

Департамент внутренней и кадровой политики Белгородской области  
Областное государственное автономное  
профессиональное образовательное учреждение  
«Белгородский индустриальный колледж»

Рассмотрено  
цикловой комиссией  
Протокол заседания № 9  
от «27» января 2021г.  
Председатель цикловой комиссии  
Недоступенко Д.А.

Из опыта работы

Учебно-методическое пособие  
для выполнения самостоятельных работ  
по дисциплине: **Основы мехатроники**  
специальность: **15.02.09 «Аддитивные технологии»**

Разработчик: Чеботарева Татьяна Александровна  
преподаватель спец. дисциплин  
ОГАПОУ «Белгородский индустриальный колледж»

Белгород 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Пояснительная записка	6
Самостоятельная работа №1 «Классификация методов моделирования».	12
Самостоятельная работа №2 «Характеристики математической модели».	19
Самостоятельная работа №3 «Датчики положения».	24
Самостоятельная работа №4 «Исследование датчиков положения»	29
Самостоятельная работа №5: «Датчики технологических параметров»	33
Самостоятельная работа №6 «Требования техники безопасности при выполнении ТО».	41
Самостоятельная работа №7 «Решение задач о положении манипулятора»	45
Самостоятельная работа №8 «Техническая документация станка»	49
Самостоятельная работа №9 «Мехатронные модули движения»	55
Самостоятельная работа №10 «Исследование датчиков скорости»	60
Самостоятельная работа №11 «Число степеней подвижности»	64
Самостоятельная работа №12 «Решение прямой и обратной задачи о скорости манипулятора»	68
Заключение	71
Библиографический список	72

## ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа студентов предполагает изучение материалов или выполнение конкретных заданий без тесного контакта с преподавателем.

Зачастую «самостоятельная работа» ассоциируется с конкретными заданиями (контрольная, тестовая или проверочная работа) в школах, призванная оценить степень освоения новой информации и овладения новыми навыками. На самом деле это понятие гораздо шире.

Самостоятельная работа учащихся заключается в следующем:

обучение школьников, студентов навыкам сбора и анализа информации, ее обработке и систематизации;

получение новых знаний и навыков: расширение кругозора, углубление в конкретную тему, развитие поисковых, расчетных и аналитических способностей;

развитие личностных и профессиональных качеств: самостоятельность, дисциплина, планирование времени и действий, организация, умение пользоваться профессиональными терминами и инструментами и пр.

Углубить и получить новые знания, закрепить пройденный материал можно с помощью чтения текста, конспектирования материалов, проведения научно-исследовательской работы, создания презентации, составления таблиц и кроссвордов, прохождения тестирования, решения различных задач (математических, логических, экономических, юридических и пр.).

Во время выполнения самостоятельной работы студент может использовать следующие материалы: лекции, учебные и методические пособия, интернет-ресурсы, собственные знания и опыт (полученные ранее) и др.

Выделяют две большие группы самостоятельной работы студента:

Аудиторная, которая предполагает подготовку преподавателем специальных материалов для проведения конкретного мероприятия: контрольная, проверочная работа, зачет тестирование, опрос и пр. Здесь все выполняется строго по заданию и под контролем специалиста.

Внеаудиторная. Она подразумевает самостоятельное выполнение студентом задания вне стен учебного заведения без тесного взаимодействия с научным руководителем, педагогом. К данному виду относят рефераты, курсовые работы, отчеты, анализ конкретной ситуации, ответ на вопросы (конспектирование), подготовка к семинарам, составление тематических кроссвордов и головоломок и пр.

Следует отметить, что независимо от вида самостоятельной работы, она всегда ограничена во времени. Если студент выполняет конкретное задание на паре, то преподаватель может ограничить время 10-15 минутами или предоставить на решение поставленной задачи всю пару.

Если самостоятельная работа предназначена для выполнения в домашних условиях (реферат, доклад, курсовая работа и т.д.), то студент должен руководствоваться методическими рекомендациями, правилами ВУЗа и наставлениями педагога. Время на выполнение задания может быть как 1-2 дня, неделя (например, до следующей пары или семинара), так и несколько месяцев (до конкретной даты, защиты).

Чтобы не попасть впросак, следует изначально уточнить период выполнения задания.

### **Этапы организации самостоятельной работы**

Этап №1. Подбор соответствующих материалов и заданий для студентов.

На этой стадии преподаватель формирует задание для учащихся, а затем выдает его. Студент, получая задание, должен понять, как его выполнить, какие материалы ему необходимы.

Этап №2. Изучение материалов.

В зависимости от вида самостоятельной работы студент должен либо уже знать тему, либо ему предстоит самостоятельно изучить литературу и ответить на поставленные вопросы, выполнить конкретные задания.

Для этого ему следует правильно подобрать источники информации: учебники, лекции и семинары, сайты, научные статьи и пр.

Этап №3. Выполнение задания.

Необходимо прочитать и вникнуть в само задание. Важно, понять, что от студента требуется: ответить на вопрос, решить задачу, составить кроссворд, продолжить фразу и пр.

Затем студент должен понять, к какой теме относится задание, откуда черпать информацию (где ее искать, вспоминать пройденный материал и пр.).

Определяем метод самостоятельной работы. Это может быть просто развернутый ответ на вопрос, решение задачи и отражение всех действий с подробным писанием, анализ ситуации и формулирование выводов, проведение эксперимента и фиксирование полученных результатов и пр.

Этап №4. Оформление самостоятельной работы.

Данный этап необходимо сразу же уточнять у преподавателя. Кому-то достаточно просто дать письменный ответ на обычном тетрадном листе, указать ФИО и группу.

Другим предстоит оформить работу в соответствии с методическими рекомендациями и действующими [ГОСТами](#) (например, курсовая, дипломная или диссертационная работы). Таким образом, самостоятельная работа призвана укрепить и углубить знания студентов, сформировать личностные и профессиональные качества, которые пригодятся им в дальнейшем в обучении и построении карьерной лестницы.

# 1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические указания к выполнению внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине Основы телекоммуникаций по специальности 15.02.09 «Аддитивные технологии».

Цель методических указаний: оказание помощи обучающимся в выполнении самостоятельной работы по дисциплине Основы мехатроники.

Настоящие методические указания содержат работы, которые позволят обучающимся самостоятельно овладеть фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по специальности, опытом творческой и исследовательской деятельности и направлены на формирование следующих компетенций:

Самостоятельные работы предусматривают практическое закрепление лекционного материала на конкретных заданиях, примерах. Самостоятельные работы выполняются в течение учебного года по индивидуальным заданиям, выданным преподавателем. Работы должны быть выполнены самостоятельно вне семинарских занятий. В указанные преподавателем сроки каждая работа предоставляется для проверки и защиты во время консультаций по расписанию. Формируемые компетенции:

## Наименование общих и профессиональных компетенций при изучении дисциплины

№ п/п	Код компетенции по ФГОС	Содержание компетенции
1	ОК 1.	Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.
2	ОК 2.	Организовывать собственную деятельность, определять методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.
3	ОК 3.	Принимать решения в стандартных и

		нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.
4	ОК 4.	Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития
5	ОК 5.	Использовать информационно-коммуникационные технологии для совершенствования профессиональной деятельности.
6	ОК 8.	Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.
7	ОК 9.	Ориентироваться к частой смене технологий в профессиональной деятельности.
8	ПК 1.1	Применять средства бесконтактной оцифровки для целей компьютерного проектирования, входного и выходного контроля.
9	ПК 1.2	Создавать и корректировать средствами компьютерного проектирования цифровые трехмерные модели изделий.
10	ПК 2.1	Организовывать и вести технологический процесс на установках для аддитивного производства.
11	ПК 2.2	Контролировать правильность функционирования установки, регулировать ее элементы, корректировать программируемые параметры.
12	ПК 2.3	Проводить доводку и финишную обработку изделий, созданных на установках для аддитивного производства.
13	ПК 2.4	Подбирать параметры аддитивного технологического процесса и разрабатывать оптимальные режимы производства изделий на основе технического задания (компьютерной/цифровой модели).

# Методические рекомендации к выполнению самостоятельной работы

## Самостоятельная работа № 1

**Тема работы:** Классификация методов моделирования.

**Цель:** Изучить классификацию методов моделирования, ознакомиться с основными параметрами методов, их техническими особенностями.

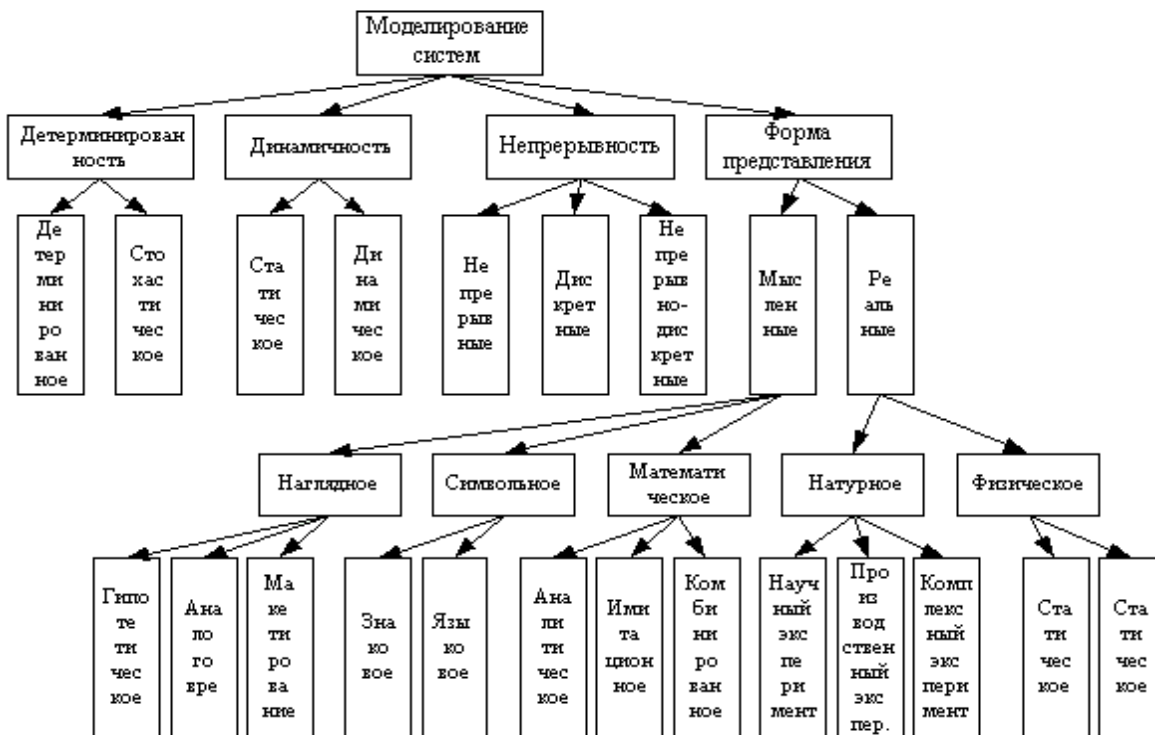
Моделирование систем включает в себя модели объекта с одной стороны и способы отражения их функционирования с другой.

По характеру изучаемых процессов моделирование может классифицироваться по следующим признакам: детерминированность, динамичность, непрерывность и форма-представление.

С точки зрения детерминированности различают: детерминированное и стохастическое моделирование. При детерминированном моделировании используются детерминированные методы без учета случайных воздействий внешней среды. Стохастическое моделирование отображает вероятностные и случайные процессы в объекте. При этом используется математический аппарат статистики и вероятностных процессов. С точки зрения динамичности разделяют статическое и динамичное моделирование. Динамичное моделирование процессы, происходящие в объекте, рассматривает во времени. Статическое моделирование изучает особые статические режимы, когда процессы, происходящие в объекте, не зависят от времени.

По признаку непрерывности различают: непрерывное, дискретное и непрерывно-дискретное моделирование. Непрерывное моделирование рассматривает процессы, происходящие в объекте, непрерывно в течение всего времени исследования. Математическим аппаратом данного типа моделирования являются дифференциальные уравнения. Дискретное моделирование изучает процессы в определенные моменты времени, математический аппарат – разностные уравнения. Непрерывно-дискретное моделирование сочетает в себе свойства непрерывного и дискретного моделирования.





**Рисунок 1. Моделирование систем**

По формам представления моделирование может быть мысленное (логическое) и реальное (материальное). Мысленное моделирование применяется при исследовании систем, которые по каким-либо причинам не может быть реализовано физически. Мысленное моделирование в свою очередь разбивается на три крупных класса:

Наглядное моделирование - это создание наглядных моделей на базе представлений человека об объекте.

Наглядное моделирование подразделяется на гипнотическое, аналоговое и макетирование.

Гипнотическое моделирование – это исследование модели в виде черного ящика, при этом структура и функциональные особенности объекта представляются гипотезой. После выдвижения гипотезы она либо принимается, либо нет.

Аналоговое моделирование применяется в том случае, когда любое функциональное свойство объекта заменяется аналоговым.

Макетирование применяется в случае, если невозможна физическая реализация объекта. Модель представляет собой полную аналогию с исследуемым объектом, но в другом масштабе.

Символьное моделирование – замена реального объекта неким набором символов (любому объекту ставится в соответствие символ). Выделяют языковое и знаковое моделирование. При знаковом моделировании вводятся символьные обозначения определенных понятий, однородные понятия объединяются в отдельные множества. Все знаковое моделирование сводится к теории множеств и операциям между ними.

При языковом моделировании объекту и процессам, происходящим в нем, ставится в соответствие тезаурус – язык, лишенный двусмысленности, т.е. его символика похожа на символику нашего языка, но все однозначно.

Математическое моделирование подразделяется на аналитическое, имитационное и комбинированное.

Аналитическое моделирование – определенному объекту ставится в соответствие система уравнений и методы ее решения (высшая математика). Применяется при исследовании относительно несложных систем, к которым относится САУ.

Имитационное моделирование – отдельные свойства объекта имитируются конкретными математическими способами (нет конкретной модели), используется для исследования сложных систем. Как правило, применяется к стохастическим моделям и системам массового обслуживания. Для имитационного моделирования применяется пакет GPSS.

Комбинированное моделирование – это моделирование, в котором используются элементы аналитического и имитационного.

Реальное моделирование может быть натурным и физическим.

Натурное моделирование – это проведение исследований с реальными объектами с последующей обработкой результатов эксперимента.

В нем выделяют:

- производственный эксперимент – воспроизведение на натурном объекте основных режимов производственного процесса для дальнейшего исследования
- научный эксперимент – воспроизведение на натурном объекте качественно новых режимов, увеличение технических границ.
- комплексный эксперимент – сочетает в себе элементы научного и производственного эксперимента

При постановке научного эксперимента реальный объект используется в качественно новых условиях функционирования или при воздействии новых факторов внешней среды с последующей обработкой результатов.

Физическое моделирование:

- в реальном масштабе времени – осуществляют постановку эксперимента в одинаковых масштабах времени как для объекта, так и для модели.
- в нереальном масштабе времени – при постановке эксперимента масштабы времени для модели и объекта различаются на некоторую величину.

**Контрольные вопросы:**

1. Каким может быть реальное моделирование? Дайте определения основным значениям реального моделирования?
2. В каком случае применяется макетирование?

## Самостоятельная работа № 2

**Тема работы:** Характеристики математической модели.

**Цель работы:** Ознакомиться с основными характеристиками математической модели. Понять особенности и характерные свойства.

Математическая модель представляет собой идеализированную схему технического объекта (или его составных частей), построенную путем отображения в ней наиболее существенных свойств и «элементарных» процессов с помощью комплекса математических зависимостей и логических соотношений.

Такая модель позволяет решать поставленные задачи обобщенно, обеспечивает краткость и четкость фиксации свойств и отношений объекта - оригинала, дает его знаковую интерпретацию.

Формирование математической модели осуществляется на основе выделенного комплекса параметров, а также различных уровней абстрагирования и упрощения реального технического объекта. Тем не менее, такая идеализированная модель позволяет получать довольно точные результаты. Это объясняется тем, что для определения основных характеристик исследуемого объекта при моделировании достаточно учесть относительно небольшое число определяющих параметров. Сложность, однако, состоит в том, что они должны быть правильно выбраны и между ними должны быть установлены объективные связи; необходимо также решать вопрос о полноте модели. При этом важно не столько знание математики, сколько глубокое понимание сущности поведения объекта-оригинала, где тесно переплетаются и знание теории, и опыт, и интуиция.

К настоящему времени установится общий порядок построения математических моделей, при котором сначала исходят из простых условий, а затем шаг за шагом по мере увеличения глубины анализа и накопления

необходимой информации поднимаются по ступеням иерархической градации, переходя к постепенному усложнению моделей [18].

Качество получаемых моделей нельзя оценить ни по структуре, ни по форме. Единственным критерием такой оценки может служить лишь достоверность полученных на модели прогнозов поведения реального объекта.

Любая математическая модель должна рассматриваться в совокупности трех ее сторон - смысловой, аналитической и вычислительной.

Смысловая сторона модели или содержательное описание - представляет собой начальную стадию математической формализации. При этом производится определение границ исследуемого объекта, обобщаются сведения о физической природе протекающих в нем процессов и соответствующих количественных характеристиках, выделяется степень взаимодействия его элементов, выбираются управляемые переменные и критерии оптимальности, учитываются необходимые ограничения и принятые допущения.

Аналитическая сторона модели или математическое описание - является выражением содержательного описания на языке математики в виде некоторой системы уравнений связи. При этом вся совокупность используемых параметров представляется в абстрактных терминах, все качественные зависимости между ними переводятся в функциональные или иные соотношения, устанавливаются граничные и начальные условия.

Применяемый математический аппарат должен «вписываться» в моделируемый объект и достоверно отражать специфику его структурных и динамических особенностей. По своей форме математическое описание модели обычно состоит из зависимостей, отражающих общие физические законы: уравнений, описывающих «элементарные» процессы (например, движение материальной точки по поверхности рабочего органа машины); различных эмпирических и полуэмпирических соотношений, полученных в результате статистической обработки экспериментальных данных.

Вычислительный аспект математической модели - алгоритм решения с использованием компьютера - определяется как упорядоченная

последовательность операций, которые надо выполнить над уравнениями связи, чтобы получить искомые результаты самым эффективным путем.

При разработке алгоритма должны быть

- установлены размерности всех используемых величин,
- определены допустимые границы, в которых будут изменяться параметры,
- и задана предельная ошибка вычислений.

Основными требованиями к математическим моделям являются универсальность, математическая строгость, точность и экономичность.

**Универсальность математической модели** определяется возможностью ее использования для различных технических объектов. В настоящее время получили широкое распространение так называемые модульные (блочные) модели, которые описываются известными физическими закономерностями. При разработке математической модели какого-либо конкретного технического объекта модульные модели соединяются между собой по принципу подчинения. Образующаяся многоуровневая цепочка моделей обладает рядом преимуществ, т.к. на каждом уровне решаются свои задачи, а на вышестоящие и нижестоящие уровни по уравнениям связи (каналам связи) передается минимальный объем информации. Использование модульных моделей существенно сокращает затраты труда при моделировании технических объектов, позволяет применять унифицированные формы ввода в ЭВМ данных об их свойствах и систематизированные процедуры обработки полученных результатов.

**Математическая строгость** связана с качеством идеализации объекта оригинала.

**Под идеализацией** понимается выделение основных и отбрасывание второстепенных (в условиях поставленной задачи) свойств и характеристик указанного объекта.

На практике идеализация осуществляется различными путями:

- переходом от распределенных параметров к сосредоточенным;
- сокращением числа независимых переменных;

- снижением размерности решаемой задачи (от трехмерной к двухмерной и одномерной):

- заменой переменных константами:

- изменением принимаемых ограничений;

- усреднением свойств по объему и направлению (идеальное перемешивание; гипотезы плоских сечений и т.п.).

В любом случае математическая строгость соответствует принятой степени идеализации.

**Точность математической модели** оценивается ее способностью отображать значения искомых параметров моделируемого объекта с ошибкой, не более заданной.

**Экономичность математической модели** характеризуется затратами вычислительных ресурсов ЭВМ (машинного времени и памяти) на ее реализацию, а также количеством параметров, используемых в модели.

Требования по универсальности, математической строгости и экономичности моделей противоречивы. Необходимо иметь удачное компромиссное решение. По этой причине в каждом случае следует располагать не одной, а несколькими математическими моделями.

Математические модели отличаются одна от другой по назначению, структуре, степени детализации свойств моделируемого объекта, по способу получения. Поэтому их можно классифицировать по целому ряду признаков.

Так, по назначению выделяют модели **функционирования** и **оптимизационные** модели. В первом случае модели предназначены для выявления характерных зависимостей между параметрами технического объекта в процессе его функционирования. Во втором случае модели служат для определения наилучших, оптимальных значений регулируемых параметров.

Разделение моделей по признаку предсказуемости на вероятностные и детерминированные является наиболее фундаментальным элементом классификации.

Если в модели внешние воздействия и внутренние возмущения принимаются случайными, т.е. являются непредсказуемыми, то модель называют вероятностной. Ее решение формируется в виде распределения вероятностей.

В определенный момент времени зависят не только от значений. Если же указанные воздействия и возмущения носят закономерный характер - а реакция на них предсказуема, то модель называют детерминированной. Ее решение формируется в виде числа.

В зависимости от того, входит время в качестве независимой переменной в математическое описание модели или нет, все модели принято разделять на динамические и статические.

В динамических моделях отображается инерционность исследуемых объектов. При этом значения выходных параметров остальных параметров, но и от предшествующих воздействий, т.е. от предыстории. Обычно интервал времени, относящийся к предыстории, является небольшим. Он называется «памятью» объекта и характеризует его запаздывание, т.е. последствие.

Если в модели последствие и текущее время не учитываются, то она называется статической.

Весьма существенно деление математических моделей на линейные и нелинейные. Модель называется линейной, если для нее выполняется принцип суперпозиции (наложения). При этом каждый выходной параметр связан линейной зависимостью с другими параметрами.

Модель является нелинейной, если реакция на два различных входных возмущения не эквивалентна сумме реакций на каждое из этих возмущений в отдельности, т.е. когда нарушается принцип суперпозиции.

Линейные модели значительно проще нелинейных. Поэтому их широко используют при моделировании. И хотя большинство процессов в технических объектах являются нелинейными, при моделировании их стремятся линеаризовать даже за счет некоторого снижения точности.



По способу получения математические модели подразделяются на 4 большие группы:

- аналитические;
- эмпирические;
- стохастические;
- имитационные.

Аналитическая модель предполагает запись в виде результата аналитического решения исходных уравнений.

При разработке эмпирической математической модели предполагается использование экспериментальных данных, полученных при испытаниях объектов. Результаты таких испытаний всегда представляют собой наборы величин, характеризующих работу объекта или системы при различных сочетаниях управляющих параметров. Переход к эмпирическим моделям предполагает заведомый отказ от аналитических методов исследования. Поэтому эмпирические модели более разнообразны и включают в себя различные по форме математические зависимости.

Стохастическим модели создаются с помощью понятий и методов теории случайных процессов. Модели временных рядов, необходимые для получения оптимального прогнозирования и регулирования, являются стохастическими.

Существует класс объектов, для которых по различным причинам не разработаны аналитические модели, либо не разработаны методы решения полученной модели. В этом случае аналитическая модель заменяется имитационной моделью.

К имитационному моделированию прибегают, когда: дорого или невозможно экспериментировать на реальном объекте; невозможно построить аналитическую модель: в системе есть время, причинные связи, последствие, нелинейности, стохастические (случайные) переменные; необходимо симитировать поведение системы во времени. Имитационное моделирование позволяет имитировать поведение системы во времени. При этом временем в модели можно управлять: замедлять в случае с быстропротекающими

процессами и ускорять для моделирования систем с медленной изменчивостью. Можно имитировать поведение тех объектов, реальные эксперименты с которыми дороги, невозможны или опасны.

**Контрольные вопросы:**

1. Какие модели создаются с помощью понятий и методов теории случайных процессов?
2. По способу получения математические модели подразделяются на какие группы?

### Самостоятельная работа № 3

**Тема работы:** Датчики положения.

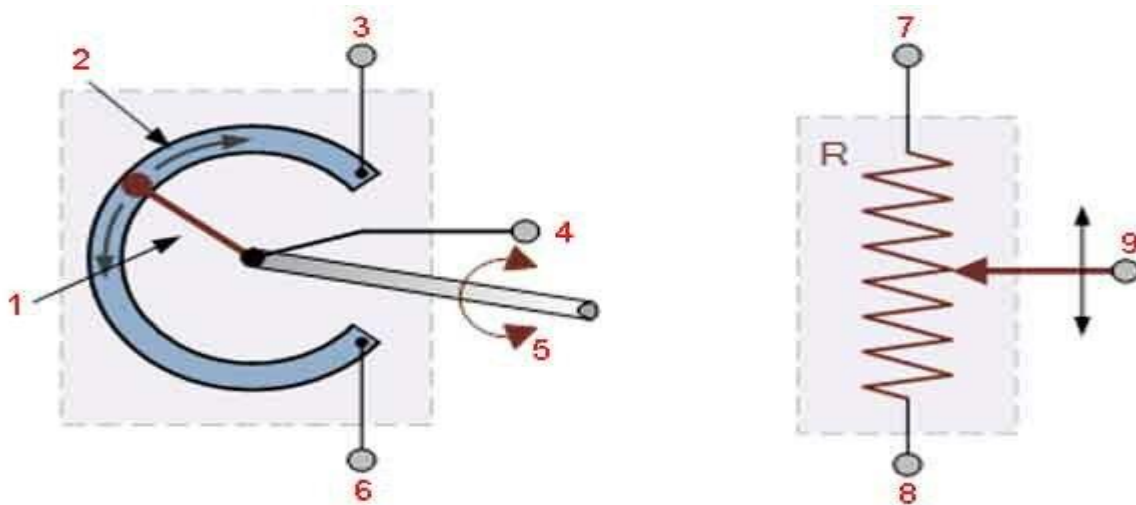
**Цель работы:** Изучить основные особенности и характеристики датчиков положения. Разобраться в сферах применения и видах.

Наиболее часто используемым компонентом для всех «датчиков положения», как правило, является потенциометр. Приоритет использования потенциометра очевиден, так как конструкция является недорогим и удобным для применения в датчиках положения.

Потенциометр имеет скользящий контакт, связанный механически с валом. Конструкция контактного движения допустима как угловая (вращательная), так и линейная (ползунковая).

Главное требование — вызвать изменение значения сопротивления между контактами ползуна и двумя концевыми соединениями.

Таким способом формируется электрический сигнал, имеющий пропорциональное соотношение между фактическим состоянием ползуна резистивной дорожки потенциометра и значением сопротивления потенциометра. Другими словами – значение сопротивления пропорционально положению.



**Рисунок 2.** Структурная схема прибора по принципу потенциометра

1 – ползунок потенциометра; 2 – кондуктивный или резистивный трек; 3, 7 – питание «плюс»; 4 – выходной сигнал; 5 – угловое перемещение вала; 6, 8 – питание «минус»; 9 – линейный выход.

Потенциометры поставляются в широком диапазоне конструкций и размеров. Широко распространены круглые и длинные, плоские линейные потенциометры.

При использовании в качестве датчика положения, подвижный объект подключается непосредственно к вращающемуся валу или ползунку потенциометра.

Опорное напряжение постоянного тока подается через два внешних неподвижных соединения, образующих резистивный элемент. Сигнал выходного напряжения берётся от клеммы скользящего контакта, как показано ниже.

Такая конфигурация создаёт выходное напряжение (делитель напряжения), пропорциональное положению вала. Например, на резистивный элемент потенциометра подаётся напряжение 10 вольт.

Тогда на скользящем контакте максимальное выходное напряжение будет равно напряжению питания 10 вольт, а минимальное выходное напряжение, соответственно, 0 вольт.

Если ползунок потенциометра установить в центральной точке полного пути прохождения, на выходе, соответственно, получится половина питающего напряжения, то есть — 5 вольт.

Пример простой позиционной измерительной цепи:

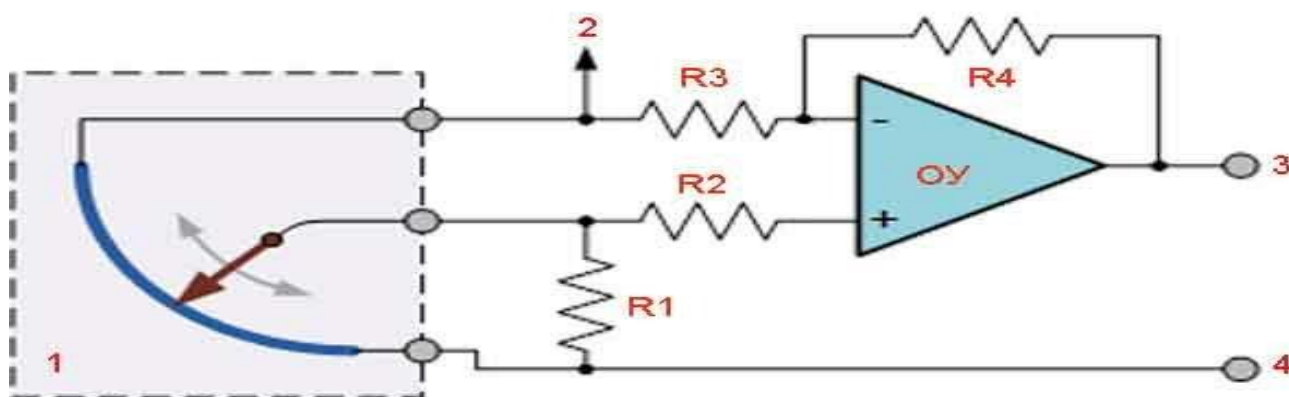


Рисунок 2. Пример простой позиционной измерительной цепи

1 – сенсор; 2 – питание «плюс»; 3, 4 – выходной усиленный сигнал; R1, R2, R3, R4 – электронные компоненты схемы усилителя; ОУ – операционный усилитель.

### Преимущества и недостатки датчиков-потенциометров

Резистивные датчики положения по типу потенциометра имеют массу преимуществ:

- низкая цена,
- экономичная технология,
- простота использования и т. д.,

Однако датчикам положения присущи также много недостатков:

- износ движущихся частей,
- невысокая степень точности,
- слабая повторяемость,
- ограниченная частотная характеристика.

Главным недостатком считается использование потенциометра в качестве позиционного датчика.

Диапазон перемещения ползунка в этом случае (следовательно, получение выходного сигнала) ограничивается физическим размером используемого потенциометра.

Например, однооборотный поворотный потенциометр обычно имеет фиксированное механическое вращение в диапазоне  $0^\circ$  —  $240^\circ$ , максимум —  $330^\circ$ .

Тем не менее, доступны к применению многооборотные потенциометры с диапазоном вплоть до  $3600^\circ$  ( $10 \times 360^\circ$ ) механического вращения.

Большинство типов потенциометров используют углеродную пленку под формирование резистивной дорожки. Но такой тип часто проявляет дефект электрических шумов (к примеру, регулятор громкости радиосигнала). Механический ресурс таких резисторов ограничен.

### Сенсоры на основе проволочных реостатов

Другой тип — проволочные реостаты, изготовленные по форме проводника с прямой проволокой, либо в образе катушки, намотанной спиралью. Однако проволочные реостаты обладают проблемой, связанной с переходом по сегментам проволоки.

Это сопровождается логарифмическим результатом по выходу, что приводит к искажению выходного сигнала. Также проволочные реостаты дают электрические помехи.

Для высокоточных малозумных применений в настоящее время доступны потенциометры на основе полимерного сопротивления.

Такие конструкции имеют гладкую электрическую линейную резиновую дорожку с низким коэффициентом трения.

Конструкция дорожки обеспечивает:

- низкий уровень шума,
- длительный срок службы,
- хорошее свойство дискретности.

Подобная технология доступна как для многооборотных, так и для однооборотных устройств. Типичное применение этого типа высокоточного датчика положения:

- джойстик компьютерных игр,
- рулевые колёса,
- промышленные и роботизированные разработки.

### **Индуктивные датчики положения**

Типичным позиционным датчиком, которому не страшен механический износ, является «линейный переменный дифференциальный трансформатор».

Это индуктивный датчик положения, который используется для измерения движения и работает по тому же принципу, что трансформатор переменного тока.

Точное устройство измерения линейного перемещения, выход которого пропорционален положению подвижного сердечника.

## **Линейный дифференциальный трансформатор (ЛДТ)**

Конструкция ЛДТ содержит три катушки, намотанные на полой трубчатой наконечнике. Одна катушка образует первичную обмотку, две другие образуют идентичные вторичные обмотки, соединенные электрически последовательно, но смещенные на  $180^\circ$  по фазе относительно обеих сторон первичной обмотки.

Подвижный мягкий железный ферромагнитный сердечник (именуемый также «арматурой»), соединенный с измеряемым объектом, скользит или перемещается вверх и вниз внутри трубчатого тела ЛДТ.

Небольшой потенциал переменного напряжения «сигнал возбуждения» (2 – 20 вольт среднеквадратичное значение, 2 — 20 кГц) прикладывается к первичной обмотке. В результате наводится сигнал ЭДС в двух соседних вторичных обмотках трансформатора.

Арматура магнитного сердечника на основе мягкого железа изначально находится точно в центре трубки — в «нулевом положении» относительно обмоток.

Индукцированные ЭДС двух вторичных обмоток, в данном случае, обнуляют выход друг друга, так как не совпадают по фазе. Соответственно, выходное напряжение равно нулю.

- По мере смещения сердечника в одну или другую сторону от нулевой позиции, индуцированное напряжение внутри одной из вторичных катушек будет увеличиваться по сравнению с другой катушкой. На выходе появится напряжение.

### **Контрольные вопросы:**

1. Из чего изготавливаются сенсоры на основе проволочных реостатов?
2. Достоинства и недостатки датчиков положения.

## Самостоятельная работа № 4

**Тема:** «Исследование датчиков положения».

**Цель:** Научиться понимать разницу между видами датчиков положения, разбираться в

Ещё одним типичным исполнением индуктивного датчика положения является индуктивный датчик приближения (вихретоковый датчик). Этот тип приборов фактически не измеряет смещение или угловое вращение.

Индуктивный датчик приближения в основном используется для обнаружения присутствия объекта перед ним или в непосредственной близости. Отсюда и название «датчик приближения».

Датчики приближения — это бесконтактные датчики положения, использующие магнитное поле для обнаружения в паре с простейшим магнитным датчиком — герконом.

В индуктивном датчике катушка намотана вокруг железного сердечника внутри электромагнитного поля с образованием индуктивной петли.

Когда ферромагнитный материал помещается внутрь поля вихревого тока, создаваемого вокруг индуктивного датчика, подобного ферромагнитной металлической пластине или металлическому винту, индуктивность катушки значительно изменяется.

Схема обнаружения бесконтактных датчиков обнаруживает это изменение, создавая выходное напряжение. Поэтому индуктивные датчики приближения работают по электрическому принципу закона индуктивности Фарадея.

### **Составные компоненты датчика приближения**

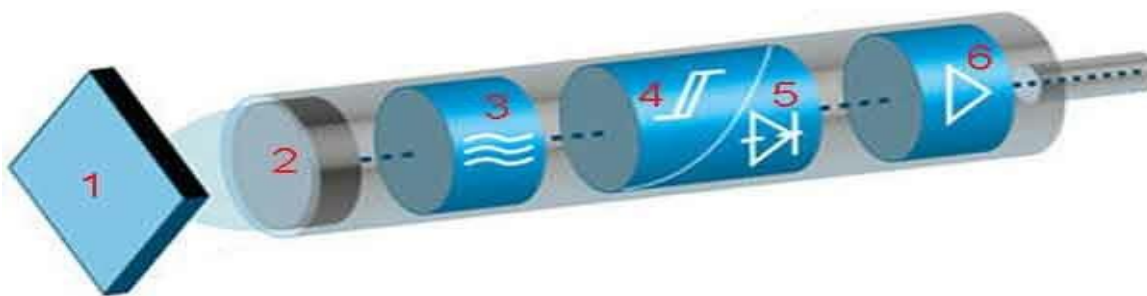
Индуктивный датчик приближения имеет четыре основных компонента:

1. Генератор, создающий электромагнитное поле.
2. Катушку, генерирующую магнитное поле.
3. Схему обнаружения изменений поля.
4. Выходной контур.



Индуктивные датчики приближения позволяют обнаруживать металлические предметы перед головкой датчика без какого-либо физического контакта с самим объектом.

Это делает приборы идеальными для использования в сильно загрязнённых или влажных средах. Чувствительный диапазон датчиков приближения очень мал, обычно от 0,1 до 12 мм.



**Рисунок 4. Индуктивный датчик приближения:**

1 – цель; 2 – поверхность восприятия; 3 – генератор; 4 – триггерный уровень; 5 – преобразователь сигнала; 6 – усилитель выходного сигнала

Помимо промышленных применений, индуктивные датчики приближения также обычно используются для управления потоком трафика путём смены светофоров на стыках и перекрестках путей. Прямоугольные индуктивные петли провода внедряются под асфальтированную дорожную поверхность.

Когда автомобиль или другое дорожное транспортное средство проходит над индуктивной петлёй, металлический корпус транспортного средства изменяет индуктивность шлейфов и активирует датчик. Тем самым выдаётся предупреждение контроллеру светофора о наличии транспортного средства.

Одним из основных недостатков таких датчиков положения является эффект «всенаправленности». То есть металлический предмет воспринимается либо сверху, либо ниже, либо сбоку.

Кроме того, не способны обнаруживать немаetalлические объекты. Правда, доступны ёмкостные и ультразвуковые датчики приближения. Другие общедоступные магнитные позиционные датчики включают в себя:

- герконовые реле,
- датчики эффекта Холла,
- датчики переменного сопротивления.

Вращающиеся измерительные датчики (оптические кодеры)

Очередной тип датчиков положения, которые напоминают потенциометры, упомянутые ранее, но являются бесконтактными оптическими устройствами.

Такие датчики положения используются для преобразования углового положения вращающегося вала в аналоговый или цифровой код данных.

Другими словами, имеет место преобразование механического движения в электрический сигнал (предпочтительно цифровой).

Все оптические кодеры работают по одному основному принципу. Излучение светодиодного или инфракрасного источника света пропускается через вращающийся диск с высоким разрешением, который содержит требуемые шаблоны кода:

- двоичный,
- код Грея,
- VCD.

Фотодетектор сканирует диск при вращении, электронная схема обрабатывает информацию в цифровой форме как поток двоичных выходных импульсов, подаваемых на счетчики или контроллеры, которыми определяется фактическое угловое положение вала. Типы ротационных оптических кодеров

Существует два основных типа ротационных оптических кодеров:

1. Инкрементные энкодеры.
2. Абсолютные кодеры положения.

Инкрементные энкодеры (квадратурные кодеры или относительный поворотный датчик), являются простейшими из двух датчиков положения.

На выходе выдают серию прямоугольных импульсов, генерируемых устройством фотоэлемента в виде кодированного диска с равномерно распределенными прозрачными и темными линиями.

Эти линии называются сегментами поверхности, которые двигаются или вращаются мимо источника света. Кодер создает поток прямоугольных волновых импульсов, подсчётом которых определяется угловое положение вращающегося вала.

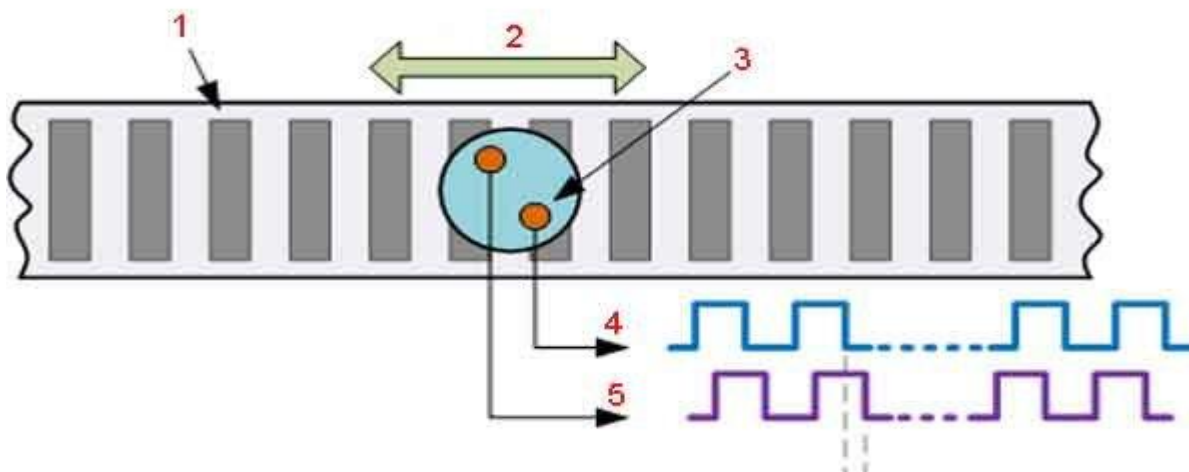
Инкрементные энкодеры обладают двумя отдельными выходами — «квадратурными выходами». Эти два выхода смещены на  $90^\circ$  по фазе относительно один другого с определением направления вращения вала по выходной последовательности.

Количеством прозрачных и темных сегментов (слотов) диска определяется дискретность устройства. Увеличением количества строк в шаблоне увеличивается дискретность на степень вращения. Типичные кодированные диски имеют дискретность до 256 импульсов или 8 бит на оборот.

Самый простой инкрементный кодер называется тахометром. Устройство тахометр имеет один выход прямоугольной формы и часто используется в однонаправленных приложениях, где требуется только базовая информация о местоположении или скорости.

Кодер «квадратурный» («синусоидальная волна») является распространенным устройством. Дает две выходные прямоугольные волны, обычно называемые каналом «А» и каналом «В».

Это устройство использует два фотодетектора, смещенных относительно друг друга на  $90^\circ$ . Тем самым создаётся два отдельных синусоидальных и косинусных сигнала выхода.



**Рисунок 4. Инкрементный кодер**

1 – кодированные светлые и тёмные сектора диска; 2 – вращение диска; 3 – фото детектор перемещаемый на 90°; 4 – канал «А»; 5 – канал «В»

### Вычисление угла вращения вала

Используя математическую функцию, можно вычислить угол вала в радианах. Как правило, оптический диск, используемый во вращающихся координатах положения, является круговым. Тогда дискретность выходного сигнала будет иметь вид:

$$\theta = 360 / n$$

где  $n$  — число сегментов на кодированном диске.

Например, количество сегментов, необходимых для создания инкрементного кодера, имеющего дискретность 1°.

Если  $1^\circ = 360 / n$ ,

тогда  $n = 360$  сегментов и т. д.

Также направление вращения определяется путём указания, какой канал производит выход первым — канал А, либо канал В, дающие два направления вращения. Канал «А» ведёт «В» или канал «В» ведёт «А».

Одним из основных недостатков инкрементных датчиков при использовании в качестве датчика положения является то, что этот вид приборов требует

внешних счетчиков для определения абсолютного угла вала в пределах заданного вращения.

Если питание моментально отключено или датчик пропускает импульс по причине шума или грязного диска, тогда полученная угловая информация приведёт к ошибке. Одним из способов преодоления этого недостатка является использование кодеров абсолютного положения.

### **Контрольные вопросы:**

1. Как называется самый простой инкрементный кодер?
2. Сколько существует ротационных оптических кодеров? Как они называются?

## **Самостоятельная работа № 5**

**Тема:** Датчики технологических параметров.

**Цель:** Научиться разбираться в использовании и методах установки датчиков технологических параметров.

В технологических процессах управление осуществляется по таким параметрам, как время, теплота, температура, сила (давление), масса, скорость (ускорение), электропроводность. Остальные параметры технологических процессов могут быть рассчитаны, смоделированы на основании вышеперечисленных.

Датчик — конструктивно законченное устройство, предназначенное для преобразования физической величины в электрическую или иную величину, удобную для дальнейшей передачи и преобразования.

Измерения производят путем внедрения датчика в среду 1 или приема излучений (электромагнитных, акустических и др.) из нее.

Основу датчика составляет чувствительный элемент 2, непосредственно преобразующий измеряемый параметр среды 1 в электрический сигнал. В состав

датчика могут входить также устройства 3, изменяющие форму или корректирующие сигнал чувствительного элемента, например преобразователь аналогового сигнала в цифровой или корректор нелинейности. Сигнал из датчика подается по проводам или по беспроводной системе 4 на приемник 5 его обработки и дальнейшего использования.

Большинство известных в автоматике датчиков преобразуют неэлектрическое контролируемое значение  $X$  в электрическое  $Y$  (например, механическое перемещение в индуктивность или напряжение, температуру в электрическое напряжение и т. п.) или неэлектрическую величину в неэлектрическую (механическое перемещение в давление воздуха или жидкости и др.).

Таким образом, по роду энергии выходной величины различают электрические и неэлектрические датчики, в частности механические, пневматические или гидравлические.

Датчики классифицируют по различным признакам, но, прежде всего, по виду измеряемого параметра среды и принципу действия. При заказе датчика у изготовителя оперируют, прежде всего, видом измеряемого параметра: температурой, давлением, скоростью, плотностью и т. д.

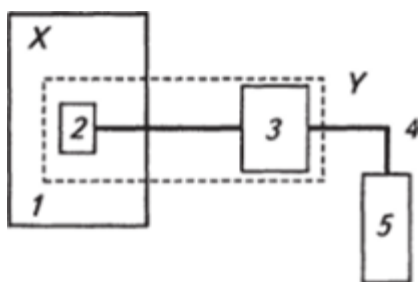
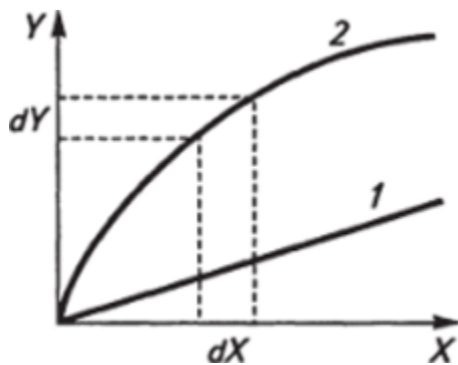


Рисунок 5. Система датчик и измеряемая среда:

1 — объект измерения; 2 — чувствительный элемент датчика; 3 — преобразователь сигнала чувствительного элемента; 4 — система связи; 5 — приемник сигнала



**Рисунок 6. Нелинейность датчиков**

1 — линейная зависимость; 2 — нелинейная зависимость.

На практике используют разные по роду энергии виды датчиков, но все большее применение находят электрические и построенные на их основе электронные датчики благодаря универсальности и технологичности изготовления.

В современных системах автоматики датчики подразделяют также по виду выходной величины — аналоговая или цифровая. Традиционно использовалось аналоговое представление информации. Однако в связи с повышением требований к точности передачи информации датчиков на большое расстояние от оборудования до места ее обработки, применением компьютерного анализа и последующего использования цифровые датчики находят все большее применение.

Понятие датчика связано с такими характеристиками, как диапазон измерений, статическая характеристика, точность измерений, чувствительность, разрешающая способность, время успокоения и быстродействие, выходная мощность и выходное сопротивление.

Диапазон измерений — разница между минимальным измеряемым значением и максимальным.

Статическая характеристика — зависимость выходной величины  $Y$  от входной величины  $X$ :  $Y=f(X)$ .

Чувствительность — отношение изменения показаний датчика  $dY_k$  изменению измеряемой величины  $dX$ :

$$\eta = dY/dX.$$

Одной из характеристик датчиков является нелинейность его статической характеристики.

Для датчиков с линейной статической характеристикой чувствительность постоянна.

Для датчиков с нелинейной характеристикой чувствительность непостоянна — дифференциальна в зависимости от измеряемой величины  $X$ , что вызывает определенные трудности при использовании датчика в зависимости от диапазона измеряемого параметра. В связи с этим применяют различные способы линеаризации выходного сигнала датчиков. Линейная зависимость  $Y=f(X)$  упрощает использование и обработку сигналов, снижает погрешности.

Точность измерений определяется погрешностью. Различают абсолютную погрешность — разность между показанием датчика  $X_d$  и истинным значением измеряемой величины:

$$\Delta X = X_d - X_o$$

и относительную погрешность — отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины:

$$\delta = \Delta X / X_o.$$

Приведенная погрешность — отношение абсолютной погрешности к нормированному значению, например к максимальному значению измеряемой величины  $X_{max}$ :

$$\gamma = \Delta X / X_{max}.$$

Основная погрешность — погрешность в нормальных условиях эксплуатации (температура, влажность, атмосферное давление ит. п.).

Дополнительная погрешность — погрешность, вызванная отклонением условий измерений (эксплуатации) от нормальных, на которые рассчитан датчик по техническому паспорту.



Разрешающая способность — минимальное значение измеряемой величины, различаемое с помощью датчика.

Время установления показаний (время успокоения) — время, в течение которого при одной и той же входной измеряемой величине показания датчика примут постоянное значение.

Быстродействие — максимальное число измерений с нормированной погрешностью в единицу времени измерения.

Выходная мощность сигнала и выходное сопротивление датчика должны соответствовать приемнику информации.

Чувствительные элементы электрических датчиков по принципу действия подразделяются на параметрические, в которых измеряемый параметр воздействует на параметры чувствительного элемента (сопротивление  $R$ , емкость  $C$ , индуктивность  $L$ ), и генераторные, преобразующие неэлектрические величины в электрическое напряжение. Для работы параметрического датчика необходим внешний источник энергии.

К параметрическим чувствительным элементам относятся контактные, реостатные, потенциометрические, тензометрические, терморезисторные, емкостные, индуктивные, фоторезисторные и др.; к генераторным — термоэлектрические, индукционные, пьезоэлектрические, фотоэлементы.

Принципы построения чувствительных элементов датчиков рассмотрим по физической природе преобразования информации, положенные в основу его действия.

Для построения чувствительных элементов датчиков используют физические явления, которые могут в зависимости от условий давать информацию о том или ином параметре технологического процесса.

### **Контрольные вопросы:**

1. На что чувствительные элементы электрических датчиков подразделяются?
2. По каким признакам классифицируются датчики?

## Самостоятельная работа № 6

**Тема:** Требования техники безопасности при выполнении ТО».

**Цель:** Научиться правильно соблюдать технику безопасности при выполнении ТО.

Соблюдение правил техники безопасности является главным условием предупреждения производственного травматизма. Самые совершенные условия труда и новейшие технические мероприятия по технике безопасности не смогут дать желаемые результаты, если работник не понимает их назначения. Знание производственных трудовых процессов, применяемого оборудования, приспособлений, инструмента и безопасных способов и приемов в работе создают условия для производительного труда без травматизма. Большое значение для этого имеют инструктажи по технике безопасности. По характеру и времени проведения они подразделяются на вводный, первичный на рабочем месте, повторный, внеплановый и текущий. Действующие в настоящее время «Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок» введены в действие 1 июля 2001 г. Они распространяются на работников организаций независимо от форм собственности и организационно-правовых форм и других физических лиц, занятых техническим обслуживанием электроустановок, проводящих в них оперативные переключения, организующих и выполняющих строительные, монтажные, наладочные, ремонтные работы, испытания и измерения. С введением данных правил отменены «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок» и «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

Несоблюдение правил безопасности и неосторожное обращение с электротехническим оборудованием может привести к тяжелым последствиям и даже к смертельным исходам.

Задачи техники безопасности заключаются в создании таких условий работы на объекте монтажа, при которых обеспечивается высокопроизводительный труд монтажного персонала и полностью исключается возможность травм.

Администрация монтажных организаций должна обеспечивать систематический контроль за соблюдением электромонтажниками правил безопасности, применением предохранительных приспособлений, спецодежды и других средств индивидуальной защиты. Должностные лица, не обеспечившие выполнение этих требований, привлекаются в установленном порядке к административной или уголовной ответственности согласно действующему законодательству.

Электрозащитные средства и средства индивидуальной защиты, используемые при строительномонтажных работах (диэлектрические перчатки, указатели напряжения, инструмент с изолирующими рукоятками, предохранительные пояса, каски и т.п.), должны соответствовать требованиям государственных стандартов и «Правил применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках».

Рабочие и служащие электромонтажных организаций допускаются к выполнению работ только после прохождения вводного инструктажа (общего) и инструктажа на рабочем месте (производственного) по технике безопасности. Все электромонтажники должны пройти курсовое обучение по технике безопасности и специальное техническое обучение. Обучение производится администрацией по типовым программам. Ответственность за своевременность, полноту и правильность обучения по технике безопасности несет руководитель монтажного участка, организации, предприятия. По окончании обучения квалификационная комиссия принимает экзамен и присваивает обучаемым соответствующую квалификационную группу по электробезопасности.

К персоналу, монтирующему электроустановки, предъявляются особые требования. При приеме на работу по монтажу электроустановок поступающий обязательно проходит медицинский осмотр в поликлинике.

Во избежание травматических случаев администрация монтажной организации обязана принимать меры для их предупреждения. К ним относятся: своевременная и надлежащая подготовка фронта работ; обеспечение электромонтажников исправным индивидуальным и бригадным монтажным инструментом, приспособлениями и оборудованием; предоставление в распоряжение электромонтажников исправных и проверенных средств механизации и электрифицированного инструмента; обеспечение электромонтажников своевременно испытанными и проверенными средствами защиты и спецодеждой, соответствующими характеру их работы, напряжению электроустановки, условиям окружающей среды; надежное ограждение рабочих мест; обеспечение стандартными плакатами по технике безопасности, указывающими место безопасной работы, запрещающими или разрешающими производство работ, предупреждающими об опасности поражения электрическим током; обеспечение объекта монтажа соответствующими средствами для работы на высоте (леса, подмости, лестницы, стремянки, подъемники и т.д.); подача к месту монтажа электрической сети напряжением 12 или 36 В, если по условиям работы или окружающей среды использовать электрооборудование более высокого напряжения опасно для жизни людей или запрещено соответствующими правилами или инструкциями; инструктаж электромонтажников на рабочем месте; проверка знаний персоналом правил техники безопасности и требований пожарной безопасности.

### **Меры безопасности при работе на высоте**

Работы, при выполнении которых электромонтажник находится выше 1,5 м от поверхности рабочего настила, перекрытия или грунта, называются работами на высоте. К работе на высоте допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр, обучение требованиям безопасности труда, получившие

специальное

удостоверение.

Лица, допущенные к работе на высоте, проходят медицинский осмотр ежегодно.

Электромонтажные работы на высоте можно производить с лесов или подмостей с настилами шириной не менее 1 м, имеющих надежное ограждение в виде перил высотой не менее 1 м, а также с исправных стремянок и приставных лестниц. Раздвижные лестницы-стремянки должны иметь устройства, которые исключают возможность их самопроизвольного раздвигания. Приставные лестницы, устанавливаемые в местах движения транспорта или людей, ограждают или охраняют.

В необходимых случаях работать на высоте можно с неогражденных поверхностей или с постоянно укрепленных лестниц, но с обязательным применением проверенных и испытанных предохранительных поясов.

Предохранительные пояса должны быть снабжены паспортами и бирками. Пользоваться поясами, на которые нет паспортов, запрещается. Карабин предохранительного пояса должен иметь или сломанной запирающей пружины не допускается. Предохранительные пояса через каждые 6 мес испытывают на статическую нагрузку 30 Н в течение 5 мин. При работе с приставных лестниц и стремянок прикрепляться к ним предохранительными поясами запрещается.

Запрещается работать с лестниц и стремянок около работающих машин, оборудования и над ними, а также вблизи токоведущих частей, находящихся под напряжением и не защищенных от случайного прикосновения к ним. При необходимости работы в таких местах машины и оборудование должны быть отключены, а токоведущие части отключены и заземлены. Для переноски и хранения инструментов, метизов, установочных элементов лица, работающие на высоте, должны быть снабжены индивидуальными сумками или инструментальными ящиками.

При выполнении работ на высоте запрещается подниматься и опускаться по тросам и канатам, пользоваться для этой цели подъемными монтажными механизмами, переходить по незакрепленным конструкциям и работать на них, а также перелезать через ограждения и садиться на них.

Запрещается подбрасывание каких-либо предметов для подачи работающим наверху. Инструменты, материалы и другие предметы необходимо подавать с помощью веревки, к середине которой их привязывают. Второй конец веревки должен находиться в руках у стоящего внизу работника, который удерживает поднимаемые предметы от раскачивания. В случае гололеда, сильного ветра (более шести баллов), снегопада или дождя монтажные работы на высоте на открытом воздухе прекращают.

Меры безопасности при работе с монтажными инструментами, механизмами и измерительными приборами. При выполнении монтажных работ разрешается применять только исправный ручной инструмент. Деревянные рукоятки ручных инструментов должны быть изготовлены из древесины твердых и вязких пород, гладко обработаны и надежно закреплены. На поверхности рукояток не допускаются выбоины и сколы.

Рукоятки молотков и кувалд должны быть заклинены металлическими клиньями. Насадка кувалды производится через нижний конец ручки. При работе зубилом или другим ручным инструментом для рубки металла следует пользоваться защитными очками с небьющимися стеклами и перчатками. Сверлить отверстия и пробивать борозды в стенах, панелях, перекрытиях, в которых может быть расположена скрытая электропроводка, а также выполнять другие работы, при которых может быть повреждена изоляция проводов (кабелей) и установок, следует только после их отключения от источников питания.

Инструмент с изолированными рукоятками применяют для работы под напряжением в электроустановках до 1000 В в качестве основного средства защиты. Изолирующие рукоятки такого инструмента должны быть выполнены в виде чехлов или в виде неснимаемого покрытия из влагостойкого, маслостойкого, нехрупкого электроизоляционного материала с упорами со стороны рабочего органа.

Изоляция должна покрывать всю рукоятку, ее длина должна быть не менее 100 мм до середины упора. Изоляция стержней отверток должна оканчиваться на расстоянии не более 10 мм от конца лезвия отвертки.

Изолирующие рукоятки как на поверхности, так и в толще изоляции не должны иметь раковин, сколов, вздутий и других дефектов.

Перед началом работ с электроинструментом необходимо проверить:

- затяжку винтов, крепящих детали электроинструмента;
- состояние провода электроинструмента, целостность изоляции, отсутствие излома жил;
- исправность выключателя и заземления.

Электроинструмент с двойной изоляцией заземления не требует. Пользоваться неисправным электроинструментом категорически запрещается.

Лицам, пользующимся электроинструментом, запрещается:

- разбирать электроинструмент и производить самостоятельно какой-либо ремонт (как самого инструмента, так и проводов, штепсельных соединений и т.п.);
- держаться за провод электроинструмента или касаться вращающегося режущего инструмента;
- удалять руками стружку или опилки во время работы инструмента или до полной его остановки;
- передавать электроинструмент хотя бы на непродолжительное время другим лицам.

При работе с пиротехническим монтажным пистолетом в связи с его повышенной опасностью исполнитель обязан соблюдать специальные требования безопасности труда.

Необходимо учитывать, что исполнитель отвечает не только за личную безопасность, но и за безопасность работающих совместно с ним. Заряжать пистолет следует только у места забивки дюбеля и после полной подготовки к выстрелу. Нельзя направлять пистолет на себя или других лиц независимо от того, заряжен он или нет. При работе на высоте пистолет прикрепляют к поясу прочным ремнем. При этом пользуются только устойчивыми основаниями (леса, вышки) с ограждениями. Работать с лестниц, стремянок и других малоустойчивых оснований запрещается. Запрещается забивать дюбель в хрупкие основания, дающие острые осколки

(керамику, чугун и т.п.) и твердые разрушающиеся (гранит, базальт, закаленная сталь). При осечке открывать пистолет не разрешается, нужно два-три раза оттянуть спусковой рычаг. При вторичной осечке выдерживают пистолет прижатым к основанию в течение 20 с, затем открывают его и удаляют патрон.

Измерения переносными приборами должны производиться двумя лицами, причем одно из них должно иметь квалификационную группу не ниже четвертой, другое — не ниже третьей. Все измерения сопротивления в электроустановке производятся при снятом напряжении. Присоединение и отсоединение переносных приборов, требующие разрыва электрических цепей, также должны производиться при полном снятии напряжения.

Мегомметр применяется в электромонтажных работах для измерения сопротивления изоляции электрооборудования, проводов и кабелей. Так как на выходе мегомметра при измерении образуется высокое напряжение, то в это время нельзя прикасаться к неизолированным частям объекта измерения и проводов прибора. По той же причине если в электроустановке, где производится измерение, есть элементы, которые могут быть повреждены этим напряжением, например конденсаторы, полупроводниковые приборы, они должны быть отсоединены или закорочены проводом.

Паяльники, находящиеся в рабочем состоянии, должны находиться постоянно в зоне действия вытяжной вентиляции. При пайке запрещается стряхивать припой. Лишний припой можно снимать только на специальную подставку для паяльника. При коротких перерывах в работе с электропаяльником нужно класть его на специальную подставку с металлическими скобами. При длительных перерывах и по окончании работы паяльник следует обязательно отключить от электросети.

При выполнении монтажных и пусконаладочных работ, а также при техническом обслуживании и ремонте технических средств и систем безопасности необходимо использовать паяльники, рассчитанные на питание переменным током напряжением не свыше 42 В, от индивидуального трансформатора для каждого рабочего места.



Допускается использование электропаяльников на 220 В, если они получают питание от разделительного трансформатора или через устройство защитного отключения.

В помещении, где производится пайка, запрещается принимать пищу.

При регулировке, проверке и наладке схем контроля, управления, обмена информацией, питания систем безопасности весь применяемый инструмент (отвертки, плоскогубцы, пассатижи и т.п.) изолируют так, чтобы его рабочая (голая) часть не могла перекрыть двух рядом расположенных клемм, зажимов.

При индивидуальном испытании аппаратуры и оборудования систем безопасности соблюдают следующие требования безопасности труда:

- перед пробным включением убеждаются в отсутствии людей вблизи токоведущих частей установки;
- пробное включение аппаратуры и оборудования систем безопасности (постановка схемы под напряжение) производят только после тщательной проверки правильности монтажа схемы согласно проекту, надежности контактных соединений в приборах, аппаратуре, оборудовании, шкафах, соединительных коробках и других элементах схемы.

### **Контрольные вопросы:**

1. Несоблюдение правил безопасности и неосторожное обращение с электротехническим оборудованием может привести к каким последствиям?
2. Для чего применяется в электромонтажных работах мегомметр?

## **Самостоятельная работа № 7**

**Тема:** «Решение прямой задачи о положении манипулятора».

**Цель:** Научиться понимать принципы создания и использования манипуляторов. Определять их основные характеристики и сферу применения.

Одним из направлений развития робототехники является создание роботоманипуляторов на основе последовательной структуры.

Манипулятор - такое устройство, которое управляет положением предметов. В наше время манипуляторы заменяют часть физического труда человека. Они используются в многочисленных сферах нашей жизни. В технических отраслях - манипуляторы для сварки металла, манипуляторы фасовщики, манипуляторы для строительных работ и. т. д.

В медицинской отрасли манипуляторы совершают целые операции, спасают жизни людей. Почти во всех сферах нашей жизни присутствует этот вид роботов. В связи с этим актуальность приобретает задача управления такими механизмами. В работе рассмотрен манипулятор последовательной структуры с шестью степенями свободы.

Последовательные манипуляторы представляют собой ряд звеньев, между собой шарнирами.

Манипулятор называется последовательным, потому что приводы этого манипулятора располагаются последовательно, друг за другом. Чаще всего приводы последовательного манипулятора располагаются на шарнирах или же согласованы с шарниром.

Все звенья, основание, также исполнительное звено составляют кинематическую цепь манипулятора.

На рисунке 6 изображена 3D-модель манипулятор последовательной структуры. На шарнирах установлены приводы, которые вращают шарнир, а вместе с тем перемещают звенья и исполнительное звено. Каждое звено манипулятора движется в своей плоскости, следовательно, исполнительное звено манипулятора способно перемещаться в нескольких плоскостях, поэтому рабочая зона этого манипулятора достаточно большая.

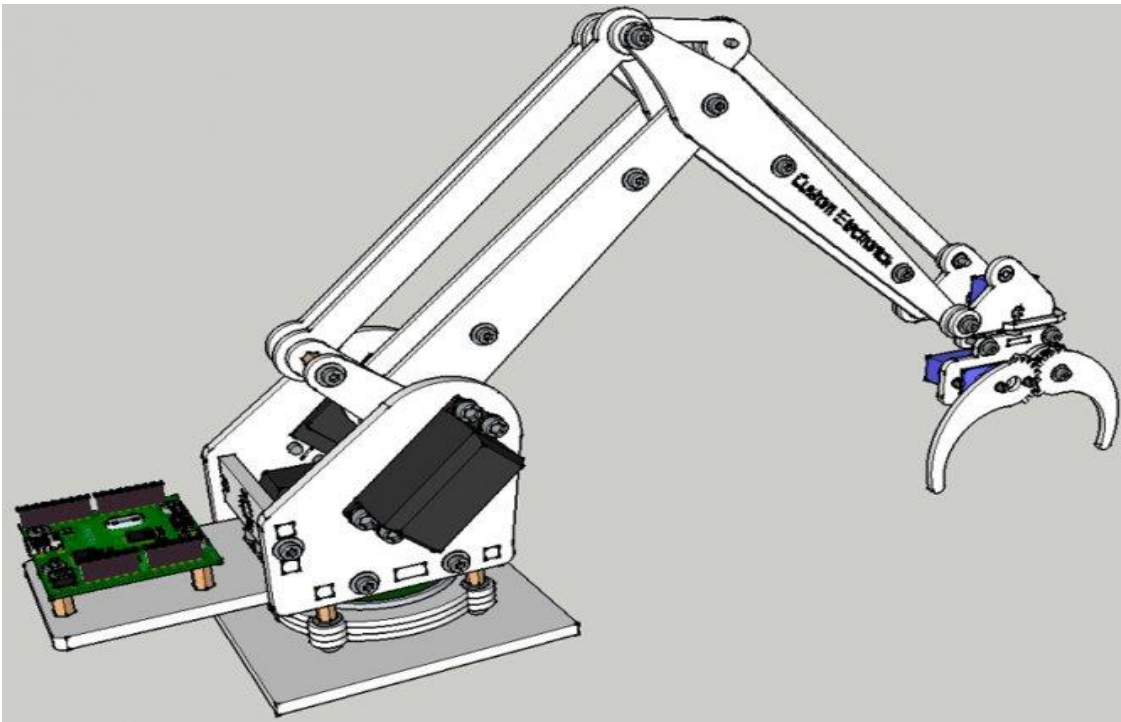


Рисунок 6. 3D-модель исследуемого механизма

Выделим достоинства и недостатки манипуляторов последовательной структуры. У последовательных манипуляторов существует ряд преимуществ.

У них большая рабочая зона, она на много превышает рабочую зону параллельных манипуляторов, что позволяет им работать с крупными деталями, несомненно, увеличивая область, в которой способен работать манипулятор.

Недостатки последовательного манипулятора: механизм очень тяжёлый, потому что приводы и звенья манипулятора очень массивные и тяжёлые. Это происходит, потому что когда манипулятор начинает работать, и исполнительное звено перемещается, а затем останавливается, то исполнительное звено продолжает двигаться по инерции, из-за этого звенья изгибаются и ломаются. Исполнительное звено не обладает жёсткостью, поэтому оно легко смещается.

Степень свободы манипулятора. Существует такое понятие в физике как степень свободы. По отношению к материальной точке и жёсткому объекту оно одно, а по отношению к не твёрдому телу другое. Мы будем рассматривать понятие степени свободы по отношению к твёрдому телу, так как манипуляторы делаются из прочных и твёрдых материалов. И так, степень свободы- способность тела перемещаться в пространстве. У твёрдого тела существует 6 степеней свободы: 3 линейных (поступательных) и 3 вращательных. Линейная степень

свободы даёт телу возможность перемещаться вдоль одной из осей  $(x,y,z)$ , причём движение - линейное. А вращательная степень свободы даёт возможность телу вращаться вокруг одной из осей  $(x,y,z)$ . У манипулятора, для определения количества степеней свободы надо посчитать количество приводов, установленных на этот манипулятор, причем степень свободы будет считаться относительно исполнительного звена манипулятора. Большое количество степеней свободы увеличивает рабочую зону манипулятора. Позволяет работать ему по большему количеству осей. В нашем примере манипулятор имеет 6 приводов, и, следовательно, 6 степеней свободы.

Кинематика манипулятора. При решении задач проектирования и управления промышленными роботами приходится определять как положения его звеньев относительно неподвижной системы координат – абсолютные положения звеньев, так и их относительные положения – обобщенные координаты. При известных обобщенных координатах решение прямой задачи о положении манипулятора сводится к перемножению матриц, определяющих относительные положения звеньев. Определение обобщенных координат при заданном положении выходного звена манипулятора является более сложной задачей, так как это связано с решением нелинейных систем алгебраических уравнений. Эффективным методом решения обратной задачи о положении является векторно-матричный метод.

Векторный метод кинематического анализа манипулятора. В этом методе основные условия связей между заданными и неизвестными величинами используются в векторной форме, а преобразование проекций векторов осуществляется в матричной форме.

Последовательные манипуляторы сложные механизмы, созданные для облегчения жизни человечества. Они могут использоваться как на небольших предприятиях, так и в аэрокосмических сферах и подобным им.

### **Контрольные вопросы:**

1. Каковы недостатки последовательного манипулятора?

2. Выделите достоинства и недостатки манипуляторов последовательной структуры.

### **Самостоятельная работа № 8**

**Тема:** Техническая документация станка

**Цель:** Ознакомиться с технической документацией станка.

Все решения, принятые в процессе ТПП изделия должны быть документально оформлены. К технологическим документам (ТД) относят текстовые и графические документы отдельно или в совокупности определяющие ТП изготовления или ремонта изделия с учетом контроля и перемещения, комплектацию деталей и сборочных единиц и маршрут прохождения изготавливаемого или ремонтируемого изделия по службам предприятия. Создаваемая технологическая документация выполняет две основные функции – организационную и информационную. В рамках организационной функции ТД обеспечивает изготовление деталей и сборочных единиц, служит средством организации труда всех участников производственного процесса. Информационная функция заключается в том, что ТД содержит необходимую информацию для различных служб предприятия, в частности, используемую для определения загрузки оборудования участков, цехов и предприятия, установления потребности в средствах технологического оснащения и материалах, расчета себестоимости изделия. Особое значение ТД приобретает в условиях использования САПР ТП и АСУ ТП, создавая основу информационного обеспечения и играя роль обратной связи. Для эффективного использования ТД необходима ее стандартизация и унификация. Создание и оформление технологической документации производят в соответствии с Единой системой технологической документации. Единая система технологической документации (ЕСТД) – комплекс государственных стандартов и рекомендаций, устанавливающих взаимосвязанные правила и положения по порядку разработки,

комплектации, оформления и обращения технологической документации, применяемой при изготовлении и ремонте изделий (включая сбор и сдачу технологических отходов). Единство форм и правил оформления ТД существенно облегчает решение многих задач, актуальных для каждого промышленного предприятия, в том числе:

- установление единых унифицированных форм документов, обеспечивающих совместимость информации, независимо от применяемых методов проектирования документов;

- обеспечение преемственности с ЕСКД;

- создание единой информационной базы для внедрения средств автоматизации проектирования технологических документов и решения инженерно-технических задач;

- установление единых требований и правил по оформлению документов на единичные, типовые и групповые ТП и операции, в зависимости от степени детализации описания ТП;

- обеспечение оптимальных условий при передаче технологической документации на другие предприятия;

- снижение объема и трудоемкости инженерно-технических работ, выполняемых в сфере ТПП и в управлении производством. ЕСТД способствует улучшению технологической подготовки производства, повышает ответственность и эффективность работы технологических служб. В некоторых случаях предприятия, с учетом своей специфики, разрабатывают собственные стандарты ТД. Но и в этом случае, основой стандартов предприятий является ЕСТД.

### **Виды описания технологического процесса .**

Содержание разработанного ТП записывают с различной степенью детализации описания.

1. Маршрутное описание – сокращенное описание всех технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения без указания переходов и технологических режимов.

2. Операционное описание – полное описание всех технологических операций в последовательности их выполнения с указанием переходов и технологических режимов.

3. Маршрутно-операционное описание – сокращенное описание технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения с полным описанием отдельных операций в других технологических документах. Выбор степени детализации определяет разработчик ТД с учетом стадии разработки документов, типа производства и сложности выпускаемых изделий.

Маршрутное описание ТП используют в документах на ТП, выполняемые в опытном и мелкосерийном типах производства. Маршрутное описание применяют для операций обработки резанием, разъемной сборки, отдельных действий, связанных с техническим контролем. Выполнение таких операций не связано с жесткой регламентацией режимов (за исключением операций обработки резанием, но в этих случаях квалификация исполнителей позволяет за счет производственного опыта самостоятельно настраивать оборудование на оптимальный режим работы).

Не рекомендуется применять маршрутное описание для операций, связанных с опасностью выполняемых работ, с надежностью изготовления изделий и их эксплуатацией и т. п. Операционное описание ТП характерно для документов, разрабатываемых и применяемых в серийном и массовом типах производства. Соответствующая форма организации таких производств определяет постоянное закрепление за каждым рабочим местом документов с подробнейшим выполнением действий.

Маршрутно-операционное описание используют для ТП, в которых присутствуют отдельные операции, использующие другой технологический метод, или более сложное в обслуживании технологическое оборудование, или требующие строгого соблюдения технологического режима.

Например, ТП сборки-сварки, в котором для основной части процесса, связанной с подготовкой комплектующих составных частей под сварку, принято

маршрутное описание, а для операций, непосредственно связанных со сваркой, – операционное. Или, например, ТП обработки резанием, включающим операции, выполняемые на автоматах и полуавтоматах, станках с ЧПУ.

### **Виды технологических документов**

В зависимости от назначения технологические документы подразделяют на основные и вспомогательные (ГОСТ 3.1102-81). К основным относят документы, полностью и однозначно определяющие ТП (операцию) изготовления или ремонта изделия (составных частей изделия). К вспомогательным относят документы, применяемые при разработке, внедрении и функционировании ТП и операций, например, карту заказа на проектирование технологической оснастки, акт внедрения ТП и др. Основные технологические документы подразделяют на документы общего и специального назначения. К документам общего назначения относят технологические документы, применяемые в отдельности или в комплектах документов на ТП (операции), независимо от применяемых технологических методов изготовления или ремонта изделий (составных частей изделий), например, карту эскизов,

Основной технологической документацией для изготовления изделий из металла на станках, так же как и при слесарной обработке, являются операционные карты. В операционных картах подробно описывается каждая технологическая операция.

Технологическая операция складывается из установов и переходов. Установ— это часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемой заготовки. Переход — это законченная часть технологической операции, которая характеризуется постоянством применяемого инструмента и параметров режима резания.

Переход может складываться из одного или нескольких рабочих ходов (проходов). Рабочий ход (проход) — это законченная часть технологического перехода при однократном перемещении инструмента относительно заготовки для снятия слоя материала. Например, если требуется за один переход обточить слой металла, равный 4 мм, то вначале выполняют черновой рабочий ход



(проход), при котором снимают 75% слоя (т. е. 3 мм), затем — чистовой рабочий ход для снятия оставшихся 25% толщины (т. е. 1 мм).

Для овладения практическими навыками работы на станках в школьных мастерских очень удобны технологические и инструкционные карты (аналогичные применяемым при обработке древесины), в которых приведено содержание действий и указана последовательность их выполнения.

На чертежах деталей, изготавливаемых на станках, проставляют номинальные размеры и их допускаемые отклонения (заданные конструкторами исходя из условий работы деталей). Например,  $\varnothing 30^{+0.1}_{-0.3}$  обозначает, что диаметр готовой детали должен находиться в пределах от 29,7 до 30,1 мм, которые называются наименьшим и наибольшим предельными размерами. Если при изготовлении деталь выйдет за эти размеры, то она считается негодной (бракованной). Разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами называется допуском на обработку.

В приведенном примере он равен:  $30,1 - 29,7 = 0,4$  мм.

### **Контрольные вопросы:**

1. Из чего складывается технологическая операция?
2. Что является основной технологической документацией для изготовления изделий из металла на станках?

## **Самостоятельная работа № 9**

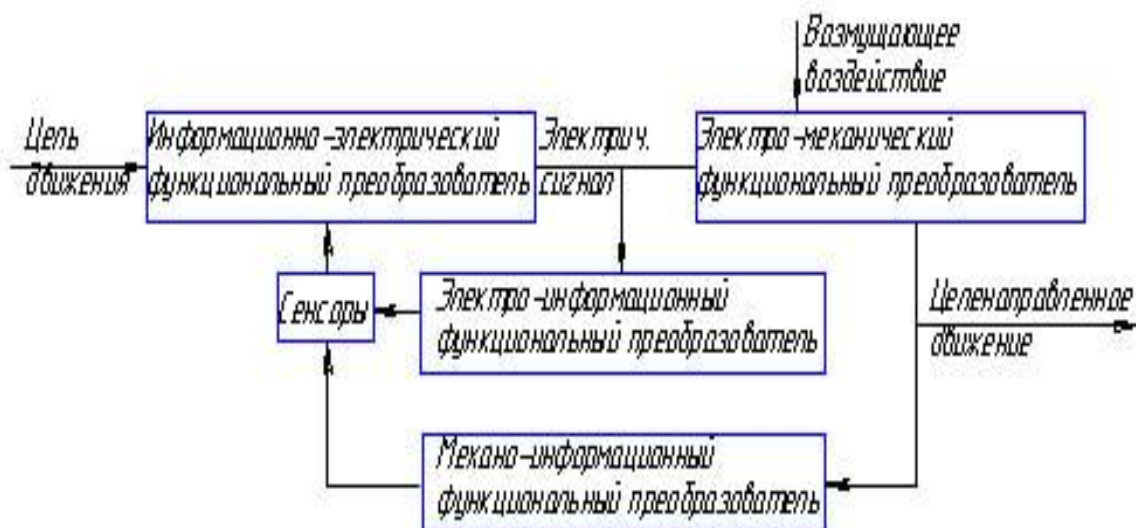
**Тема:** Мехатронные модули движения»

**Цель:** Научиться понимать сущность мехатронного подхода к проектированию модуля движения.

Мехатронные модули движения являются теми функциональными «кубиками», из которых затем можно компоновать сложные многокоординатные мехатронные системы.

Сущность мехатронного подхода к проектированию состоит в объединении в единый приводной модуль составляющих элементов. Применение мехатронного подхода к проектированию модуля движения базируется на определении возможных точек интеграции элементов в структуре привода. Выявив также точки интеграции можно затем на основе технико-экономического и технологического анализа принимать конкретные инженерные решения на проектирование и изготовления модуля движения.

На вход мехатронного модуля поступает информация о цели движения, которое формируется верхним уровнем системы управления, а выходом является целенаправленное мехатронное движение конечного звена, например, перемещение выходного вала модуля.



**Рисунок 7** Схема энергетических и информационных потоков в электромеханическом мехатронном модуле.

Для физической реализации электромеханического мехатронного модуля теоретически необходимы четыре основных функциональных блока последовательно-соединенные: информационно-электрический и электромеханический функциональный преобразователь в прямой цепи и электро-

информационный и механико-информационные преобразователи в цепи обратной связи.

Проанализируем физический характер преобразований и традиционную структуру электро-механического модуля с компьютерным управлением с этой же точки зрения.

Устройство контроля и управления (УКУ) на основании входной информации, поступающей с верхнего уровня управления и по цепям обратной связи от сенсоров, выдает во времени на исполняющие приводы управляющие электрические сигналы. В силовых преобразователях происходит усиление по мощности данных сигналов и их модуляция, затем исполнительные приводы прикладывают соответствующие усилия к звеньям механического устройства, что в результате вызывает целенаправленное движение конечного звена модуля с рабочим органом.

Для соединения элементов в систему традиционно вводят специальные интерфейсные устройства, обозначенные И1-И7.

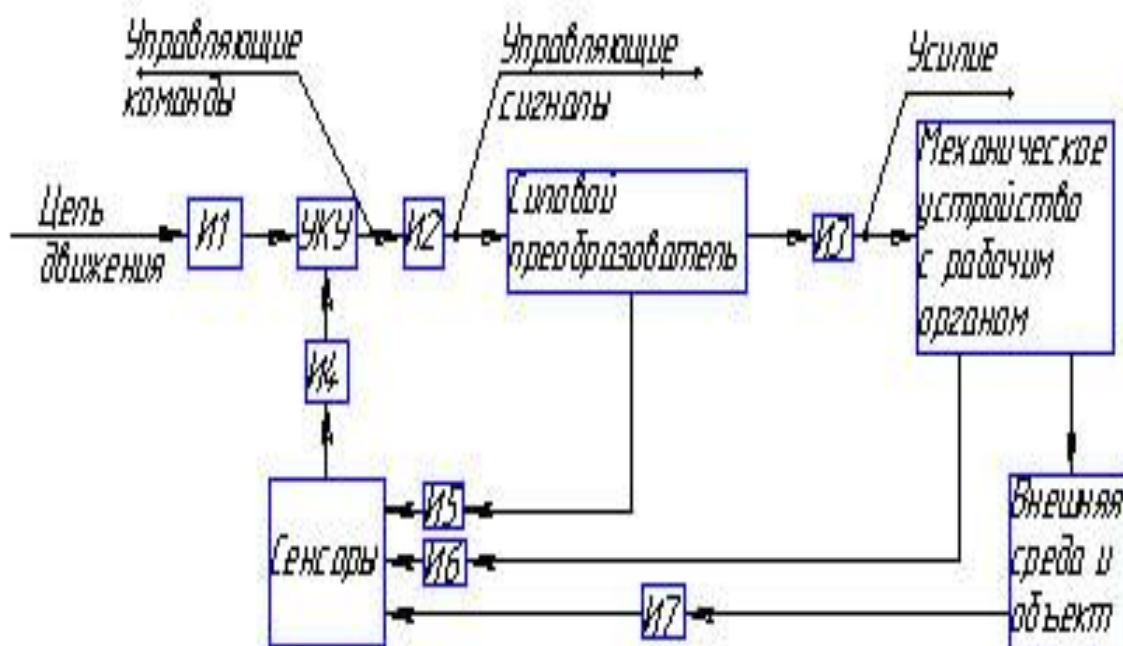


Рисунок 8. Традиционная структура электро-механического модуля движения с компьютерным управлением.

Интерфейс И1 представляет собой комплекс аппаратно-программных средств для сопряжения УКУ модуля с верхним уровнем системы управления. Функции верхнего уровня управления выполняет высокопроизводительный компьютер либо человек-оператор.

Интерфейс И2 обычно состоит из цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) и усилительно-преобразующего устройства и служит для формирования управляющих электрических напряжений для исполнительных приводов.

Интерфейсы И3 – это, как правило, механические передачи, связывающие исполнительные двигатели со звеньями механического устройства. Конструктивно такие трансмиссии обычно включают редукторы, муфты, гибкие связи, тормоза и т.п.

Интерфейс И4 на входе УКУ в случае применения в электромеханическом мехатронном модуле сенсоров с аналоговым выходным сигналом строится на основе аналоговых цифровых преобразователей (АЦП).

Интерфейсы сенсоров И5, И6, И7, в зависимости от физического характера наблюдаемых переменных можно разделить на электрические и механические. К механическим интерфейсам относятся присоединительные устройства для датчиков обратной связи приводов (фотоимпульсных, кодовых, тахогенераторных и т.п.), силомоментных и тактильных датчиков, а так же других средств осязания и информации о движении звеньев механической цепи, двигателей и внешних объектов. Преобразование и передача сигналов о переменных состояниях системы, которые имеют электрическую природу осуществляется электрическими интерфейсами. В их состав помимо усилительно-преобразующих плат входят также соединительные кабели и коммутационная аппаратура.

Сравнивая представленные блок-схемы можно прийти к выводу о том, что число преобразующих и интерфейсных блоков в традиционной структуре привода с компьютерным управлением избыточно по отношению к минимально необходимому числу функциональных преобразований.

Этот вывод даёт основание для поиска новых решений построения привода, базирующегося на синергетической интеграции элементов.

Различие мехатронного и традиционного подхода к проектированию и изготовлению модулей и машин с компьютерным управлением состоит в концепции построения и реализации функциональных преобразователей. При традиционном проектировании интерфейсы представляют собой отдельные самостоятельные устройства и узлы. Обычно это сепаратные блоки, которые выпускаются специализированными фирмами но зачастую отдельные элементы приходится изготавливать самим пользователям.

Мехатронный подход нацеливает разработчика на интеграцию элементов привода в единые блоки, минимизацию промежуточных преобразований и устранения интерфейсов как сепаратных блоков. Мехатронные модули движения, которые в настоящее время используются в производственных машинах и транспортных средствах нового поколения, можно подразделить на четыре группы.

Высокооборотные модули с максимальной частотой вращения от 9 000 до 250 000 мин-1 и мощностью от 0,1 до 30 кВт для металлорежущих станков, деревообрабатывающих машин, станков для сверления печатных плат, компрессоров и т.д.

В этих модулях используются воздушные и электромагнитные подшипники. Основные преимущества выпускаемых электрошпинделей на магнитных подшипниках:

- отсутствие механических контактов и, как следствие, износа;
- возможность использования более высоких (по сравнению с традиционными конструкциями) скоростей;
- небольшая вибрация, отсутствие трения и снижение тепловых потерь;
- возможность изменения жесткости и демпфирующих характеристик системы;

Цифровые электроприводы с бесколлекторными синхронным и асинхронным двигателями мощностью до 10 кВт с моментом от 1 до 40 З·м и высоким

отношением момента к массе для приводов подачи высокопроизводительных станков и роботов, текстильных и деревообрабатывающих машин, приводов вентиляторов, насосов и т.д. Блок управления такими приводами создается на базе силовых интеллектуальных схем и встраивается в корпус или клемную коробку электродвигателя.

Общая информация и технические характеристики существующих мехатронных модулей движения

Мехатронный модуль движения представляет собой конструктивно целостное изделие, объединяющее в едином корпусе двигатель, механическую, электрическую и информационную части, которое можно использовать индивидуально и в различных комбинациях с другими модулями. В связи с развитием новых электронных технологий, которые позволили создать миниатюрные датчики и электронные блоки для обработки их сигналов, в мехатронных модулях движения появились электронные и информационные устройства, что является их главным отличием от модулей движения.

Для создания современных движущихся систем и технологических машин необходимы разнообразные мехатронные модули движения. Требования к развиваемым силам, точности и скорости движений диктуются особенностями технологической операции, а требование минимизации размеров мехатронного модуля движения - необходимостью встраивания его в технологическую машину. Попытка синтеза мехатронного модуля движения из серийно выпускаемых компонентов может привести к технически и экономически неэффективным решениям. Поэтому более рациональным является проектирование специализированного модуля, наиболее полно отвечающего служебному назначению машины.

Технические характеристики мехатронных модулей можно разделить на следующие группы:

Основные электромеханические характеристики (в номинальном, максимальном и повторно-кратковременном режимах работы):

- для модулей вращательного движения - мощность, момент, частота вращения (макс., мин.), дискретность углового перемещения;

- для модулей линейного движения - мощность, усилие, скорость перемещения (макс., мин.), дискретность линейного перемещения.

Основные технологические характеристики - геометрические и конструктивные размеры (конус шпинделя, макс, длина рабочего хода линейного механизма, диаметр поворотного стола и т.п.).

Дополнительные технологические характеристики - наличие устройства подачи охлаждающей жидкости в зону резания, наличие устройства зажима-разжима крепления инструмента или детали, наличие устройств встроенного принудительного охлаждения, наличие устройств контроля геометрии обрабатываемой детали и т.п.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Что необходимо для создания современных движущихся систем и технологических машин?
2. Проанализируйте физический характер преобразований и традиционную структуру электро-механического модуля.

### **Самостоятельная работа № 10**

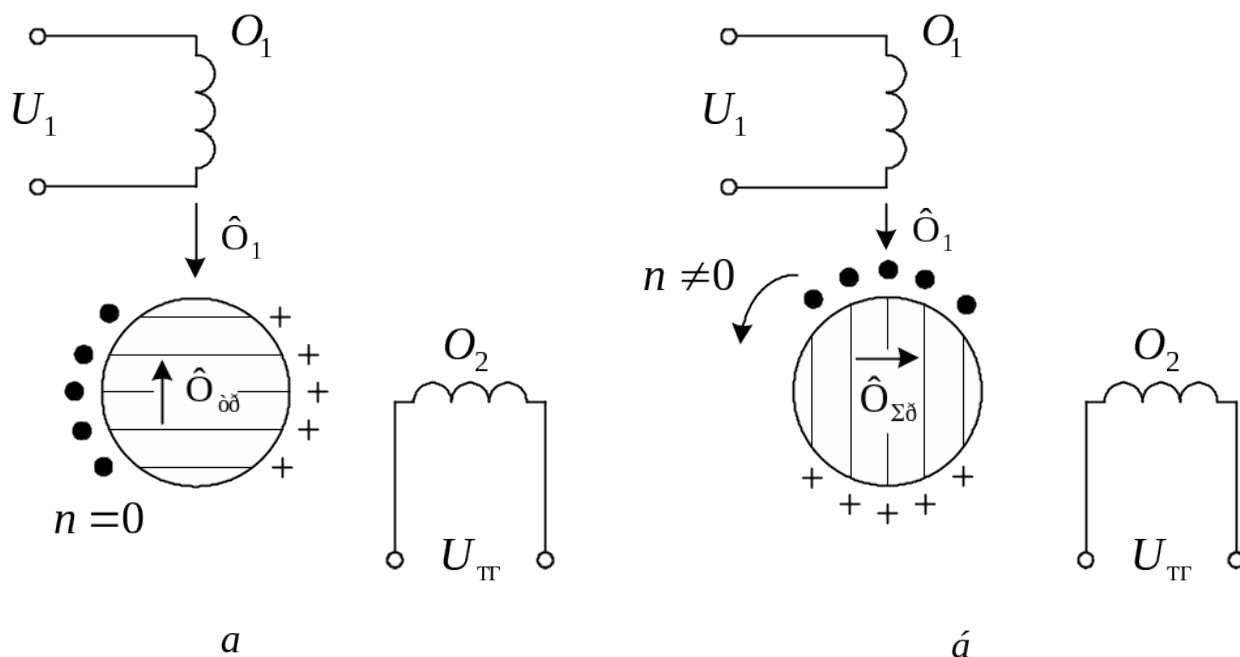
**Тема:** «Исследование датчиков скорости»

**Цель:** Ознакомление с основными видами датчиков скорости. Ознакомление с принципами работы оптических датчиков скорости. Ознакомление с принципами настройки счетчика импульсов СИ8. Снятие статических характеристик датчика скорости.

Датчики скорости применяются в системах автоматизации в качестве элементов первичной информации как измерительные преобразователи для измерения угловой скорости вращения валов рабочих механизмов.

#### **Тахогенераторы**

Тахогенераторами (ТГ) называют электрические микромашины, предназначенные для преобразования угловой скорости контролируемого вала в электрический сигнал. Таким образом, тахогенераторы являются датчиками генераторного типа. Поскольку в электрических машинах электродвижущая сила (ЭДС) пропорциональна угловой скорости вращения ротора, то в качестве ТГ могут быть использованы различные типы электрических генераторов: асинхронные, постоянного тока, синхронные и т.д.



**Рисунок 9. Принцип действия АТГ**

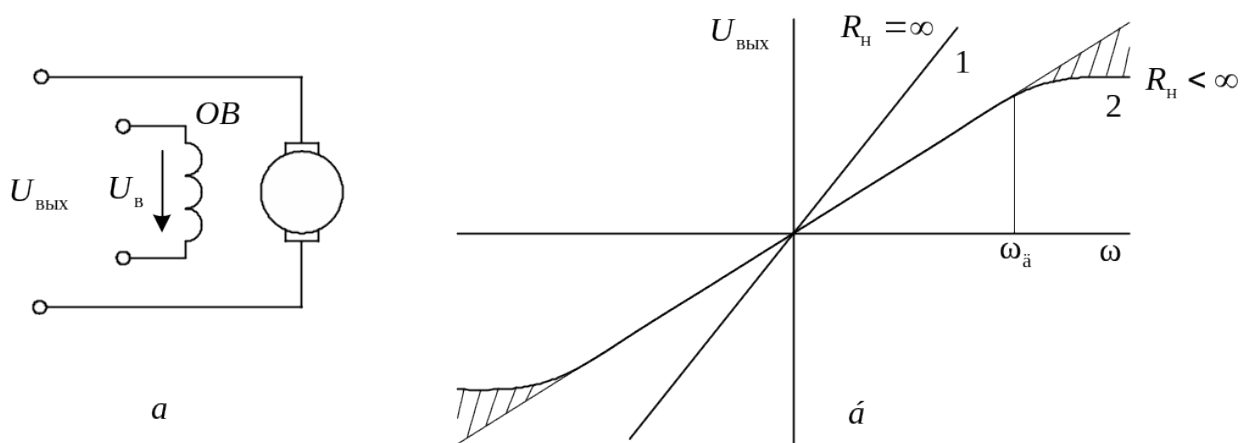
Асинхронный тахогенератор (АТГ) имеет на статоре две обмотки, сдвинутые в пространстве на электрический угол  $90^\circ$  (рис. 1). Одна из них – обмотка возбуждения  $O_1$  – подключается к сети, с другой – генераторной обмотки  $O_2$  – снимается выходное напряжение ТГ. Ротор АТГ представляет собой полый немагнитный цилиндр с большим активным сопротивлением. Для уменьшения влияния неравномерности воздушного зазора и несимметрии ротора на выходную характеристику прецизионный АТГ обычно выполняют с количеством пар полюсов  $p \geq 2$ .

При неподвижном роторе (рис. 9) пульсирующий по постоянной оси поток  $\Phi_1$  наводит в роторе ЭДС трансформации. Контуры токов ротора, расположенные



в плоскостях, перпендикулярных оси  $\Phi_1$ , создают поток  $\Phi_{тр}$ . Теоретически при неподвижном роторе  $U_{тг}=0$ , т.к. поток по оси обмотки  $O_2$  равен нулю. Однако за счет, например, возможной неперпендикулярности обмоток  $O_1$  и  $O_2$ , наличия короткозамкнутых контуров, потоков рассеяния, емкостных связей обмоток появляется поперечная составляющая магнитного потока, приводящая к остаточному напряжению на обмотке.

При вращении ротора в его элементарных проводниках наводится помимо трансформаторной ЭДС и ЭДС вращения. Под действием ЭДС вращения по ротору текут токи, контуры которых практически совпадают с осью потока  $\Phi_1$ . Такая ориентация контуров с током объясняется большим активным сопротивлением материала ротора. Токи, наведенные в роторе, создают поток, ось которого совпадает с осью генераторной обмотки и наводит в ней ЭДС частоты, равной частоте сети. Основные достоинства АТГ заключаются в их бесконтактности, высокой надежности, малой инерционности. Недостатки АТГ, ограничивающие область их применения, связаны с нелинейностью выходной характеристики, наличием остаточного напряжения, низкими массогабаритными показателями.



**Рисунок 10. Принцип действия тахогенератора**

Тахогенераторы постоянного тока (ТГПТ) по принципу действия и конструкции не отличаются от обычных генераторов постоянного тока малой мощности (рис. 2,а). Стабилизация тока в обмотке возбуждения достигается

посредством ее питания от источника стабилизированного напряжения и применения температурной компенсации изменения сопротивления обмотки.

Особенность работы тахогенератора состоит в том, что якорь обычно включен на постоянное сопротивление  $R_n$ .

Ток в цепи якоря

$$I = \frac{E}{R_a + R_i} = \frac{cn\hat{O}_a}{R_a + R_i}, \quad (8)$$

где  $R_v$  – внутреннее сопротивление тахогенератора;

$c$  – конструктивная постоянная генератора;

$n$  – скорость вращения якоря;

$\Phi_v$  – поток возбуждения.

Выходное напряжение тахогенератора

$$U_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}} = \frac{\hat{n}\hat{O}_a R_i}{R_a + R_i} n. \quad (9)$$

Величины, характеризующие параметры, входящие в числитель и знаменатель дроби выражения (8), постоянны. Поэтому можно записать:

$$U_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}} = k\omega, \quad (10)$$

где  $\omega$  – угловая частота вращения якоря, с-1;

$k$  – коэффициент преобразования тахогенератора.

$$k = \frac{30\hat{n}\hat{O}_a}{\pi} \frac{1}{1 + \frac{R_a}{R_i}}. \quad (11)$$

Уравнение (9), представляющее собой статическую характеристику тахогенератора, показывает, что напряжение на выходе тахогенератора пропорционально скорости вращения  $\omega$ .

Условие пропорциональности выполняется, если  $\Phi_v = \text{const}$ . Однако магнитный поток возбуждения может изменяться под действием реакции якоря.

Если щетки расположены в нейтрали (рис. 3), то продольная составляющая реакции якоря (намагничивающая и размагничивающая) равна нулю. Поперечная же составляющая реакции якоря, искажая распределение индукции на

поверхности якоря, изменяет величину магнитного потока лишь в том случае, если полюса и якорь находятся в стадии некоторого насыщения.

Напряжение на выходе тахогенератора будет линейной функцией от скорости вращения, если щетки тахогенератора будут находиться в нейтрали; полюса и якорь не будут насыщены; ток нагрузки не превысит значений, при которых под сбегающим краем полюса возникло бы насыщение из-за действия поперечной составляющей реакции якоря.

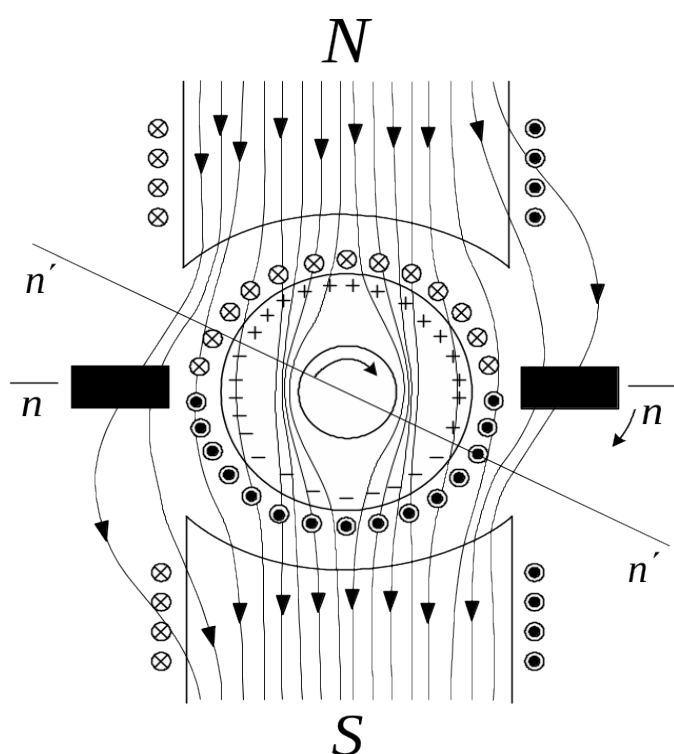


Рисунок 11. Принцип действия ТГПТ

На рисунке 10 приведена зависимость  $U_{\text{вых}} = f(\omega)$  при холостом ходе  $R_{\text{н}} = \infty$  и при некоторой нагрузке  $R_{\text{н}} < \infty$ . Отклонение характеристики 2 от линейного закона связано с тем, что при увеличении скорости вращения возрастает ток якоря, поперечные ампер-витки якоря под сбегающим краем полюса все больше увеличивают индукцию, которая при  $\omega > \omega_{\text{д}}$  достигает стадии насыщения, т.е. в дальнейшем изменяется непропорционально ампер-виткам. Под набегающим же краем полюса происходит уменьшение индукции пропорционально ампер-виткам. В результате магнитный поток уменьшается, и характеристика 2 отклоняется от линейного закона. Таким образом, каждому заданному

значению  $R_n$  соответствует определенный диапазон скорости от нуля до  $\omega_d$ , в пределах которого напряжение является линейной функцией скорости вращения. Причем этот диапазон возрастает с увеличением сопротивления нагрузки, коэффициент преобразования тахогенератора также при этом увеличивается.

Тахогенераторы постоянного тока имеют по сравнению с АТГ ряд преимуществ: выходной сигнал на постоянном токе позволяет создавать простую схему управления; при изменении направления вращения меняется полярность сигнала, что является дополнительной информацией для схемы управления; меньше габариты и масса, проще схема компенсации температурной погрешности.

ТГ постоянного тока бывают коллекторными и бесконтактными с полупроводниковым коммутатором. Основной недостаток коллекторных машин – нестабильность параметров, связанная с изменением переходного сопротивления скользящей контактной пары при внешних воздействиях. Бесконтактные ТГ имеют зону нечувствительности, повышенный уровень пульсаций и нелинейности выходного напряжения. Это связано с нелинейностью вольт-амперной характеристики элементов коммутатора при микротоках.

Кроме ТГ перечисленных типов применяются синхронные и индукторные ТГ.

#### **Контрольные вопросы:**

1. В каком случае напряжение на выходе тахогенератора будет линейной функцией?
2. Что из себя представляет асинхронный тахогенератор ?

### **Самостоятельная работа №11**

**Тема:** «Число степеней подвижности»

**Цель:** Научиться понимать значения чисел степеней подвижности.

Схема механизма, составленного из условных изображений звеньев и кинематических пар, называется структурной схемой механизма.

Кинематическая схема механизма (план механизма) отличается от структурной тем, что размеры и взаимное расположение звеньев вычерчиваются строго в масштабе.

Составив кинематическую схему механизма и определив число подвижных звеньев, число и типы кинематических пар, необходимо определить степень подвижности механизма.

Подвижность кинематической цепи – это определенность движения звеньев по отношению к одному из них – неподвижному звену, именуемому стойкой. Определенность движения звеньев предполагает строгую повторяемость их траекторий движения и является обязательным свойством кинематической цепи любого реального устройства, так как в противном случае управление устройством невозможно.

За обобщенную координату в плоских механизмах, как правило, принимают угол поворота входного звена  $\varphi$  и следовательно, если задавать ее изменение во времени, то можно получить вполне определенное движение звеньев такой кинематической цепи, называемой механизмом. Таким образом, количество входных звеньев определяется степенью подвижности механизма.

Понятие о степенях подвижности относится не к реальным механизмам, а к их идеализированным моделям. Идеализация состоит в том, что звенья механизма, являющиеся твёрдыми телами, считают абсолютно твёрдыми, жидкие звенья – несжимаемыми, гибкие – нерастяжимыми. Соединения звеньев (кинематические пары) также принимают идеальными (отсутствие зазоров в шарнирах, качение без скольжения во фрикционных передачах и т.п.). Для такого идеального механизма понятие «степень подвижности» равносильно принятому в теоретической механике понятию «число степеней свободы». (Числом степеней свободы является число независимых параметров, однозначно определяющих положение всех звеньев механизма в пространстве либо на плоскости).

Степень подвижности плоских механизмов определяется по формуле П.Л. Чебышева:

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_5 - p_4 \quad (12)$$

де:  $W$  – степень подвижности механизма;

$n$  – число подвижных звеньев механизма;

$p_5$  – число кинематических пар пятого класса;

$p_4$  – число кинематических пар четвёртого класса.

В кривошипно-ползунном механизме (Рис. 5) три подвижных звена: кривошип – 2, шатун – 3, ползун – 4 и три кинематические пары пятого класса: вращательные –  $O(1-2)$ ,  $A(2-3)$ ,  $B(3-4)$ , и поступательная пара  $B^*(4-1)$  т.е.  $n=3; p_5=4; p_4=0$ .

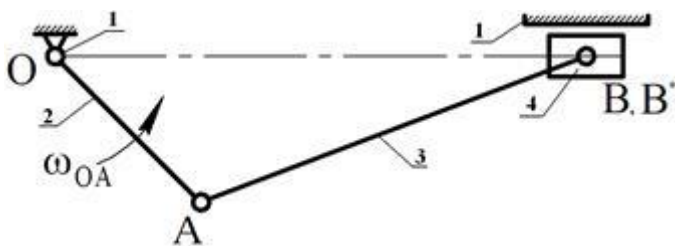


Рисунок 12 Схема кривошипно-ползунного механизма.

По формуле (12) получаем:  $W=1$ . В данном механизме одно входное звено.

### Структурная классификация механизмов

Структурной классификацией механизмов называется разделение их на группы и классы по общности структуры.

Впервые научно обоснованная, рациональная классификация плоских механизмов была предложена в 1914 году русским учёным Л.В. Ассуром. Дальнейшее развитие структурная классификация плоских механизмов получила в работах И.И. Артоболевского.

Классификация механизмов по Ассуру-Артоболовскому позволяет для механизмов, отнесённых к одному и тому же классу, применять методику кинематического и силового анализа, разработанную специально для этого класса механизмов.

Согласно этой классификации, механизм может быть образован путём присоединения к начальному звену (или начальным звеньям) и стойке некоторых кинематических цепей.

Каждое начальное звено, входящее в кинематическую пару со стойкой (вращательную или поступательную) условно называют начальным механизмом. Начальный механизм принято считать механизмом первого класса и первого порядка.

Примерами начальных механизмов являются механизмы электродвигателей и генераторов, центробежных насосов, вентиляторов молотов, гидро – и пневмоцилиндров.

Кинематические цепи, обладающие нулевой подвижностью относительно внешних кинематических пар и не распадающиеся на более простые цепи, удовлетворяющие этому условию, называются структурными группами Ассура.

Структурные группы Ассура не влияют на подвижность механизма, они изменяют его структуру и законы движения звеньев.

В группы Ассура входят только низшие кинематические пары, поэтому степень подвижности группы определится по формуле

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_5 = 0. \quad (13)$$

Отсюда следует, что зависимость числа кинематических пар  $P_5$  от числа звеньев  $n$  имеет вид:

$$n = \frac{2}{3} \cdot p_5. \quad (14)$$

Чтобы из механизма выделить структурные группы, необходимо помнить их основные признаки, вытекающие из определения:

а) число звеньев в группе Ассура должно быть чётным, а число кинематических пар кратно трём,

- б) степень подвижности группы всегда равна нулю;
- в) степень подвижности оставшейся части механизма при отсоединении групп Ассур не должна изменяться.

### **Контрольные вопросы:**

1. Назовите основные признаки структурных групп?
2. то понимают за обобщенную координату в плоских механизмах?

## **Самостоятельная работа № 12**

**Тема:** «Решение прямой и обратной задачи о скорости манипулятора».

**Цель:** Научиться понимать разницу между прямой и обратной задачей скорости манипулятора.

В робототехнике, есть две основные задачи кинематики: прямая и обратная.

Таким образом, решение прямой задачи говорит о том, где будет находиться рабочий орган манипулятора, при заданных углах его суставов, а обратная задача – как нужно «вывернуться» манипулятору, чтобы его рабочий орган оказался в заданном положении.

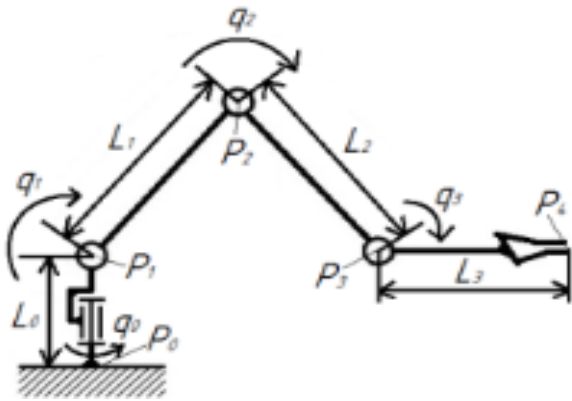
Прямая задача - это определение положений звеньев манипулятора при заданных углах поворота соединений и размеров звеньев.

Обратная задача - это определение углов поворота при заданных координатах положения рабочей точки манипулятора

Таким образом, решение прямой задачи говорит о том, где будет находиться рабочий орган манипулятора, при заданных углах его суставов, а обратная задача – как нужно «вывернуться» манипулятору, чтобы его рабочий орган оказался в заданном положении.

Пред решением задач составим структурную схему (Рис. 3.3) с нужными для решения обозначениями.





**Рисунок 13 Структурная схема с обозначениями**

В данной схеме:  $q_0, q_1, q_2$  - углы поворота;

$L_0, L_1, L_2, L_3$  - длины звеньев;

$P_0, P_1, P_2, P_3, P_4$  - точки положения звеньев

Все вычисления для прямой и обратной задач проводились в среде Mathcad.

Решение прямой задачи: задаём углы и расстояния:

$$q_0 := 65 \frac{\pi}{180} \quad q_1 := 15 \frac{\pi}{180} \quad q_2 := 35 \frac{\pi}{180}$$

Задаём длины звеньев, мм:

Матрицы переноса:

$$A_{L0} := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A_{L1} := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A_{L2} := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & L_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A_{L3} := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & L_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Матрицы поворота:

$$Aq0 := \begin{pmatrix} \cos(q0) & -\sin(q0) & 0 & 0 \\ \sin(q0) & \cos(q0) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Aq1 := \begin{pmatrix} \cos(q1) & 0 & \sin(q1) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(q1) & 0 & \cos(q1) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad Aq2 := \begin{pmatrix} \cos(q2) & 0 & \sin(q2) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(q2) & 0 & \cos(q2) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Al1 := \begin{pmatrix} \cos(q3) & 0 & \sin(q3) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(q3) & 0 & \cos(q3) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Вычисление матриц положения точек:

$$A0 := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Координаты точек манипулятора:

$$X := \begin{pmatrix} A0_{0,3} \\ A1_{0,3} \\ A2_{0,3} \\ A3_{0,3} \\ A4_{0,3} \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} A0_{1,3} \\ A1_{1,3} \\ A2_{1,3} \\ A3_{1,3} \\ A4_{1,3} \end{pmatrix} \quad Z := \begin{pmatrix} A0_{2,3} \\ A1_{2,3} \\ A2_{2,3} \\ A3_{2,3} \\ A4_{2,3} \end{pmatrix}$$

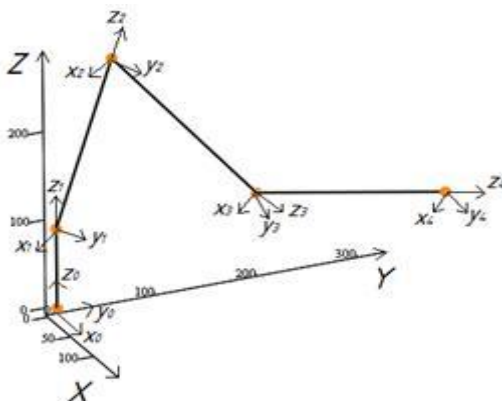


Рисунок 14 Решение прямой задачи

Рабочее пространство промышленного робота – пространство, в котором может находиться мехатронное устройство.

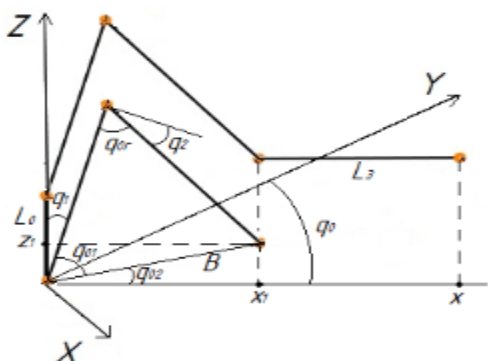
Рабочая зона мехатронного устройства – это пространство, в котором находится его рабочий орган (например рука) при всех возможных положениях звеньев. Форма рабочей зоны зависит от числа степеней подвижности манипулятора и используемой системы координат, в которой осуществляется движение рабочего органа. В промышленном роботе используются прямоугольная, цилиндрическая, сферическая, угловая системы координат и их комбинации.

Рабочая зона ограничивается сложной поверхностью огибающая все возможные положения. Рабочая зона оценивается объёмом формы, которые определяют функциональные возможности манипулятора. Знание границ рабочей зоны необходимо для сравнительной оценки двигательных возможностей различных конечностей манипулятора.

Для выявления рабочей зоны необходимо:

1. Структурная компоновка схемы, то есть число, взаимно расположенных степеней подвижности.
2. Ограничение на перемещение по степеням подвижности.
3. Геометрические размеры звеньев кинематической цепи манипулятора.

Для наглядного представления решения обратной задачи показана геометрическая схема на рисунке 15.



**Рисунок 15** Решение обратной задачи

Решение обратной задачи:

Задаём длины звеньев, мм:

Задаём координаты положения точки схвата:

$$x := A4_{0,3} = 148 \quad y := A4_{1,3} = 317 \quad z := A4_{2,3} = 130$$

Решение задачи:

Находим проекцию точки P4 на плоскость OXY:

$$x := \sqrt{x^2 + y^2}$$

Находим проекцию точки P3 на плоскость OXY:

Смещаем вниз координату z точки P3 на длину L0:

Находим расстояние между началом координат и точкой P3:

$$B := \sqrt{x1^2 + z1^2}$$

Находим угол q0:

$$Q0 := a \sin\left(\frac{y}{x}\right) = 1.134$$

1 ое и 2 ое звенья и отрезок B образуют треугольник, т.к. мы знаем их длины, то можем определить углы этого треугольника по формулам:

Найдём угол q01:

$$q01 := a \cos\left(\frac{L1^2 + B^2 - L2^2}{2 \cdot B \cdot L2}\right) = 1.091$$

Найдём угол q0r:

Найдём угол q02:

$$q0r := a \cos\left(\frac{L1^2 + L2^2 - B^2}{2 \cdot L1 \cdot L2}\right) = 0.96 \quad q02 := a \sin\left(\frac{z1}{B}\right) = 0.218$$

Найдя углы треугольника можно определить углы поворотов звеньев:

$$Q1 := \frac{\pi}{2} - q01 - q02 \quad Q2 := \frac{\pi}{2} - q0r$$

Найдём значения углов в градусах:

$$q0 := Q0 \frac{180}{\pi} = 65 \quad q1 := Q1 \frac{180}{\pi} = 15 \quad q2 := Q2 \frac{180}{\pi} = 35$$

Решение показывает, что подставив значения координат из решения прямой задачи в обратную задачу и решив её, получим значения углов такие же как задавали в прямой задачи, что подтверждает правильность решения этих задач.

**Контрольные вопросы:**

1. Основные принципы прямой задачи?
2. Основные принципы обратной задачи?

## Заключение

Образовательное учреждение исходя из установленных объемов максимальной и обязательной учебной нагрузки самостоятельно определяет объем самостоятельной работы по каждой дисциплине, междисциплинарному курсу и профессиональному модулю.

Самостоятельная работа обучающихся в соответствии с ФГОС составляет не менее 50% времени, предусмотренного для выполнения основной профессиональной образовательной программы.

Одной из форм, помогающих решить проблему качественной подготовки специалиста, являются продуманные и систематизированные, логически и целенаправленно разработанные задания и упражнения для самостоятельной работы, в которых перед ними последовательно выдвигаются познавательные задачи, решая которые они осознанно и активно усваивают знания и учатся творчески применять их в новых условиях:

- наблюдение за единичными объектами подразумевает более или менее длительное восприятие с целью выявить отличительные признаки объектов; сравнительно-аналитические наблюдения стимулируют развитие произвольного внимания у обучающихся, углубление в учебную деятельность;

- конструирование заставляет глубже проникнуть в сущность предмета (проблемы), найти взаимосвязи в учебном материале, выстроить их в нужной логической последовательности, сделать после изучения темы достоверные выводы; решение задач способствует запоминанию, углублению и проверке усвоения знаний обучающихся, формированию отвлечённого мышления, которое обеспечивает осознанное и прочное усвоение изучаемых основ;

- работа с источниками информации способствует приобретению важных умений и навыков, а именно: выделять главное, устанавливать логическую связь, создавать алгоритм и работать по нему, самостоятельно добывать знания, систематизировать их и обобщать; исследовательская деятельность – венеч самостоятельной работы обучающихся.

Формы самостоятельной работы определяются содержанием учебной дисциплины, степенью подготовленности обучающихся. Они тесно связаны с теоретическими курсами и имеют учебный, учебно-исследовательский характер. Форму самостоятельной работы обучающихся определяют преподаватели при разработке рабочих программ учебных дисциплин, профессиональных модулей, междисциплинарных курсов. Самостоятельную работу необходимо организовывать во всех звеньях учебного процесса, в том числе и в процессе усвоения нового материала. Обучающимся необходимо прививать активную позицию, делать их непосредственными участниками процесса познания.

Организация самостоятельной работы способствует развитию мотивации получения знаний обучающихся. Самостоятельная работа носит целенаправленный, чётко сформулированный характер. Содержание самостоятельной работы обеспечивает полный и глубокий комплекс заданий. В ходе самостоятельной работы обеспечивается сочетание репродуктивной и продуктивной учебной деятельности обучающихся.

При организации самостоятельной работы предусмотрена адекватная обратная связь, т.е. правильно организована система контроля.

Данный подход к разработке материала для самостоятельной работы обучающихся позволяет творчески подойти к подготовке занятий, выявить возможности изучаемого материала, создавая тем самым условия для саморазвития личности обучающихся.

## Библиографический список

1. Лукинов, А.П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств.: учеб. пособие / А. П. Лукинов. - СПб.: Лань, 2016. - 605 с.
2. Козырев, Ю.Г. Захватные устройства и инструменты промышленных роботов: учеб. пособие/ Ю. Г. Козырев. - М.: КноРус, 2019. - 311 с.
3. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы: основные типы и технические характеристики: учебник. – М.: КноРус, 2015. – 560 с.
4. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение: учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 2018. – 256 с.
5. Выжигин А.Ю. Гибкие производственные системы: учеб. пособие. М.: Машиностроение, 2015. 288 с.

Дополнительные источники:

1. Гудинов, В.Н. История мехатроники и робототехники: введение в специальность : конспект лекций / В. Н. Гудинов, В. Г. Хомченко ; ОГТУ. - Омск : Изд-во ОмГТУ, 2018. - 51 с.
2. Тугенгольд, А.К. Искусственный интеллект и интеллектуальное управление в мехатронике : учеб. пособие / А. К. Тугенгольд ; ДГТУ; ред. В.Ф. Лавриненко. - Ростов н/Д : ИЦ ДГТУ, 2016. - 145 с.
3. Интеллектуальные роботы: учебное пособие для вузов /под общей ред. Е.И. Юревича / И.А. Каляев, В.М. Лохин, И.М. Макаров и др. – М.: Машиностроение, 2017. – 360 с.:

Интернет- ресурсы:

<http://fcior.edu.ru/> - Федеральный центр информационно- образовательных ресурсов

<http://www.edu.ru/> - Федеральные образовательные ресурсы