕХНИКИ**

Составлено кафедрой

«Управление инновациями»

Для подготовки  
бакалавров по направлению 222000.62 «Инноватика»

Форма обучения

очная

Составитель  
доцент, к.ф.-м.н.

Горбенко Татьяна Ивановна

Томск 2014

УДК 681.326.75

**Горбенко Т.И.**

Основы мехатроники и робототехники: Учебно-методическое пособие к лабораторным работам и практическим занятиям для студентов направления 222000.62 «Инноватика» / Т.И. Горбенко. – Томск: ТУСУР, 2014. – 40 с.

В учебно-методическом пособии приведены рекомендации по выполнению лабораторных работ и подготовке к практическим занятиям, целью которых является расширение знаний эффективного применения роботов и роботизированных комплексов, изучение особенностей работы автоматизированного сборочного станда с техническим зрением на базе учебного робота РОБИН-1Ц USB/ШВП и гибкой производственной системы на базе двух токарных станков и учебного робота ГПС-2Т- Робин Сфера.

Учебно-методическое пособие разработано для подготовки бакалавров по направлению 222000.62 «Инноватика», а также может быть использовано инженерно-техническими работниками, занимающимися автоматизацией технологических процессов.

**УДК 681.326.75**  
**ББК 34.62**

© Т.И. Горбенко, 2014  
© Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники, 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1 Правила охраны труда и техники безопасности при проведении лабораторных работ с использованием учебных роботизированных стендов</b> .....	4
<b>2 Правила выполнения лабораторных работ. Общее описание роботизированных стендов</b> .....	6
<b>3 Лабораторные работы № 1–9</b> .....	8
3.1 Изучение структуры, кинематической схемы манипулятора робота "Робин РСС-1 Сфера" .....	8
3.2 Аналитическое определение положений, скоростей и ускорений звеньев манипулятора .....	10
3.3 Определение положений, скоростей и ускорений звеньев манипулятора методом планов .....	15
3.4 Изучение кинематических характеристик передаточных механизмов промышленного робота "Робин РСС-1 Сфера" .....	18
3.5 Определение типа системы координат и рабочего пространства промышленного робота "Робин РСС-1 Сфера" .....	23
3.6 Общая функциональная схема системы управления роботизированного комплекса механической обработки на базе робота "Робин РСС-1 Сфера" .....	24
3.7 Изучение работы роботизированного сборочного стенда с техническим зрением .....	27
3.8 Изучение работы гибкой производственной системы ГПС-2Т-УР на базе двух токарных станков с ЧПУ и робота .....	28
3.9 Компоновка роботизированных технологических комплексов. Компоновка гибкой производственной системы ГПС-2Т-УР на базе двух токарных станков с ЧПУ и робота .....	31
<b>4 Темы вопросов для практических занятий</b> .....	34
<b>Литература</b> .....	38
<b>Приложение Образец оформления отчета по лабораторной работе</b> .....	39

## **1 Правила охраны труда и техники безопасности при проведении лабораторных работ с использованием учебных роботизированных стендов**

1. К работе допускаются лица, достигшие 18 лет и прошедшие инструктаж по технике безопасности, знакомые с принципом работы и конструкцией лабораторного роботизированного стенда.
2. Работы по запуску, обслуживанию и выключению роботизированного стенда проводит технический персонал, имеющий допуск от заведующего лабораторией или заведующего кафедрой.
3. Перед началом работы из рабочей зоны роботизированного стенда необходимо убрать все посторонние предметы.
4. Запрещается работать на незаземленном оборудовании.
5. Все работы по наладке роботизированного стенда производятся только после отключения его от питающей сети и при отсутствии давления в нем.
6. Запрещается замерять исследуемые параметры роботизированного стенда без указаний преподавателя.
7. Запрещается загромождать рабочие места и проходы посторонними предметами.
8. Запрещается пересекать рабочую зону роботизированного стенда.
9. В режиме работы роботизированных стендов в рабочей зоне не допускается нахождение лиц, обслуживающего персонала, не допускается создание каких-либо препятствий.
10. Основными источниками опасных ситуаций могут являться сами ПР, несогласованность работы ПР и сопряженного оборудования, ошибки обслуживающего персонала. Примерами источников опасных ситуаций являются [1]:
  - подвижные элементы ПР, представляющие механическую опасность как самостоятельно, так и при взаимодействии с элементами сопряженного оборудования;
  - электрические, гидравлические или пневматические источники питания;
  - вредные производственные факторы, связанные с акустическим шумом, создаваемым ПР или сопряженным оборудованием;
  - индустриальные радио- и электростатические помехи, а также помехи, вызываемые вибрацией или ударом;
11. Степень риска для различных опасных ситуаций определяется как качественная характеристика вероятности возникновения опасной ситуации.

При оценке степени риска должны быть учтены такие факторы, как размеры, мощность, скорость перемещения подвижных

элементов ПР, опасные ситуации, связанные с технологическим процессом, который обслуживает ПР.

12. При работе с использованием роботизированных стендов необходимо соблюдать правила пожарной безопасности, правила работы с электрическим оборудованием, правила личной безопасности.

## **2 Правила выполнения лабораторных работ. Общее описание роботизированных стендов**

Лабораторные работы по дисциплине "Основы мехатроники и робототехники" являются одним из важных этапов изучения применения промышленных роботов для автоматизации технологических процессов. Выполнение этих работ дает возможность на учебных роботизированных стендах изучать кинематику и конструкции роботов, систему управления и работу приводов, работу механической передачи винт-гайка, позволяющей осуществлять движение робота по двум направляющим. Особый интерес представляет изучение работы сборочного робота, а также робота, входящего в состав гибкой производственной системы.

Все предлагаемые лабораторные работы можно разделить на две группы. К первой группе относятся работы, связанные с непосредственным наблюдением исследователя за функционированием:

- автоматизированного сборочного стенда с компьютерным управлением и техническим зрением на базе учебного робота РОБИН-1Ц USB/ШВП
- гибкой производственной системы с компьютерным управлением на базе двух станков с компьютерным управлением и учебного робота ГПС-2Т- Робин Сфера,

и дальнейшим инженерным анализом и расчетом основных характеристик работы манипуляционных роботов, гибкой производственной системы.

Ко второй группе относятся работы, связанные с использованием аналитических и инженерных методов расчета положений, скоростей и ускорений звеньев и точек, принадлежащим этим звеньям манипулятора, построения схем системы управления роботов, разработки компоновки оборудования в составе гибких автоматизированных модулей и гибких автоматизированных систем.

Для более глубокого усвоения материала студентами учебное пособие содержит теоретическую часть. Теоретическая часть включает основные понятия и определения, примеры решения задач о структуре манипулятора робота, определении степени подвижности манипулятора, определении кинематических характеристик манипулятора, системы управления, возможности создания гибкой производственной системы (ГПС), компоновки ГПС и другие задачи.

Отчет по каждой лабораторной работе оформляется по единым правилам и должен содержать следующие позиции:

- название лабораторной работы;
- цель работы;
- задание;
- схему механизма (робота, манипулятора);
- результаты выполнения задания. При расчете все промежуточные вычисления должны быть записаны;

- анализ результатов. Ответы на вопросы;
- выводы о проделанной работе.

### **Описание роботизированных стандов.**

**Автоматизированный сборочный стенд** включает в себя учебный робот РОБИН-1Ц USB/ШВП с компьютерным управлением, компьютерные имитаторы робота и сборочного станда; ноутбук; комплект сборочных элементов; подиум.

Сборочный робот обеспечивает распознавание сборочных элементов, произвольно расположенных в рабочей зоне видеокамеры, и согласно заданной пользователем программе сборки, перемещение и установка их роботом в заданное место сборки.



Рис. 2.1. Сборочный стенд

**Гибкая производственная система** содержит два токарных станка с числовым программным управлением (ЧПУ) и учебный робота ГПС-2Т-Робин Сфера. Токарные станки повышенной точности, оснащенные системой автоматической смены инструмента. Максимальная частота вращения шпинделя 2500 мин<sup>-1</sup>. Робот имеет три степени подвижности.



Рис. 2.2. Гибкая производственная система

### 3 Лабораторные работы № 1–9

#### 3.1 Изучение структуры, кинематической схемы манипулятора робота "Робин РСС-1 Сфера"

**Промышленный робот (ПР)**, являющийся одним из основных объектов изучения в дисциплине "Основы мехатроники и робототехники" [2, 3], представляет собой машину-автомат, состоящую из исполнительного механизма – манипулятора и системы управления.

Исполнительный механизм – манипулятор – представляет собой пространственный механизм с несколькими степенями свободы, снабженный по каждой из них приводом. Движения от приводов передаются звеньям манипулятора. Захват объектов манипулятор осуществляет с помощью захватного устройства.

В состав манипулятора входят механизмы, выполняющие различные свойства: основной механизм, передаточные механизмы, механизмы захватных устройств, механизмы уравнивания и механизмы развития движений [4].

Основной механизм содержит несущие звенья и представляется схематично как незамкнутый пространственный механизм с несколькими степенями свободы.

Передаточные механизмы в манипуляторе (МА) предназначены для передачи движения от двигателей к основным звеньям. В качестве передаточных механизмов используются: зубчатые, рычажные, шариковинтовые и другие механизмы.

**Структурный анализ механизма. Основные понятия и определения.**

Способность манипулятора воспроизводить движения, подобные движениям рук человека, достигается приданием МА нескольких степеней свободы. **Числом степеней свободы** механической системы называется число возможных перемещений системы.

Твердые тела, входящие в механическую систему манипулятора, называются **звеньями**.

Все неподвижные детали образуют одну жесткую неподвижную систему тел, называемую неподвижным звеном или стойкой.

Каждая подвижная деталь или группа деталей, образующих одну жесткую подвижную систему тел, называется подвижным звеном.

В механике различают входные и выходные звенья. Входным (ведущим) называется звено, которому сообщается движение, преобразуемое механизмом. Выходным (ведомым) называется звено, совершающее рабочее движение.

В манипуляторе число входных звеньев равно числу приводов. Выходное звено, как правило, одно – захватное устройство или рабочий орган.

Подвижное соединение двух соприкасающихся звеньев называется **кинематической парой (КП)**. КП могут быть двух видов:

- а) низшие КП, в которых контакт осуществляется по поверхности,
- б) высшие КП – контакт по точке или по линии.

Если классифицировать кинематические пары по числу связей, налагаемых парой на относительное движение звеньев, то в этом случае различают КП пятого, четвертого, третьего, второго и первого класса (классификация И.И. Артоболевского).

В МА в основном получили распространение одноподвижные кинематические пары, пары пятого класса, допускающие относительное вращательное, поступательное или винтовое движение.

Совокупность звеньев, образующих между собой кинематические пары, называется **кинематической цепью (КЦ)**.

Кинематические цепи подразделяются на плоские и пространственные, в зависимости от вида движения звеньев механизма, в параллельных плоскостях или пространстве.

Кинематические цепи могут быть замкнутыми и незамкнутыми. Незамкнутая цепь, это цепь в которой есть звенья, входящие в одну кинематическую пару.

#### **Составление кинематических схем механизмов.**

Кинематическая схема механизма дает полное представление о структуре механизма и определяет его кинематические свойства. Она является графическим изображением механизма посредством условных обозначений звеньев и кинематических пар с указанием размеров, которые необходимы для кинематического анализа механизма.

На кинематических схемах механизмов звенья, как правило, изображаются отрезками прямых и нумеруются арабскими цифрами. Кинематические пары в пространственных механизмах обозначаются большими буквами латинского алфавита. Стойку (неподвижное звено) принято выделять штриховкой.

Для построения кинематической схемы механизма рекомендуется следующая последовательность действий:

1. Установить основное кинематическое назначение механизма.
2. Подсчитать общее число звеньев  $k$ , включая стойку. Число подвижных звеньев будет равно  $n = k - 1$ .
3. Выяснить, сколько наложено на подвижные звенья механизма общих условий связи, и по их числу установить номер семейства механизма.
4. Подсчитать и установить класс кинематических пар, а также найти степень подвижности механизма.
5. Вычертить схему механизма. Начинать её надо с нанесения на чертеж неподвижных элементов кинематических пар, т. е. элементов, принадлежащих стойке. Далее следует вычертить ведущие звенья, входящие в кинематические пары со стойкой. (Число этих звеньев соответствует найденной ранее степени подвижности.) Затем надо нанести на чертеж кинематическую цепь, образующую ведомую часть механизма.

При проектировании ПР задача структурного синтеза манипулятора является одной из основных, ее решение связано непосредственно с выполнением функций робота. Число степеней свободы манипулятора должно выбираться исходя из условий выполнения технологических операций и перемещений выходного звена.

**Лабораторная работа: Изучение структуры, кинематической схемы манипулятора робота "Робин РСС-1 Сфера"**

**Цель работы:** углубление знаний по структуре, кинематическим свойствам механизма манипулятора робота.

**Задание:**

Исследовать работу манипулятора робота "Робин РСС-1 Сфера". Провести структурный анализ механизма. Определить общее число звеньев, число подвижных звеньев, охарактеризовать звенья механизма по характеру движения, подсчитать и установить класс кинематических пар. Установить номер семейства механизма и выяснить, нет ли в данном механизме звеньев, накладывающих лишние степени свободы. Определить степень подвижности механизма. Составить кинематическую схему механизма.

**Дать ответы на следующие вопросы:**

1. Что является исполнительным устройством робота?
2. Определить тип системы координат, в которой работает робот.
3. Что является рабочим органом манипулятора?
4. Определить тип захватного устройства.
5. Определить число степеней подвижности робота.
6. В чем отличие ориентирующих и переносных степеней подвижности?
7. Что является силовыми модулями манипулятора робота?
8. Какие типы приводов используются в работе?
9. Определить тип системы управления робота.
10. Назвать способ управления роботом.

**Сделать выводы по работе.**

### 3.2 Аналитическое определение положений, скоростей и ускорений звеньев манипулятора

Кинематическое исследование механизма, т. е. изучение движения звеньев механизма без учета сил, обуславливающих это движение, состоит в основном в решении трех задач:

- определение перемещений звеньев и траекторий, описываемых точками звеньев;
- определение скоростей отдельных точек звеньев и угловых скоростей звеньев;

- определение ускорений отдельных точек звеньев и угловых ускорений звеньев.

Функцией положения ведомого звена (или точки на нем) называется зависимость его (или ее) перемещения от перемещения ведущего звена (или точки на нем).

Вид функции положения зависит от схемы механизма, а значения постоянных, которые входят в нее, – от размерных параметров механизма. Для того чтобы составить функцию положения механизма, следует рассмотреть фигуру, которую образуют оси его звеньев. Из геометрических свойств этой фигуры находят искомую зависимость.

При кинематическом исследовании механизмов скорости и ускорения ведомых звеньев удобно выражать в функции поворота  $\phi$  или перемещения  $s$  ведущего звена. Если для некоторого звена механизма  $\phi_k = \phi_k(\phi)$ , то угловая скорость этого звена

$$\omega_k = \frac{d\phi_k}{dt} = \frac{d\phi_k}{d\phi} \cdot \frac{d\phi}{dt} = \omega \cdot \frac{d\phi_k}{d\phi} = \omega \cdot \omega_\phi = \omega \phi'_k.$$

Здесь  $\omega$  – угловая скорость ведущего звена, а  $\omega_\phi = \phi'_k$  – безразмерная угловая скорость этого  $k$ -го звена – аналог угловой скорости.

Угловое ускорение звена  $k$ :

$$\begin{aligned} \varepsilon_k &= \frac{d\omega_k}{dt} = \frac{d}{dt}(\omega \cdot \omega_\phi) = \omega \frac{d\omega_\phi}{dt} + \omega_\phi \frac{d\omega}{dt} = \\ &= \omega \frac{d\omega_\phi}{d\phi} \cdot \frac{d\phi}{dt} + \varepsilon \cdot \omega_\phi = \omega^2 \varepsilon_\phi + \varepsilon \omega_\phi, \end{aligned}$$

здесь  $\varepsilon_\phi$  – аналог углового ускорения звена  $k$ . Аналогично можно получить уравнения для скорости и ускорения какой-либо точки  $m$  звена. Пусть  $r_m$  – радиус-вектор, определяющий положение точки  $m$ . При вращательном движении ведущего звена

$$v_m = \frac{dr_m}{dt} = \frac{dr_m}{d\phi} \cdot \frac{d\phi}{dt} = \omega \cdot \frac{dr_m}{d\phi} = \omega \cdot v_\phi;$$

при поступательном движении ведущего звена

$$v_m = \frac{dr_m}{dt} = \frac{dr_m}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = v \cdot v_s.$$

$v_\phi$  – аналог скорости точки  $m$ , имеющий размерность длины.

$v_s$  – аналог скорости точки  $m$ , безразмерная величина.

Ускорение  $a_m$  в общем случае состоит из четырёх составляющих:

1) нормального ускорения, направленного вдоль радиус-вектора к его началу;

2) тангенциального ускорения, направленного перпендикулярно к радиус-вектору  $r_m$ ;

3) относительного релятивного ускорения, направленного вдоль радиус-вектора;

4) ускорения, направленного перпендикулярно к радиус-вектору:

$$a_m = \frac{dv_m}{dt} = \frac{d}{dt} \cdot (\omega v_\phi) = \omega \frac{dv_\phi}{dt} + v_\phi \frac{d\omega}{dt} =$$

$$= \omega \frac{dv_\phi}{d\phi} \cdot \frac{d\phi}{dt} + v_\phi \varepsilon = \omega^2 a_\phi + \varepsilon v_\phi.$$

Здесь  $a_\phi$  – аналог ускорения точки  $m$ . Имеет размерность длины.

При кинематическом исследовании механизма будем предполагать движение его ведущего звена равномерным.

### Рассмотрим пример 1.

#### Пример 1.

Определить число степеней свободы манипулятора. Найти зависимости для положения и скорости точки  $C$  схвата манипулятора (рис. 3.2). Длины звеньев  $AB$  и  $BC$ , углы, определяющие положения звеньев, линейные и угловые скорости  $\omega_1$  и  $\omega_2$  считать известными.

**Решение.** Ось  $z$  идет по оси вращательной пары (0-1), т.е. по оси вращения звена 1 (0 – стойка, 1 – вертикальное звено); звено 2 (горизонтальное звено  $AB$ ) поступательно перемещается относительно звена 1; звено 3 ( $BC$ ) совершает поворотное движение на угол  $\Theta$  относительно звена 2.

Незамкнутая кинематическая цепь состоит из трех подвижных звеньев (1, 2, 3), и содержит вращательную кинематическую пару (0-1), поступательную КП (1-2) и вращательную КП (2-3).

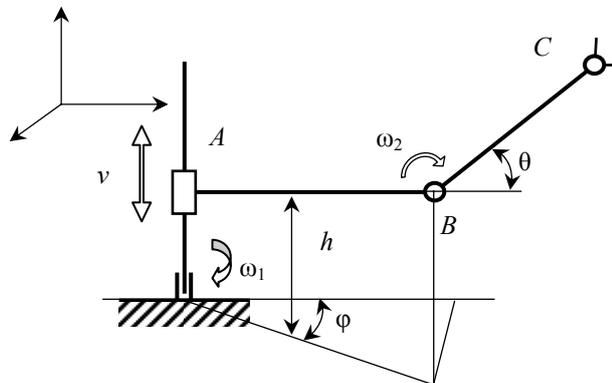


Рис. 3.2. Кинематическая схема механизма

Степень подвижности механизма равна трем,

$$W = 6n - 5P_5 = 6 \cdot 3 - 5 \cdot 3 = 3.$$

Манипулятор работает в сферической системе координат. Первая (прямая) задача динамики манипулятора состоит в расчете положения манипулятора (рабочего органа и всех звеньев) по заданным относительным перемещениям в кинематических парах. Затем решается прямая задача о скоростях, которая состоит в определении абсолютных линейных скоростей точек звеньев манипулятора и абсолютных угловых скоростей звеньев при заданных законах изменения обобщенных координат.

Определим координаты точки  $C$ . Положение манипулятора в любой момент времени определяется ориентацией его осей звеньев и кинематических пар и их положением. Координаты концевой точки манипулятора, точки  $C$ , определяются через координаты точки  $B$ .

$$x_B = AB \cdot \sin \varphi_1,$$

$$y_B = AB \cdot \cos \varphi_1,$$

$$z_B = h.$$

Координаты концевой точки манипулятора  $C$ :

$$x_C = (AB + BC \cdot \cos \theta) \cdot \sin \varphi_1 = AB \cdot \sin \varphi_1 + BC \cdot \cos \theta \cdot \sin \varphi_1$$

$$y_C = (AB + BC \cdot \cos \theta) \cdot \cos \varphi_1,$$

$$z_C = h + BC \cdot \sin \theta.$$

Скорость точки  $C$  определяется по формуле

$$v_C = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}.$$

$$v_x = \frac{dx_C}{dt} = \frac{\partial x_C}{\partial \varphi_1} \cdot \frac{d\varphi_1}{dt} + \frac{\partial x_C}{\partial \theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} = \frac{\partial x_C}{\partial \varphi_1} \cdot \omega_1 + \frac{\partial x_C}{\partial \theta} \cdot \omega_2 =$$

$$= (AB \cdot \cos \varphi_1 + BC \cdot \cos \theta \cdot \cos \varphi_1) \cdot \omega_1 - BC \cdot \sin \theta \cdot \sin \varphi_1 \cdot \omega_2,$$

$$v_y = \frac{dy_C}{dt} = \frac{\partial y_C}{\partial \varphi_1} \cdot \frac{d\varphi_1}{dt} + \frac{\partial y_C}{\partial \theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} = \frac{\partial y_C}{\partial \varphi_1} \cdot \omega_1 + \frac{\partial y_C}{\partial \theta} \cdot \omega_2 = \dots,$$

$$v_z = \frac{dz_C}{dt} = \frac{\partial z_C}{\partial \theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} = \frac{\partial z_C}{\partial \theta} \cdot \omega_2 = \dots$$

**Лабораторная работа: Аналитическое определение положений, скоростей и ускорений звеньев манипулятора.**

**Цель работы:** аналитически решить первую (прямую) задачу динамики манипулятора, которая состоит в расчете положения манипулятора (рабочего органа и всех звеньев) по заданным относительным перемещениям в кинематических парах. Затем решается прямая задача о скоростях, которая состоит в определении абсолютных линейных скоростей точек звеньев манипулятора и абсолютных угловых скоростей звеньев при заданных законах изменения обобщенных координат.

**Задание:**

1 вариант (рис. 3.3).

Найти выражения для функции положения и аналога скорости точки  $B_3$  – точки звена 3 косекансного механизма, совпадающей с точкой  $B_1$  звена 1. Ведущее звено 1; положение звена 1 определяется углом  $\varphi_1$ , а положение точки  $B_3$  – расстоянием  $S_{B_3}$ ; величина  $h$  известна.

2 вариант (рис. 3.3).

Найти выражение для функции положения кулисы 3 кулисного механизма Витворта. Ведущее звено 1; положения звеньев 1 и 3 определяются углами  $\varphi_1$  и  $\varphi_3$ . Размеры  $l_{AB}$  и  $l_{BC}$  известны.

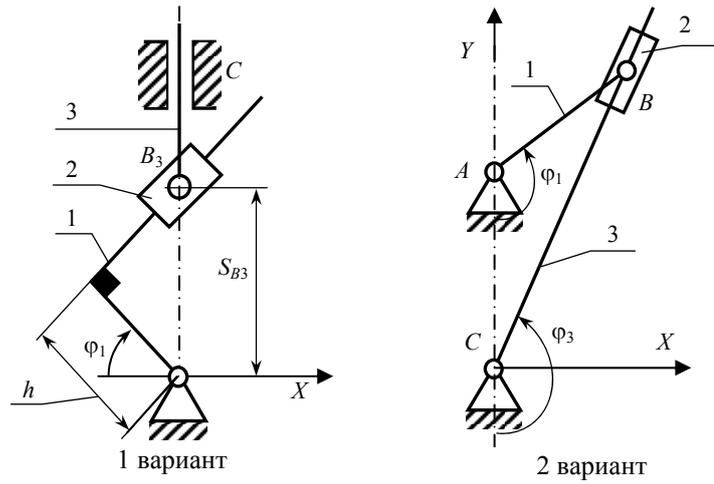


Рис. 3.3. Схемы механизмов

3 вариант.

Найти выражение для функции положения точки  $C$  кривошипно-ползунного механизма (рис. 3.4) и ее аналога скорости. Ведущее звено 1; положение звена 1 определяется углом  $\varphi_1$ , а положение точки  $C$  – расстоянием  $SC$ , отсчитываемым от крайнего правого положения на оси  $OX$ ; размеры  $l_{AB}$  и  $l_{BC}$  известны.

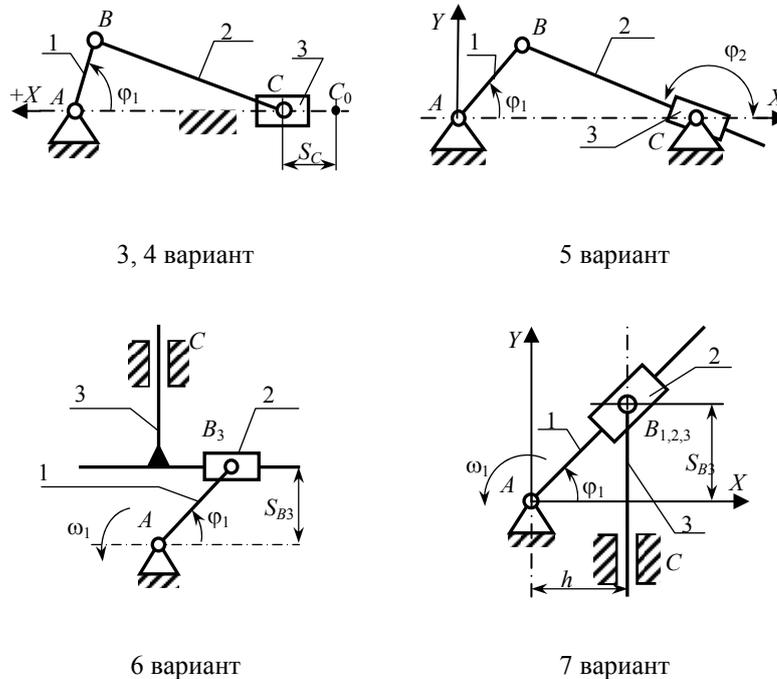


Рис. 3.4. Схемы механизмов

4 вариант.

У кривошипно-ползунного механизма (рис. 3.4) вычислить скорость точки шарнира  $C$ . Ведущее звено 1; положение звена 1 определяется углом  $\varphi_1=30^\circ$ , его угловая скорость  $\omega_1=100 \text{ сек}^{-1}$ ; размеры:  $l_{AB}=0,1 \text{ м}$  и  $l_{BC}=0,3 \text{ м}$ .

5 вариант.

Найти выражение для функции положения штока 2 кривошипного механизма (рис. 3.4) с качающимся ползуном и аналога скорости штока. Ведущее звено 1; положения звеньев 1 и 2 определяются углами  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ . Размеры  $l_{AB}$  и  $l_{AC}$  известны.

6 вариант.

Вычислить значения скорости и ускорения, а также их аналогов для точки  $B_3$  звена 3 синусного механизма (рис. 3.4), совпадающей с точкой  $B_1$  звена 1. Угловая скорость звена 1  $\omega_1=100 \text{ сек}^{-1}$ ; положение звена 1 определяется углом  $\varphi_1=45^\circ$ ,  $l_{AB}=0,1 \text{ м}$ .

7 вариант.

Вычислить скорость точки  $B_3$  звена 3 тангенсного механизма (рис. 3.4), совпадающей с точкой  $B_1$  звена 1. Положение звена 1 определяется углом  $\varphi_1=45^\circ$ , его угловая скорость  $\omega_1=20 \text{ сек}^{-1}$ ,  $h=0,1 \text{ м}$ .

### 3.3 Определение положений, скоростей и ускорений звеньев манипулятора методом планов

Целью кинематического анализа является изучение движения звеньев механизма независимо от сил, действующих на них. При этом принимаются допущения: звенья абсолютно жесткие (не деформируются) и в кинематических парах отсутствуют зазоры.

Задача кинематического анализа решается для проверки того, насколько удачно спроектирован механизм, то есть насколько его кинематические характеристики соответствуют заданным. Другими словами, под кинематическим анализом механизма понимают аналитический или графический процесс расчета, в результате которого определяются положения каждого из звеньев механизма, перемещения точек звеньев или углы их поворота, линейные скорости и ускорения точек и угловые скорости и ускорения звеньев по заданному закону движения начального (ведущего) звена.

Кинематический анализ можно производить аналитическим путем или с применением графических методов. В инженерной практике наиболее часто используются графические и графоаналитические методы, посредством которых решаются основные задачи кинематического анализа механизма с точностью, достаточной для большинства случаев практики. Графические

приемы исследования обычно оказываются проще и нагляднее аналитических. Они позволяют значительно упростить вычисления и требуют меньшей затраты времени.

Аналитические методы более трудоемки, но обеспечивают большую точность. Однако в ряде случаев, при проектировании механизмов, звенья которых должны осуществлять движение по заданному закону с большой точностью, аналитические методы являются единственно приемлемыми

Кинематический анализ выполняется в той же последовательности, как и образование структурной схемы механизма. Начиная с ведущего звена, переходят к первой структурной группе, присоединенной к этому звену, затем ко второй группе и т.д., так как для кинематического анализа каждой группы должны быть известны положения, скорости и ускорения элементов кинематических пар, к которым эта группа присоединяется.

Для построения кинематической схемы механизма должны быть известны размеры звеньев и положение ведущего звена. Сначала выбирают масштаб (масштабный коэффициент) в котором будет построен механизм. Масштабный коэффициент длин имеет размерность м/мм. Он зависит от величины размеров звеньев и от видимой площади бумаги, где будет изображен механизм. Построение начинают с ведущего звена. Положение остальных звеньев определяют методом засечек. Если механизм имеет несколько центров неподвижных шарниров и осей направляющих поступательных пар, но все неподвижные элементы должны наноситься на схему в первую очередь.

**Лабораторная работа: Определение положений, скоростей и ускорений звеньев манипулятора методом планов.**

**Цель работы:** используя метод планов (графический метод) решить задачу о кинематическом исследовании механизма.

**Задание:**

1 вариант (рис. 3.5).

Найти абсолютное значение скорости точки E и угловой скорости звена CD шарнирного четырехзвенного механизма. Известно:  $l_{AB}=40$  мм,  $l_{BC}=l_{CD}=l_{AD}=80$  мм,  $l_{BE}=l_{CE}=47$  мм,  $\varphi_1=45^\circ$ ,  $\omega_1=\text{const}=20$  сек<sup>-1</sup>.

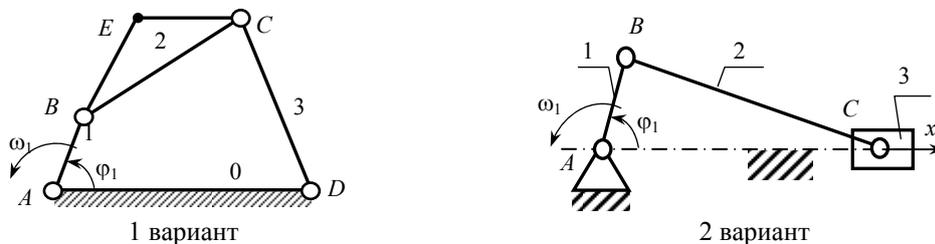


Рис.3.5. схемы механизмов

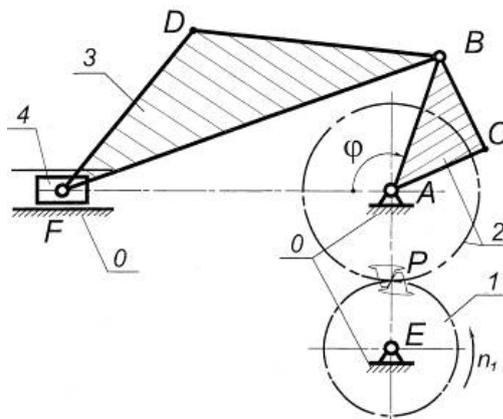
2 вариант (рис. 3.5).

Найти угловую скорость звена BC кривошипно-ползунного механизма. Известно:  $l_{AB}=60$  мм,  $l_{BC}=180$  мм,  $\varphi_1=120^\circ$ ,  $\omega_1=\text{const}=100$  сек<sup>-1</sup>.

3 – 7 варианты (рис. 3.6).

Построить планы скоростей механизмов, определить скорости точек  $B$  и  $D$ , величины угловых скоростей звеньев  $BF$  и  $DB$ .

Вариант	$\omega_2, \text{с}^{-1}$	$\varphi$ град	$AB$	$BC$	$AC$	$BF$	$BD$	$DF$
			мм					
3	15.7	50	40	30	35	90	90	30
4	12.6	120	50	40	40	120	100	30
5	11.8	150	60	60	100	180	160	40
6	7.5	120	70	80	120	240	100	160
7	9.3	90	90	70	90	340	210	150



3 – 7 варианты  
Рис. 3.6. Схема механизма

**Дать ответы на следующие вопросы:**

1. Какова цель кинематического анализа?
2. Какие виды кинематического анализа вам известны?
3. Что понимается под масштабом при построении плана положений, скоростей и ускорений?
4. Какие данные необходимы для построения кинематической схемы механизма?
5. Какие допущения принимаются при кинематическом анализе механизма?
6. Что называется планом скоростей?
7. Как определяются угловые скорости звеньев?

### 3.4 Изучение кинематических характеристик передаточных механизмов промышленного робота "Робин РСС-1 Сфера"

Передаточные механизмы в манипуляторе (МА) предназначены для передачи движения от двигателей к основным звеньям. В качестве передаточных механизмов используются: зубчатые, рычажные, шариковинтовые и другие механизмы. Степень сложности передаточного механизма зависит от расположения двигателей. Если двигатель расположен на соседнем звене от звена, к которому передается движение, то передача получается простой, но при этом двигатель находится на подвижном звене и перемещается вместе с манипулятором. Если двигатель расположен на основании, то передаточный механизм сильно усложняется. Передаточные кинематические цепи образуют вместе с основными звеньями сложную многозвенную механическую систему с несколькими степенями свободы.

Основной задачей синтеза является осуществление заданного движения рабочего органа манипулятора. Решение этой задачи многовариантно, т. е. одну и ту же форму движения можно осуществить механизмами различных типов.

Конструктор обычно проектирует несколько вариантов схем и после их всестороннего изучения и сравнения выбирает наилучший – оптимальный для заданных условий.

В роботах часто применяют передаточные механизмы с высшими парами (зубчатые передачи). Это не всегда может быть оптимально из-за динамических нагрузок. Сама кинематическая схема при этом может иметь меньшее количество звеньев и кинематических пар. Это в целом упрощает систему.

Более рационально применение механизмов с низшими парами, например, передаточного механизма шарнирного четырехзвенника. Такой передаточный механизм применяется в кинематической схеме манипулятора робота "Робин РСС-1 Сфера". Здесь шарнирный четырехзвенник представляет собой тягу, обеспечивающую движение одному из звеньев робота.

Применение рычажных механизмов позволяет снизить динамические нагрузки и повысить быстродействие робота. Эти механизмы могут преобразовывать равномерное вращательное движение кривошипа в неравномерное вращательное, возвратно-поступательное или в сложное плоское движение шатуна, а также преобразовывать поступательное движение во вращательное. Наиболее распространены шарнирный четырехзвенник (рис. 3.7, а), кривошипно-кулисный механизм (рис. 3.7, б) и кривошипно-ползунный механизм (рис. 3.7, в). Однако такие механизмы имеют большие размеры по сравнению с механизмами с высшими парами.

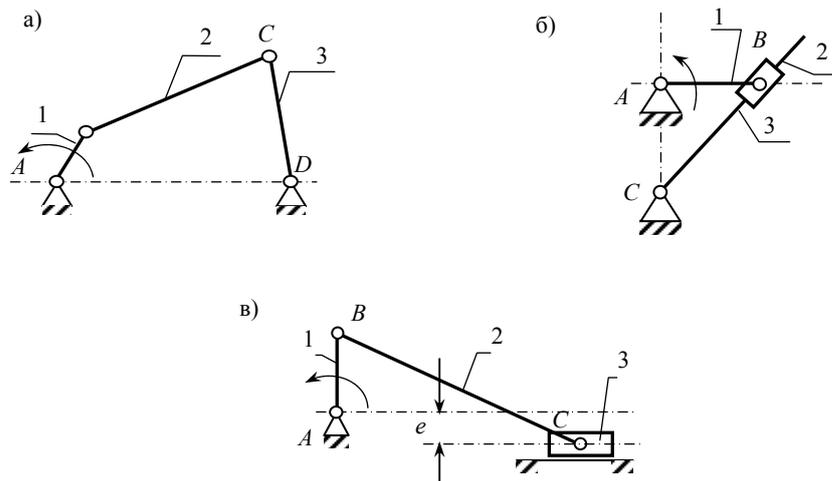


Рис. 3.7. Четырехзвенные механизмы

**Зубчатые механизмы** находят очень широкое применение во многих машинах и приборах для преобразования вращательного движения в поступательное или наоборот. Они имеют высокий КПД (до 0,98-0,99 для одной пары колёс – ступени), надёжны в работе, просты в обслуживании, компактны

**Зубчатые механизмы** относятся к **механизмам с высшими кинематическими парами**. Передача движения осуществляется зацеплением. Высшая кинематическая пара, образуемая последовательно взаимодействующими поверхностями зубьев, называется зубчатым зацеплением.

Простейшим зубчатым механизмом является механизм, состоящий из пары зубчатых колёс и стойки. Меньшее из этих колёс (с меньшим числом зубьев) называется шестерней, большее – колесом. Механизмы с числом зубчатых колёс больше двух являются сложными.

Основной задачей кинематического анализа зубчатых механизмов является определение угловых скоростей или частоты вращения звеньев механизма, частоты вращения звеньев механизма, направления вращения. Эта задача обычно решается через вычисление передаточных отношений.

Рассмотрим трехзвенные зубчатые механизмы с цилиндрическими колесами эвольвентного профиля (рис. 3.8).

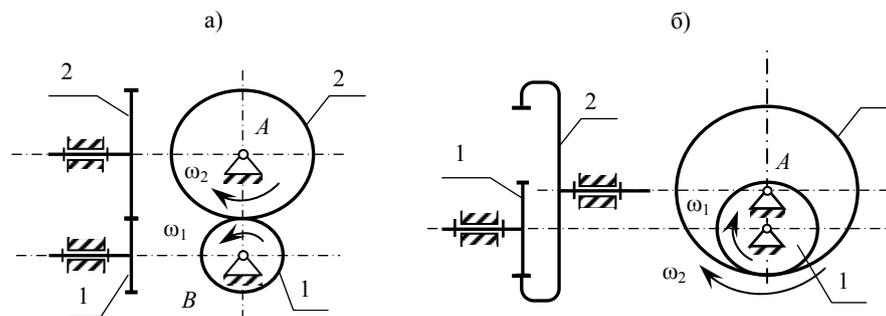


Рис. 3.8. Зубчатые механизмы

**Передаточное отношение** является **основным кинематическим параметром** зубчатых механизмов. Согласно ГОСТу 16530–83 передаточным отношением называется отношение угловых скоростей звеньев (или частоты вращения), т. е.

$$i_{j,k} = \frac{\omega_j}{\omega_k} = \frac{n_j}{n_k},$$

где  $i_{j,k}$  – передаточное отношение от звена  $j$  к звену  $k$  (иногда используется обозначение  $u_{jk}$  или  $u_{12}$ );  $\omega_j(n_j), \omega_k(n_k)$  – угловые скорости (частоты вращения) звеньев  $j, k$ .

Передаточное отношение для двух зубчатых колёс с неподвижными осями можно выразить через диаметры (начальных или делительных окружностей) зубчатых колёс и числа зубьев (обратные отношения):

$$i_{1,2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = (\pm) \frac{z_2}{z_1}.$$

Знак «+» берется для внешнего зацепления (рис. 3.8, а), знак «−» для внутреннего зацепления (рис. 3.14, б). Знаки учитываются только для зубчатых передач с параллельными осями вращения колес.

Зацепление одной пары зубчатых колес называется ступенью, передаточное отношение принимает значения до 6...8. Для обеспечения большего передаточного отношения применяются многоступенчатые зубчатые механизмы. Если угловая скорость ведомого звена меньше угловой скорости ведущего звена ( $i > 1$ ), то этот механизм является замедляющим, или редуктором. В машиностроении более широкое применение нашли замедляющие передачи (редукторы).

Передаточное отношение сложного зубчатого механизма с неподвижными осями равно произведению передаточных отношений отдельных ступеней

$$i_{1,n} = \frac{\omega_1}{\omega_n} = (-1)^m \cdot i_{1,2} \cdot i_{2,3} \cdot i_{3,4} \dots i_{(k-1),k},$$

где  $m$  – число пар с внешним зацеплением;  $k$  – число колёс.

**Передвижение промышленного робота "Робин РСС-1 Сфера"** осуществляется за счет применения **шариковинтовой передачи (ШВП)**. Шариковинтовые передачи (рис. 3.9) состоят из ходового винта, гайки с интегрированными шариками и механизмом возврата шариков. Шариковинтовые передачи наиболее часто используются в промышленном и прецизионном оборудовании [5]. Они служат для преобразования вращательного движения в поступательное или наоборот. При этом они отличаются высокой точностью при высоком КПД. Шариковинтовые передачи отличаются точным ходом с малыми потерями на трение, нуждаются в небольшом движущем моменте и обладают высокой жесткостью при плавности хода (<http://ru.wikipedia.org> 15.04.2014 г).

Шариковинтовая передача – это высокоэффективный метод преобразования вращательного движения в линейное с помощью использования механизма циркулирующего шарика между ходовым винтом и гайкой. По сравнению с традиционной скользящей винтовой передачей вращающий момент для шариковинтовой передачи уменьшается в три раза и более, что делает ее оптимальной для экономии мощности электродвигателя.



Рис. 3.9.. Шарико-винтовая передача

**Лабораторная работа: Изучение кинематических характеристик передаточных механизмов промышленного робота "Робин РСС-1 Сфера"**

**Цель работы:** исследование работы гибкой производственной системы с на базе двух токарных станков и учебного робота ГПС-2Т- Робин Сфера. Исследование кинематических характеристик передаточных механизмов промышленного робота "Робин РСС-1 Сфера".

**Задание:**

**Дать ответы на следующие вопросы:**

1. Какова цель использования передаточных механизмов?
2. Перечислить основные типы передаточных механизмов, используемых, в промышленном роботе "Робин РСС-1 Сфера".
3. В чем достоинства и недостатки передаточных механизмов с высшими и низшими кинематическими парами?
4. Написать формулу для определения передаточного отношения одноступенчатой зубчатой передачи.
5. Перечислить звенья, входящие в простейшие зубчатые механизмы.
6. Цель использования многоступенчатых передач.
7. Написать формулу для определения передаточного отношения многоступенчатой зубчатой передачи.
8. Чем зубчатая передача отличается от шариковинтовой передачи?
9. Зачем используется в промышленном роботе "Робин РСС-1 Сфера" шариковинтовая передача?

10. Когда учитываются знаки передаточных отношений ступеней зубчатой передачи?
11. Какие вам известны другие передаточные механизмы, кроме используемых в промышленном роботе "Робин РСС-1 Сфера"?

**Решить задачу.**

Определить передаточное отношение  $i_{1,3}$  и расстояния  $a_{1,2}$  и  $a_{2,3}$  между осями колес зубчатой передачи (рис. 3.10), если зубья всех колес имеют модуль  $m=10$  мм, числа зубьев колес приведены в таблице:

Вариант	$z_1$	$z_2$	$z_3$
1	20	30	40
2	25	30	45
3	30	60	75
4	17	34	50
5	18	54	80
6	22	36	66

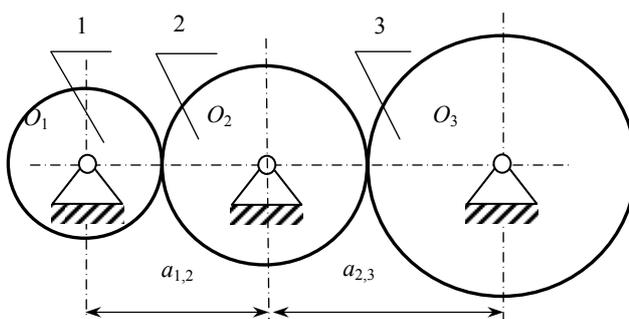


Рис. 3.10. Схема механизма

Результаты расчета представить в таблице:

Исходные данные	Число ступеней	Расчетные формулы	$i_{12}$	$i_{23}$	$i_{13}$	$R_1$ , мм	$R_2$ , мм	$R_3$ , мм	$a_{1,2}$ , мм	$a_{2,3}$ , мм
...	...	...	...							

*Указание.*

При решении задачи требуется найти межосевое расстояние (расстояние между осями пары зацепляющихся колес). Эти расстояния могут быть найдены из следующих соотношений:

1) радиусы начальных окружностей цилиндрических колес определяются

$$R = \frac{mz}{2}, \text{ где } m \text{ – модуль по начальной окружности [мм], } m = \frac{t}{\pi}; t \text{ – шаг}$$

по начальной окружности;  $z$  – число зубьев колеса;

2) межцентровые расстояния соответственно определяются:

$a = \frac{z_2 \pm z_1}{2} m$ , знак «+» для внешнего зацепления, «-» для внутреннего зацепления.

### 3.5 Определение типа системы координат и рабочего пространства промышленного робота "Робин РСС-1 Сфера"

**Системы координат промышленных роботов** определяют его компоновочную схему и соответственно кинематику, и форму рабочей зоны. Роботы могут работать в прямоугольной декартовой, цилиндрической, сферической, угловой и комбинированной системе координат.

Системы координат позволяют описывать положение точки на плоскости или в пространстве с помощью не только линейных перемещений, но и углов поворота. Например, для определения места нахождения точки на плоскости достаточно знать длину отрезка, соединяющего ее с началом координат — полюсом, и угол между отрезком и осью X.

Задание положения точки с помощью угла поворота характерно для полярных координат, частным случаем которых является цилиндрическая система координат. Последняя используется для описания положения точки в пространстве. Цилиндрическая система координат удобна для описания работы различных типов манипуляторов

Тип применяемой в конструкции робота системы координат резко влияет на размер зоны обслуживания, которая при замене прямоугольной системы координат на цилиндрическую увеличивается в 9,6 раза, а при использовании полярной системы координат — в 29,7 раза. Помимо системы координат на размеры зоны обслуживания (или рабочего пространства) влияет также число степеней подвижности робота.

Для полного осуществления пространственного движения необходимо иметь в манипуляторе шесть степеней подвижности, из них три нужны для приведения конца манипулятора в требуемую точку пространства, ещё три – для получения требуемой угловой ориентации захватного устройства или инструмента.

Три первые степени подвижности манипулятора (переносные) определяют три пространственные координаты точек рабочей зоны. Этими переносными степенями подвижности в различных системах координат определяются форма и размеры рабочей зоны робота.

Определение размеров рабочей зоны ПР имеет очень важное значение для обеспечения безаварийной работы гибких производственных систем. Появление человека в рабочей зоне промышленных роботов должно вызывать автоматическую блокировку робота. В общем случае устройство защиты в роботизированных комплексах должно формировать командные сигналы аварийной остановки ПР при появлении человека в опасной для его жизни части рабочего пространства гибкой производственной системы. Для формирования такого командного сигнала устройства защиты должны

осуществлять регистрацию пространственного положения ПР и отдельных его механизмов, а также иметь данные о местонахождении обслуживающего персонала при появлении его в рабочей зоне ПР. Снятие сигнала должен выполнять сам оператор, осуществляющий наладку и обслуживание ГПС.

Если ГПС оснащены ПР, работающими по жесткой программе, то появление человека в *рабочей зоне робота* должно вызывать автоматическую блокировку его работы. При использовании адаптивных ПР или ПР с гибким управлением от центральной ЭВМ остановка движений при совмещении рабочих зон оператора и ПР должна осуществляться только в той точке зоны рабочего пространства, где находится оператор.

**Лабораторная работа: Определение типа системы координат и рабочего пространства промышленного робота "Робин РСС-1 Сфера".**

**Цель работы:** изучение работы гибкой производственной системы с на базе двух токарных станков и учебного робота ГПС-2Т-Робин Сфера. Определение типа системы координат и рабочего пространства промышленного робота "Робин РСС-1 Сфера".

**Задание:**

**Дать ответы на следующие вопросы:**

1. Назовите известные вам системы координат?
2. Дайте подробную характеристику каждой системы координат, используемой для определения положения концевой точки манипулятора робота.
3. Как зависит форма и размеры рабочей зоны робота от типа системы координат?
4. Влияет ли число степеней подвижности робота на размеры зоны обслуживания (или рабочего пространства)? Что такое число степеней подвижности?
5. Изменится ли размер рабочей зоны робота при замене цилиндрической системы координат на сферическую? Обосновать ответ.
6. Какое число степеней подвижности в каждом сочленении звена робота "**Робин РСС-1 Сфера**".
7. Что необходимо знать для определения места нахождения точки (координаты точки) на плоскости?

3.6 Общая функциональная схема системы управления роботизированного комплекса механической обработки на базе робота "**Робин РСС-1 Сфера**"

Управление роботами осуществляет его устройство управления. По принципу управления роботы разделяются на программные, адаптивные и интеллектуальные. Адаптивное управление обычно строится на базе программного как следующий уровень управления. Интеллектуальное управление, в свою очередь, реализуется как надстройка над первыми двумя уровнями. По степени участия человека-оператора в процессе управления различают системы автоматического, автоматизированного и ручного управления.

По типу движения исполнительных систем существуют системы управления:

- дискретные цикловые (по упорам, как правило, с одним шагом по каждой координате);
- дискретные позиционные (шагами «от точки к точке»);
- непрерывные (контурные).

По управляемым переменным различают системы управления:

- положением (позицией);
- скоростью;
- силой (моментом).

Система управления робота, реализующая все запрограммированные движения, имеет информационную и командную связи с остальным оборудованием для синхронизации своих действий с темпом работы данной технологической линии.

Управляющим устройством промышленного робота является перепрограммируемое устройство программного управления. Перепрограммируемость – свойство ПР заменять управляющую программу (автоматически или при помощи человека-оператора). К перепрограммированию относится изменение управляющих функций, последовательности и величин перемещений по степеням подвижности. С пульта оператора через центральный блок управления задается режим работы системы управления, например: ОБУЧЕНИЕ, ШАГ, ЦИКЛ, АВТОМАТ. На пульте оператора фиксируется информация о состоянии манипулятора и его системы управления. Режимы ШАГ и ЦИКЛ означают, что оператор может вызвать из устройства памяти одну команду или весь цикл и робот будет обрабатывать эту команду или весь цикл запрограммированного движения. Режим АВТОМАТ соответствует включению системы на многократную отработку программы в процессе автоматического рабочего действия робота.

Совершенствование системы управления промышленного робота, ее связи с управлением технологическим оборудованием и математическое (программное) обеспечение позволяют добиваться устранения влияния погрешностей механизмов манипулятора, высокой точности позиционирования, плавности движений, быстроедействия, отсутствия колебаний и сокращения потерь рабочего времени технологического оборудования.

В настоящее время применяются в основном ПР с программным управлением, так как они наиболее просты и эффективны в условиях широко распространенных монотонно-циклических операций. Применение программных ПР требует строгого упорядочивания среды, т. е. заготовки и детали должны находиться в заданном месте в фиксированном положении и в определенном порядке, и специального технологического оборудования и оснастки.

Устройство управления ПР предназначено для программирования, сохранения управляющей программы, ее воспроизведения и выдачи управляющих воздействий исполнительному устройству. Система управления содержит элементы: центральный блок управления, запоминающее устройство хранения и выдачи управляющей программы, пульт управления, блок управления приводами, блок управления технологическим оборудованием, модуль аварийной блокировки, технологическое оборудование, устройство управления ПР и другие элементы. Современные УУ создаются на базе таких специальных устройств, как микропроцессор, имеющих развитое математическое обеспечение, гибкое программирование, обладающих возможностью объединения с другим оборудованием.

**Лабораторная работа: Общая функциональная схема системы управления роботизированного комплекса механической обработки на базе робота "Робин РСС-1 Сфера".**

**Цель работы:** изучить организацию и управление роботизированного комплекса механической обработки на базе робота "Робин РСС-1 Сфера". Представить схему системы управления ГПС-2Т-Робин Сфера.

**Задание:**

1. Описать состав оборудования, входящего в гибкую производственную систему ГПС-2Т-Робин Сфера.
2. Описать последовательные действия промышленного робота по обслуживанию оборудования в составе системы ГПС-2Т-Робин Сфера.
3. Описать систему программного обеспечения гибкой производственной системы ГПС-2Т-Робин Сфера.
4. Представить схему системы управления ГПС-2Т-Робин Сфера

**Дать ответы на следующие вопросы:**

1. Как классифицируются системы управления по степени участия человека-оператора?
2. Что представляет собой гибкий производственный модуль (ГПМ)?
3. Что такое гибкая производственная система (ГПС)?
4. Покажите на схеме основные составляющие единицы технологического модуля ГПС-2Т-Робин Сфера.

5. Прочитайте описание следующего технологического процесса: "Заготовки в специальных контейнерах (прямоугольные ящики с ячейками) подаются на кольцевой транспортер-накопитель, откуда они периодически поступают на тележку робота. Робот берет из ячейки заготовки, устанавливает их на станок, снимает после обработки со станка и укладывает в те же ячейки контейнера. Когда заготовки всех ячеек обработаны, тележка робота с контейнерами переходит в крайнее левое положение. Здесь стол освобождается от деталей и получает новый контейнер с заготовками". Ответьте на вопрос: что представляет собой описанный технологический процесс– ГПС или ГПМ?
6. В чем преимущество модульной структуры программного обеспечения?
7. Какая из программ (станка или робота) является главной?
8. Приведите классификацию систем программного управления.

### 3.7 Изучение работы роботизированного сборочного станда с техническим зрением

Операция сборки является одной из самых трудно автоматизируемых в связи с разнообразием деталей и узлов, трудностями, связанными с идентификацией деталей и их локализацией в заданной позиции и пространстве.

В данной лабораторной работе рассматривается сборочный станд, созданный на базе робота с компьютерной системой ЧПУ, который оснащен web – камерой и системой обработки видеoinформации, то есть системой технического зрения (СТЗ).

Схема компоновки станда с техническим зрением: сборочный станд состоит из стола, робота, а также системы управления. Схема расположения элементов ГПМ приведена на рисунке 3.11, здесь показаны расстояния, на которых расположены элементы станда относительно друг друга.

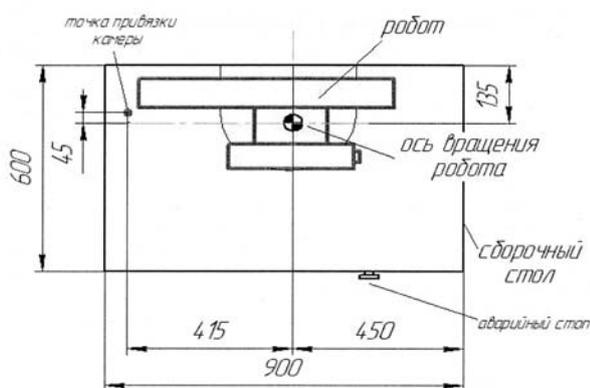


Рис. 3.11. Схема расположения элементов ГПМ

Распознавание объекта с помощью систем технического зрения (определение его местоположения, оценка его размерных характеристик, качества поверхностей, состояния инструмента и т. д.) позволяет существенно расширить функциональные возможности роботов и соответственно области их применения. Оценка рациональности применения системы ПР – СТЗ является оправданной в случае выполнения следующих условий: используемая СТЗ обладает достаточно качественными характеристиками; характеристики ПР и СТЗ согласованы между собой; создание РТК без СТЗ либо затруднено, либо невозможно.

В изучаемом сборочном стенде с техническим зрением используется СТЗ с корректирующей функцией, то есть СТЗ осуществляет контроль наличия деталей, идентификацию детали, выбор подпрограммы, коррекцию положения захвата.

Интерфейс управляющей программы.

Программа имеет модульную структуру и обеспечивает возможность управления сборочным (ГПМ) или сортировочным стендом (ГПС). Каждый из модулей может работать автономно, не зависимо от других.

### **Лабораторная работа: Изучение работы автоматизированного сборочного стенда с техническим зрением**

**Цель работы:** изучить работу сборочного стенда с техническим зрением

#### **Задание:**

Провести структурный анализ сборочного робота с техническим зрением. Определить общее число звеньев, число подвижных звеньев, Определить степень подвижности механизма. Составить кинематическую схему механизма.

#### **Дать ответы на следующие вопросы:**

1. Какие движения могут выполнять звенья робота?
2. Тип двигателей привода робота?
3. Как ограничиваются перемещения звеньев робота?
4. Понятие о техническом зрении.
5. Какие задачи решает система управления?
6. Вид системы управления?
7. Количество управляемых координат?
8. Возможные погрешности позиционирования.
9. Причины погрешностей позиционирования.
10. Как преобразуется вращательное движение валов двигателей в поступательное перемещение линейных звеньев?
11. От чего зависит время сборки?

### 3.8 Изучение работы гибкой производственной системы ГПС-2Т-УР на базе двух токарных станков с ЧПУ и робота

#### **Назначение гибких производственных систем.**

**Гибкостью производства** называется его способность быстро и без существенных затрат труда и средств переналаживаться на изготовление новой или модернизированной продукции и на новые технологические процессы с новой их организацией.

Решению таких задач удовлетворяет технологическая линия, завод, цех, которые управляются сетью ЭВМ с соответствующим программным обеспечением, широким применением робототехнических систем и технологического оборудования с ЧПУ. Тогда производство может быть переналажено в основном программным путём, возможно, лишь со сменой отдельных агрегатов.

Гибкая производственная система (ГПС) имеет многоуровневую иерархическую структуру.

В данной лабораторной работе изучается гибкая производственная система ГПС-2Т-УР на базе двух токарных станков с ЧПУ и робота. Схема компоновки ГПС в 3D приведена на рисунке 3.21.

ГПС включает (рис. 3.12) в себя два токарных станка (1, 2); подвижной стол для робота (3); робот (4); накопитель заготовок (5); блок питания (6).

Работа на ГПС-2Т-УР включает следующие действия:

1. Подать питание на робот и станок.
2. Включить компьютер и запустить систему управления (имитатор ГПС), выполнить настройку интерфейса и наладку станка, загрузить управляющую программу и запустить ее на обработку.

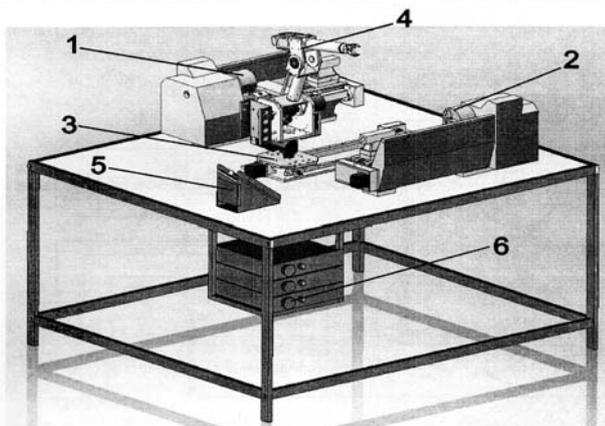


Рис 3.12. Общая схема ГПС в 3D

#### **Интерфейс программы.**

Программа имеет модульную структуру. Каждый модуль это отдельная программа, позволяющая работать с рабочими единицами ГПС. В зависимости от комплектации в составе ГПС может быть различное количество станков, например, два токарных, токарный и фрезерный или два фрезерных станка.

В ГПМ модуль управления роботом является главным и позволяет оперировать модулями станка.

### **Учебный настольный токарный станок повышенной точности с компьютерным управлением.**

На станке можно выполнять токарные операции в "ручном" или автоматическом режимах в соответствии с управляющей программой на заготовках из дерева, пластмасс и металлов. Управление станком осуществляется от персонального компьютера в системе Windows. Управляющие программы для обработки деталей составляются с использованием простых стандартных функций. Компьютерные имитаторы станка и устройства числового программного управления позволяют имитировать обработку на станке (выполнять наладку и программирование, изготавливать виртуальную деталь по созданной управляющей программе), а затем запускать станок на изготовление реальной детали. Станок безопасен и надежен в эксплуатации, оснащен защитным кожухом, не требует специального обслуживания.

**Токарный станок** – станок для обработки резанием (точением) заготовок из металлов и др. материалов в виде тел вращения. На токарных станках выполняют обточку и расточку цилиндрических, конических и фасонных поверхностей, нарезание резьбы, подрезку и обработку торцов, сверление, зенкерование и развёртывание отверстий и т. д. Заготовка получает вращение от шпинделя, резец – режущий инструмент – перемещается вместе с салазками суппорта от ходового вала или ходового винта, получающих вращение от механизма подачи.

#### **Программа для управления станком.**

Программа STEPPER CNC – токарный станок предназначена для управления настольным станком НТ-4Ф2. Управляется из операционной системы Windows2000/XP/Vista. Программа управляет всеми приводами станка в реальном режиме времени. Обеспечивает поддержку общепромышленного стандарта программирования станков с ЧПУ-GCODE ISO-7bit с базовым набором основных команд.

### **Лабораторная работа: Изучение работы гибкой производственной системы ГПС-2Т-УР на базе двух токарных станков с ЧПУ и робота**

**Цель работы:** изучить работу гибкой производственной системы ГПС-2Т-УР на базе двух токарных станков с ЧПУ и робота.

#### **Задание:**

Составить схему гибкого производственного модуля на примере **ГПС-2Т-УР на базе двух токарных станков с ЧПУ и робота**. Описать, что входит в состав ГПМ, какие существуют связи между отдельными объектами ГПМ, что определяет понятие гибкости ГПМ, какие требования предъявляются к оборудованию, входящему в состав ГПМ.

#### **Дать ответы на следующие вопросы:**

1. Подсистемы ГПС.
2. Уровни ГПС.
3. Опишите одну из подсистем ГПС (по вашему выбору). В чем значимость описанной вами подсистемы в структуре ГПС?

### 3.9 Компоновка роботизированных технологических комплексов. Компоновка гибкой производственной системы ГПС-2Т-УР на базе двух токарных станков с ЧПУ и робота

Данная лабораторная работа выполняется на основе анализа работы гибкой производственной системы ГПС-2Т-УР на базе двух токарных станков с ЧПУ и промышленного робота.

Рассмотрим ГПМ на базе двух токарных станков. В состав ГПМ (рис. 3.13) входит: 1, 2 – токарные станки; 3 – подвижной стол для робота; 4 – промышленный робот со сферической системой координат; 5 – накопитель заготовок, имеет свободное положение в системе координат; 6 – блок питания с кнопками аварийной выключения рабочих органов ГПМ. На рисунке 3.13 показаны расстояния, на которых расположены элементы ГПМ друг от друга [7].

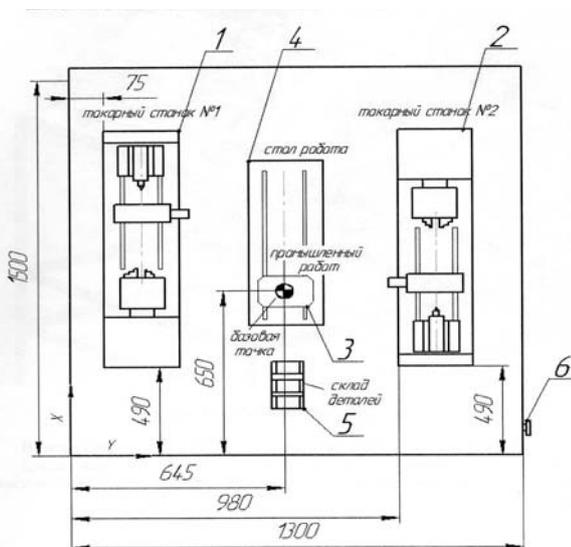


Рис. 3.13. Состав и схема компоновки ГПМ

#### **Понятие – роботизированный технологический комплекс.**

Роботизированный технологический комплекс (РТК) это гибкая производственная система (модуль), в которой автоматически действующие машины (в том числе промышленные роботы), устройства, приспособления реализуют всю технологию производства, за исключением функций управления и контроля, осуществляемых человеком. РТК включают в состав гибкого автоматизированного производства как законченный технологический модуль.

На базе разных типов станков и моделей промышленных роботов можно создавать различные компоновки РТК [6]. Наибольшее распространение получили РТК следующих компоновок:

одностаночные;

многостаночные линейной или линейно-параллельной компоновки;  
многостаночные круговой компоновки.

Многостаночные РТК обеспечивают возможность обслуживания одним промышленным роботом двух, трех или более станков.

Компоновка РТК должна проводиться в зависимости от типа используемого технологического оборудования, его компоновки, формы, размеров и расположения рабочих зон, уровня автоматизации оборудования, надежности его работы и степени информационного обеспечения, а также от компоновки и кинематической схемы ПР, с учетом действующих норм технологического проектирования соответствующего производства.

**Гибкий производственный модуль** объединяет в своем составе совокупность технических систем и устройств, функционально необходимых для выполнения сложных технологических операций.

В состав ГПМ для входят одна или две единицы основного технологического оборудования с устройствами ЧПУ и вспомогательное оборудование для смены заготовок и инструмента (накопитель, автооператор или ПР), удаления стружки, контроля качества обработки, контроля и подналадки технологического процесса. ГПМ, предназначенный для автономной работы, в автоматическом режиме выполняет многократно заданные циклы обработки, имеет возможность встраиваться в ГПС более высокого уровня.

Наибольшее распространение получили РТК следующих компоновок:

- одностаночные, состоящие из одного станка, обслуживаемого подвесным (расположенным над станком), напольным (расположенным рядом со станком) или встроенным в станке промышленных роботов;
- многостаночные РТК линейной или линейно-параллельной компоновки, обслуживаемые подвесными промышленных роботов;
- многостаночные РТК круговой компоновки, обслуживаемые напольными промышленных роботов.

Целесообразность применения разных типов РТК определяется условиями производства, уровнем автоматизации оборудования, программой выпуска деталей, технологическим циклом обработки (сборки) изделий и необходимым числом операций.

Компоновочные структуры (схемы) ГПМ и ГПС характеризуют взаимосвязь основного и вспомогательного оборудования – станков, обслуживающих их транспортных устройств, межоперационных складов.

Компоновочные структуры (схемы) ГПС зависят от серийности производства, для которого создается ГПС.

При проектировании компоновочных структур следует стремиться к минимизации используемой производственной площади, суммарного пути перемещения транспортных средств (ТС) и суммы затрат на создание транспортной системы.

Компоновочные структуры должны обеспечивать свободный доступ обслуживающего персонала к основному и вспомогательному оборудованию, зоны их обслуживания и ремонта. Компоновочные структуры должны быть такими, чтобы обеспечивалось согласование материальных потоков со смежными участками или цехами. В настоящее время серийно выпускаются РТК типа «станок – робот» на базе станков токарной, сверлильной, фрезерной и шлифовальной групп, а также станков с ЧПУ.

На рисунке 3.14 показана структура РТК на базе токарного станка.

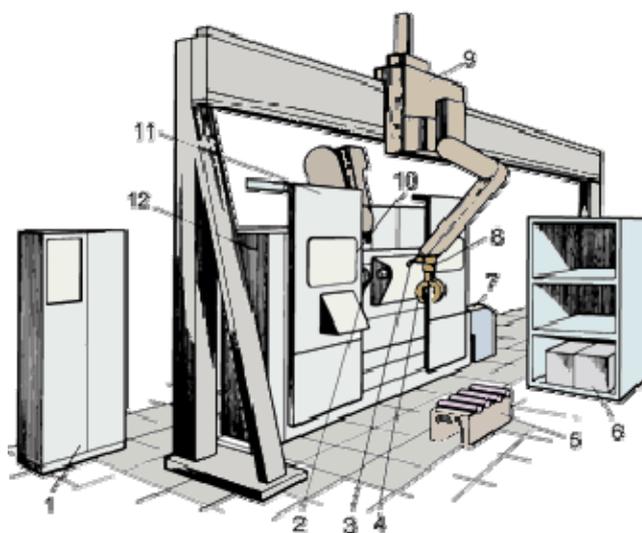


Рис. 3.14. Структура РТК на базе токарного станка

Комплекс состоит из токарного станка 12, оснащенного автоматическими зажимными и базирующими приспособлениями 2 и устройством 10 для автоматической смены инструмента, ПР 9 с устройством для автоматической смены захватного устройства 4 и устройством 3 для очистки базовых поверхностей обрабатываемых заготовок, а также системы управления 1 ПР и станком. Заготовки располагаются в ячейках 6 автоматизированного склада и в ориентирующих магазинах 5. В токарном станке предусмотрены ограждение 11 рабочей зоны и конвейер 7 для удаления стружки.

На рисунке 3.15 показана планировка РТК для токарной обработки заготовок типа «вал» в условиях серийного производства. РТК включает ПР портального типа, токарные станки 1, 2, 4 с ЧПУ, магазин 3, систему светового ограждения 6 и системы управления 5 и 7 ПР и станком. ПР в составе комплекса выполняет следующие операции: загрузку станков заготовками, выгрузку, межоперационное транспортирование,

перебазирование заготовок и деталей, поиск заготовок и укладку деталей в магазин.

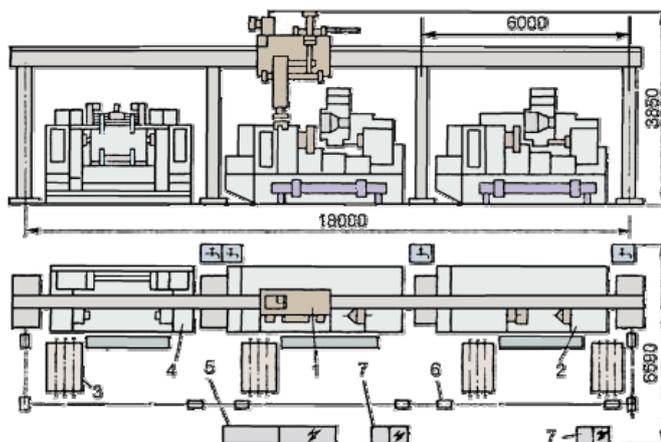


Рис. 3.15. РТК для механической обработки заготовок типа «вал»

**Лабораторная работа:** Компоновка роботизированных технологических комплексов. Компоновка гибкой производственной системы ГПС-2Т-УР на базе двух токарных станков с ЧПУ и робота.

**Цель работы:** изучить основные принципы построения РТК и типовые структуры РТК.

**Задание:**

Привести основные схемы применения промышленных роботов на производстве и охарактеризовать их.

**Дать ответы на следующие вопросы:**

1. Определение РТК.
2. Определение ГПС.
3. Указать какие компоновки РТК пригодны для технологических процессов с длительным временем обработки.

#### 4 Темы вопросов для практических занятий

В результате освоения материалов дисциплины "Основы мехатроники и робототехники" обучающийся должен:

**знать** основные понятия мехатроники и робототехники; устройство роботов; принципы проектирования, конструирования и управления робототехническими системами;

**уметь** классифицировать промышленные роботы по типу СУ, по технологическому назначению, по типу кинематической схемы, по грузоподъемности и др. признакам, проводить выбор основного

технологического оборудования для роботизированного комплекса в соответствии с заданным технологическим процессом;

**владеть** навыками компоновки основного и вспомогательного оборудования в робототехнических системах; навыками анализа, обобщения информации при выборе оптимальной кинематической схемы робота, навыками оперативного обращения к информационным справочным и поисковым системам через Научную библиотеку или ресурсы Интернет.

Проведение семинаров, практических занятий, решение задач, предлагаемых в данной дисциплине, развивает кругозор студентов, закрепляет теоретические знания, а преподавателям обеспечивает средства контроля усвоения материала.

Каждому студенту выдается индивидуальный вопрос для подготовки доклада (презентации) к практическим занятиям. Каждому вопросу соответствует рекомендованная литература. Однако студент вправе использовать самостоятельно подобранную литературу, воспользовавшись информационными справочными и поисковыми системами через Научную библиотеку или ресурсы Интернет.

### **Семинар "Робототехника и гибкие производственные системы"**

№	Вопросы	Рекомендуемая литература
1	Общая характеристика робототехники. Значение робототехники для промышленного производства.	1, 3
2	Социально экономические факторы, связанные с робототехникой.	4
3	Особенности автоматизации сборочных операций с помощью ПР. Применение средств адаптации.	2
4	Примеры применения адаптивных ПР для автоматизации сборочных операций.	2
5	Автоматизированные транспортно-складские системы.	2
6	Техника безопасности при применении ПР.	2
7	Кинематика многозвенных манипуляторов.	4, 5
8	Конструкции манипуляторов ПР.	4, 5
9	Приводы ПР.	4
10	Механизмы захватных устройств. Принцип действия. Кинематические схемы.	5
11	Вспомогательное оборудование промышленных робототехнических систем.	4

12	Роботы на обслуживании технологического оборудования.	
13	Применение роботов в качестве основного технологического оборудования.	4
14	Применение дистанционно управляемых роботов и манипуляторов.	3, 4
15	Копирующие системы управления манипуляторами.	4
16	Тактильные системы оучувствления.	4

#### Рекомендуемая литература

1. Попов Е.П. Робототехника и гибкие производственные системы / Е.П. Попов – М. : Наука. 1987. –192 с.
2. Роботизированные производственные комплексы / Ю.Г. Козырев, А.А. Кудинов и др.; Под ред. Ю.Г. Козырева, А.А. Кудинова, – М.: Машиностроение, 1987. – 272 с. – (Автоматические манипуляторы и робототехнические системы).
3. Робототехника / Ю.Д. Андрианов, Э.П. Бобриков и др.; Под ред. Е.П. Попова, Е.И. Юревича. – М.: Машиностроение. 1984. – 288 с. – (Автоматические манипуляторы и робототехнические системы).
4. Попов Е.П. Основы робототехники: Введение в специальность / Е.П. Попов, Г.В. Письменный. – М. : Высш. шк. 1990. – 224 с.
5. Механика промышленных роботов: уч. пособие / Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. Кн. 1: Кинематика и динамика / Е.И. Воробьев, С.А. Попов, Г. И. Шевелева. –М.: Высш. шк. 1998. – 304 с.

#### **Семинар "Применение робототехнических систем на основных технологических операциях"**

№	Тема	Рекомендуемая литература
1	Основные особенности и принципы построения производственных процессов с применением роботов.	1, 5, 6
2	Процессы холодного формообразования.	1
3	Сварка узлов и деталей.	1, 3
4	Механическая обработка.	1
5	Литейное производство.	1, 3
6	Кузнечно-штамповочное производство.	1, 3
7	Термообработка.	1, 3
8	Сборочные роботы.	1, 3
9	Применение роботов на вспомогательных операциях.	1, 3

10	Применение робототехники в немашиностроительных отраслях производства.	4
11	Экономическая эффективность применения роботов.	3, 4
12	Информационные системы РТК.	2
13	Космическая робототехника.	4
14	Военная робототехника.	4
15	Применение роботов в гибких производственных системах.	7

#### Рекомендуемая литература

1. Белянин П.Н. Робототехнические системы для машиностроения / П.Н. Белянин. – М. : Машиностроение. 2007. – 256 с. – (серия: Автоматические манипуляторы и робототехнические системы).
2. Робототехнические системы в сборочном производстве / Под ред. Е.В. Пашкова. – Вища шк. Головное изд-во. 1987. – 272 с.
3. Козырев Ю.Г. Роботизированные производственные комплексы / Ю.Г. Козырев – Л. : Машиностроение. 2008. – 282 с.
4. Юревич Е.И. Робототехника. Уч. пособие / Е.И. Юревич. – Спб.: Изд-во политехнич. ун-та. 2005. – 300 с.
5. Робототехника / Под ред. Е.П. Попова и Е.П. Юревича. М.: Машиностроение. 2007. - 288 с.
6. Юревич Е.И. Основы робототехники: учебное пособие для вузов / Е.И. Юревич – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 360 с.
7. Довбня Н.М. и др. Роботизированные технологические комплексы в ГПС / Н.М. Довбня. – Л.: Машиностроение. 1990.

## Литература

1. ГОСТ 12.2.072–98 Роботы промышленные. Роботизированные технологические комплексы. Требования безопасности и методы испытаний. – Взамен ГОСТ 12.2072–82; введ. 2002–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 2001. [Электронный ресурс] : – URL: <http://www.gosthelp.ru> (дата обращения 16.04.2014).
2. Горбенко Т.И., Горбенко М.В. Основы мехатроники и робототехники: учебное пособие / Т.И. Горбенко, М.В. Горбенко. – Томск: Томский государственный университет, 2012. – 126 с. (26 экз. в библиотеке ТГУ).
3. Юревич Е.И. Основы робототехники: учебное пособие для вузов / Е.И. Юревич. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 360 с. (20 экз. в библиотеке ТУСУР).
4. Горбенко Т.И. Практикум по теории механизмов и машин: учебное пособие / Т.И. Горбенко, М.В. Горбенко. – Томск. Томский государственный университет, 2012. – 220 с.
5. Механика промышленных роботов: учеб. пособие для втузов: в 3 кн. / Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. – М.: Высшая шк., 1989.
6. Климов А. С. Роботизированные технологические комплексы и автоматические линии в сварке: учебное пособие / А. С.Климов, Н. Е. Машнин. – СПб.: Издательство «Лань», 2011. – 240 с.
7. Учебные гибкие производственные системы / НПХ "Южно-Уральские Технические Системы" – URL: <http://suts.ru> (дата обращения: 21.03.2014).

---

**Приложение**  
**Образец оформления отчета по лабораторной работе**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И  
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

**Кафедра управления инновациями**  
Направление подготовки 222000.62 «Инноватика»

**ОТЧЕТ ПО  
ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ**

Изучение структуры, кинематической схемы  
манипулятора робота "Робин РСС-1 Сфера"

по дисциплине "Основы мехатроники и робототехники"

Выполнил  
студент группы № \_\_\_\_\_

Проверил  
доцент, к.ф.-м.н.  
Т.И. Горбенко

Томск 2014

Лабораторная работа: Изучение структуры, кинематической схемы манипулятора робота "Робин РСС-1 Сфера"

Цель работы: углубление знаний по структуре, кинематическим свойствам механизма манипулятора робота.

Задание:

1) исследовать работу манипулятора робота "Робин РСС-1 Сфера". Провести структурный анализ механизма. Определить общее число звеньев, число подвижных звеньев, охарактеризовать звенья механизма по характеру движения, подсчитать и установить класс кинематических пар. Установить номер семейства механизма, выяснить, нет ли в данном механизме звеньев, накладывающих лишние степени свободы. Определить степень подвижности механизма. Составить кинематическую схему механизма.

2) дать ответы на следующие вопросы:

- Что является исполнительным устройством робота?
- Определить тип системы координат, в которой работает робот.
- Что является рабочим органом манипулятора?
- Определить тип захватного устройства.
- Определить число степеней подвижности робота.
- В чем отличие ориентирующих и переносных степеней подвижности?
- Что является силовыми модулями манипулятора робота?
- Какие типы приводов используются в работе?
- Определить тип системы управления робота.
- Назвать способ управления роботом.

3) выводы по работе.