

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Факультет технологии и предпринимательства

ОСНОВЫ РОБОТОТЕХНИКИ

Учебное пособие для студентов вузов

Новосибирск 2019

УДК 658.527.011
ББК 34.68 -05
С884

Рекомендовано учебно-методическим советом факультета технологии и предпринимательства ФГБОУ ВО «Новосибирского государственного педагогического университета» в качестве учебного пособия для студентов вуза.

Рецензенты

канд. пед. наук, доц., директор ГАУ ДПО НСО "Новосибирский центр развития профессионального образования", руководитель Регионального координационного центра WorldSkills Новосибирской области

А.М. Лейбов

канд. пед. наук, доц., заведующий кафедрой информационных, сервисных и общетехнических дисциплин ФГБОУ ВО «НГПУ»

И.В. Сартаков

Ступина Е.Е., Ступин А.А., Чупин Д.Ю., Каменев Р.В.

С884 Основы робототехники: учебное пособие. — Новосибирск: Агентство «Сибпринт», 2019. — 160 с.

ISBN 978-5-94301-769-8

В пособии даются основные понятия и определения роботов и робототехнических устройств, их классификация, области применения и виды. Рассмотрены основы проектирования робототехнических устройств, элементы робототехнических конструкций, архитектура управления, датчики, применяемые в робототехнике, навигация робототехнических устройств, экзотические роботы в образовании.

Материал предназначен как для студентов непрофильных направлений, где может быть использован как учебное пособие по общему курсу робототехники, так и для студентов, специализирующихся в области робототехники, где может служить основным литературным источником для первой специальной дисциплины, за которой последует цикл специальных курсов, соответствующих основным ее разделам.

Текст печатается в авторской редакции.

ББК 34.68 -05

Чупин Д.Ю. - победитель конкурса

Стипендиальной программы Владимира Потанина 2017/2018

Издано на средства гранта Благотворительно фонда В. Потанина

ISBN 978-5-94301-769-8

© Оформление. ФГБОУ ВО «НГПУ», 2019

ВВЕДЕНИЕ

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

Роботостроение сегодня – довольно развитая отрасль промышленности: огромное количество роботов выполняют работу на различных предприятиях, изучение космического пространства или подводных глубин уже не обходится без использования робототехнических манипуляторов подводных или летательных аппаратов с высоким уровнем интеллекта.

Робототехника развивается благодаря высоким технологиям в качественно иной информационной среде, для функционирования которой необходимо заниматься вопросами подготовки профессионалов в области робототехники, через процессы обучения, дообучения, переобучения участников всех образовательных уровней.

На факультете технологии и предпринимательства Новосибирского государственного педагогического университета, традиционно готовившем специалистов в области технологии и предпринимательства, профессионального обучения, педагогического образования уже на протяжении тринадцати пяти лет успешно реализуются востребованные сегодня на рынке труда, направления подготовки в области информационных технологий и образовательной робототехники.

Данное издание предназначено как для студентов непрофильных направлений, как учебное пособие по общему курсу робототехники. И для студентов, специализирующихся в области робототехники, где данное пособие должно служить основным литературным источником для первой специальной дисциплины, за которой последует цикл специальных курсов, соответствующих основным ее разделам.

РАЗДЕЛ 1 ВВЕДЕНИЕ В ОСНОВЫ РОБОТОТЕХНИКИ

1.1 Определение роботов

Робототехника – это современная наука, использующая постоянные достижения машиностроения, материаловедения, изготовления сенсоров, технологий производства и передовых алгоритмов. Изучение робототехники откроет любителю или профессионалу новые возможности в применении робототехнических проектов в различных областях деятельности. Практическое применение роботов стимулирует развитие робототехники и приводит в движение процесс достижений в других областях науки.

Сегодня роботы добывают полезные ископаемые, собирают комплектующие материалы в автомобили. В ближайшем будущем появятся автомобили с автоматическим управлением, робототехнические устройства для выполнения домашних обязанностей и сборки специализированного оборудования под определенные требования.

Робот – это мехатронное устройство, которое включает в себя следующие компоненты:

1. Датчики.
2. Сервопривод.
3. Система управления.
4. Изобретательность или автономность.

Международный стандарт ISO 8373:2012 определяет робота как приводной механизм, программируемый по двум и более осям, имеющий некоторую степень автономности, движущийся внутри своей рабочей среды и выполняющий предназначенные ему задачи.

Для лучшего понимания того, что есть робот, приведем функциональное определение (определение STA, рисунок 1): роботом можно назвать любое устройство (механизм), выполняющее предназначенные ему действия, одновременно отвечающие трем условиям.

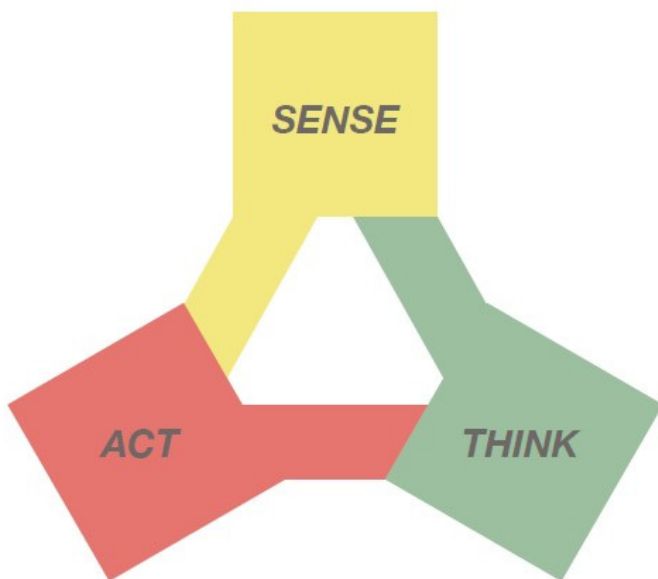


Рисунок 1. Определение STA

1. **SENSE**: воспринимать окружающий мир с помощью сенсоров. Такими сенсорами могут быть микрофоны, камеры (всех областей электромагнитного спектра), различные электро-механические сенсоры и прочее.

2. **THINK**: понимать окружающий физический мир и строить модели поведения, для того чтобы выполнять предназначенные ему действия.

3. **ACT**: воздействовать на физический мир, тем или иным способом.

Если одно из вышеперечисленных условий не выполняется, то устройство не является роботом.

К примеру, автономное транспортное средство можно отнести к робототехнике. Робот-автомобиль обладает сенсорами (**SENSE**), строит модели, понимает окружающий мир и принимает решения (**THINK**) и совершает необходимые действия, чтобы двигаться, выполняя свою задачу (**ACT**) (перевезти пассажиров или груз).

Такой робот работает в невероятно сложной, недетерминированной среде, в которой постоянно возникает громадное количество непредвиденных ситуаций.

Робот-манипулятор на фабрике имеет простейший сенсор (*SENSE*) (одномерный лазерный дальномер), который контролирует выполнение модели операции (*THINK*) и производит необходимое действие (*ACT*), например сварку. Эти роботы-автоматы работают в строго детерминированной среде, в которой построенная модель не меняется долгое время.

С другой стороны, устройство, которое может воспринимать окружающий мир (*SENSE*) и действовать (*ACT*), но при этом не имеет никакой модели окружающего мира, можно отнести к автоматизации. Широко распространенный пример такого устройства — кофейный автомат.

Исходя из данного определения, правильнее всего называть современную, передовую робототехнику интеллектуальной.

1.2 Типы роботов

Промышленные роботы (ПТ) предназначены для выполнения двигательных и управляющих функций в производственном процессе. Манипуляционный робот – автоматическое устройство, состоящее из манипулятора и перепрограммируемого устройства управления, которое формирует управляющие воздействия, задающие требуемые движения исполнительных органов манипулятора [1]. Они позволяют значительно автоматизировать процесс конвейерного производства, что, в свою очередь, позволяет увеличить производительность труда, уменьшить издержки производства, а также ослабить влияние человеческого фактора, за счет чего повысится конкурентоспособность.

В зависимости от рода выполняемой роботами работы выделяют:

1. *Литейные* — предназначены для отливки изделий расплавленным материалом, в том числе и 3D принтеры. Главной технологической сложностью при разработке являются высокие температуры при плавлении. 2. *Роботы для механических обработок* — используются при обработке изделий с помощью механического воздействия с применением режущего инструмента, кузнечных работах, а также прессовки и штамповки.

3. *Сборочные* — в большинстве случаев это манипуляторы использующие различные инструменты, как для механического соединения, так и для пайки электронных компонентов.

4. *Окрасочные* — используются для автоматического нанесения лакокрасочного покрытия, а также последующей полировки изделия.

5. *Строительные* — предназначены для автоматизации строительства, а также добычи ресурсов, сюда входят и роботизированные средства доставки строительных материалов и машины для постройки различных объектов.

6. *Фасовочно-сортировальные* — используются для проверки качества продукта, его сортировки и фасовки в упаковку, в большинстве случаев это последний этап автоматизации на конвейерах, не считая средств доставки изделий потребителям.

7. *Транспортные* — к этому классу относятся любые роботизированные средства доставки грузов, наиболее распространёнными среди них являются конвейерные.

8. *Сельскохозяйственные* — роботы, основной задачей которых является автоматизация сельскохозяйственного производства, например, оросители, комбайны, трактора и др.

Бытовые роботы — роботы, предназначенные для помощи человеку в повседневной жизни.

Выделяем следующие классы:

1. *Транспортные роботы* — используются для перевозки пассажиров и грузов в автоматическом режиме.

2. *Умный дом* — интеллектуальная, роботизированная система, главной задачей которой является автоматизация и согласование всех систем жизнеобеспечения и безопасности.

3. *Робот-помощник* — универсальный класс роботов способных на физическую и интеллектуальную помощь хозяину.

4. *Робот-домохозяйка* — класс роботов выполняющих повседневную работу в доме, к нему относятся роботы-повара, пылесосы, мойщики окон, посудомойки, очистители воздуха, автокормушки, уборщики бассейнов и др.

Социальные роботы — роботы, способные в автономном или полуавтономном режиме взаимодействовать и общаться с людьми в общественных местах или домах.

1. *Роботы члены семьи* — устройства, способные практически полностью «влиться» в состав семьи, способны передвигаться по дому, взаимодействовать с окружающими.

2. *Роботы-животные* — устройства, заменяющие домашних животных, способны копировать их движения и звуки.

3. *Роботы-игрушки* — средства развлечения детей, способствующие их обучению различным навыкам и знаниям.

Медицинские роботы — роботы, созданные для выполнения медицинских манипуляций под управлением человека.

1. *Роботы-хирурги* — применяются для хирургического лечения заболеваний и травм, кроме выполнения роли хирурга, могут выполнять функции ассистента при операциях.

2. *Роботы-фармацевты* — способны изготавливать и раздавать лечебные препараты пациентам.

3. *Роботизированные протезы* — предназначены для замены утраченных или необратимо повреждённых частей тела искусственными роботизированными устройствами.

4. *Роботизированные трансплантаты* — используются для замены поврежденных или не функционирующих органов и тканей на роботизированные устройства, способными действенно их заменить.

5. *Роботы-сиделки* — способны заменить работников младшего медицинского персонала при уходе за больными.

6. *Роботизированные симуляторы пациентов* — предназначены для практического обучения и отработки навыков медицинских специалистов.

7. *Роботы-диагносты* — способны на основе данных анамнеза поставить диагноз и назначить лечение.

Исследовательские роботы — это устройства для проведения различных исследований, в том числе и возможностей использования роботов для выполнения различных функций. К ним относятся многочисленные приборы как автоматического, так и полуавтоматического плана. По средам использования различают:

1. *Космические* — используются для проведения исследований в условиях космоса, к ним можно отнести различные исследовательские спутники.

2. *Наземные* — предназначены для проведения исследований на поверхности земли, в случае проведения исследований на других планетах, роботов называют планетоходами.

3. *Подземные* — способны проводить исследования под поверхностью почвы, или непосредственно под грунтом или же в пещерах и гротах.

4. *Морские* — устройства для проведения исследований в надводном или подводном положении.

Боевые роботы — это многофункциональные технические устройства с антропоморфным (человекоподобным) поведением, частично или полностью выполняющие функции человека при решении определенных боевых задач. Позволяет заменить человека при выполнении боевых задач, сохранить ему жизнь, а также выполнить задачи, несовместимые с его возможностями. По средам использования различают:

1. *Воздушные БПЛА (Беспилотный летательный аппарат)* — предназначены для выполнения воздушных миссий, таких как наблюдение и разведка, координация нанесения ударов по противнику, создание рядом с собой беспроводных сетей связи.

2. *Сухопутные* — к этому классу относятся наземные боевые машины, это беспилотные военные автомобили, системы разведки, охранные системы, роботы-сапёры, а также полноценные боевые комплексы.

3. *Морские* — этот класс объединяет роботизированные устройства надводного и подводного типа, основными задачами которых является разведка, сопровождение, патрулирование и поиск мин.

Также классифицируются способы передвижения роботов:

1. *Колёсный способ* — наиболее распространённый способ передвижения, который в зависимости от числа используемых колёс можно разделить на подклассы. Преимуществом использования малого (от 1 до 2) количества колёс может служить простота конструкции и отличная манёвренность, с другой стороны, увеличение числа колёс расширяет площадь контакта с поверхностью, что способствует значительному улучшению проходимости. 2. *Гусеничный способ* — чаще всего применяется в боевых роботах, так как использование гусениц значительно повышает проходимость на пересечённой местности.

3. *Шагающий способ* — использование для передвижения аналоги ног повышает сложность проектирования, вместе с тем современные технологии не позволяют достичь устойчивости, приближенной к человеческой.

4. *Передвижение по воздуху* — к нему относятся так называемые БПЛА, ракеты, а также самолёты и вертолёт, оснащённые автопилотом.

5. *Плавающий способ* — использующий для передвижения гребные винты или силы ветра, способные передвигаться над и под водой, к этому способу относятся БППА (беспилотный плавающий аппарат) а также корабли, оснащенные автопилотом.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое робот?
2. Из каких основных элементов состоит робот?
3. Где применяется робототехника?
4. На какие группы можно разбить роботы по назначению?
5. Перечислите виды роботов и чем они отличаются друг от друга?
6. Какие параметры определяют технический уровень роботов?

РАЗДЕЛ 2 ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

2.1 Области знаний для робототехнического проектирования

Робототехника охватывает знания множества научных и инженерных дисциплин. Поэтому, когда планируется разработка робота, необходимо обладать некоторыми базовыми знаниями в этой области. В том числе размеры и сложность функционала робототехнического устройства влияет на объем этих знаний. Например, для разработки робота небольшого размера с простым функционалом, будет достаточно базовых знаний по робототехнике, а уже для робота размером с обувную коробку потребуются дополнительные знания в области электроники, программирования, по механике твердого тела для реализации баланса устройства.

Конечно, не нужно знать все по всем этим дисциплинам, но знания основ робототехники поможет в создании лучших роботов и предотвратит возможные ошибки новичка в робототехнике.

Рассмотрим, в каких областях наук потребуются знания для робототехники.

Механика (от греч. *mechaniké (téchne)*) — наука о машинах, искусство построения машин), наука о механическом движении материальных тел и происходящих при этом взаимодействиях между телами.

В робототехнике знания по механике нужны, чтобы понимать физические явления:

- как передаются силы между различными частями конструкции
- где находится центр тяжести
- трение
- положение, скорость, ускорение тела
- законы Ньютона
- инерция
- свойства материалов.

Знания по механике помогут реализовать процесс удерживания робота в равновесии. Хотя возможно построить робота, ничего не зная о механике, но невозможно без знаний механики сделать робота, который будет устойчив при наклонах и поворотах. Еще один пункт приложения знаний механики — оси. Например, конструируя небольших роботов, можно прикрепить колеса непосредственно к выходному валу двигателя. Однако это не работает для больших роботов, так как это создает большую нагрузку на внутренние части

двигателя. Лучший способ – прикрепить колесо к оси и использовать шестерни для подключения двигателя к оси. Знание механики позволяет строить такие конструкции. Если робот небольшого размера, то подойдет практически любой материал для его изготовления. Если робот весит несколько килограмм, лучше использовать более крепкие материалы, а не картон. И если робот размером с человека, то нужно применить металлическую или композитную конструкцию при проектировании.

Электроника (от греч. Ηλεκτρόνιο «электрон») — область науки и техники, занимающаяся созданием и практическим использованием различных устройств и приборов, работа которых основана на изменении концентрации и перемещении заряженных частиц (электронов) в вакууме, газе или твердых кристаллических телах, и других физических явлениях/

В робототехнике знания по электронике необходимы, чтобы понимать функционирование:

- электронных компонентов
- аналоговых схем
- цифровой логики
- микроконтроллеров.

Электроника – это то, без чего в современном мире практически невозможно обойтись, если только не планируется создать полностью механического робота или использовать пневматику для управления.

Компьютерное программирование – это процесс написания перечня команд, которому должно следовать компьютерное устройство при решении возложенных на устройство задач. Перечень команд, называемый программой, должен быть весьма подробным, так как компьютерное устройство не может думать самостоятельно.

В робототехнике знания по компьютерному программированию нужны, чтобы понимать следующие явления:

- управляющие структуры (последовательность, выбор, итерация)
- типы данных (константы, переменные, целые, вещественные, строковые и пр.)
- алгоритмы
- аппаратное управление (установка и чтение регистров, прерываний и пр.)
- логика.

Проектирование робота требует предварительной оценки баланса между размерами (весом), мощностью мотора и аккумулятором. Эти три элемента связаны друг с другом (большая емкость аккумулятора увеличивает вес робота и требует более мощных двигателей), а для нахождения «идеального» баланса требуется много настроек и экспериментов. Предварительно требуется описать тяжелые компоненты на выходе / массу (например, двигатели: крутящий момент / кг; батареи: мАч / кг) и выбрать тот вариант, который дает лучшее значение. Использование легких материалов значительно снижает вес (например, алюминий вместо стали). Создание каркаса из легкого металла и использование пластиковых пластин в качестве поверхностей было бы намного легче, чем использование металлических пластин. Для маленьких роботов акриловый пластик – это хороший материал, с которым легко работать.

Существуют и другие способы создания робота, чем самостоятельный подбор материалов, их резка и сверление. Например, с помощью конструкторов Lego Technic и Мессано, которые являются альтернативой, когда нет возможности резать и сверлить свои собственные детали. Этот комплект оснащен всем необходимым, чтобы начать работу с роботами.

2.2 Теоретические основы проектирования мехатронных систем

Проектирование технического объекта – создание, преобразование и представление в принятой форме образца этого, еще не существующего, объекта.

Инженерное проектирование начинается при наличии выраженной потребности в некоторых технических объектах. Результатом проектирования, как правило, служит полный комплект документации, содержащей сведения, достаточные для изготовления объекта в заданных условиях. Эта документация и есть проект – окончательное описание объекта. Проектирование предполагает выполнение комплекса работ исследовательского, расчетного и конструкторского характера. Проектирование, при котором все проектные решения или их часть получают путем взаимодействия человека с ЭВМ, называется автоматизированным. Система, реализующая автоматизированное проектирование, представляет собой систему автоматизированного проектирования – САПР (CAD – Computer Aided Design). Процесс проектирования имеет две основные особенности. Во-первых, состав и последовательность его этапов не зависят от целевого назначения проекта. Во-вторых, логика процесса проектирования инвариантна к способу проектирования – традиционному или автоматизированному.

Собственно, *проектирование* – в самом широком смысле процесс создания проекта, комплекса информации, описывающей прообраз предполагаемого или возможного объекта либо процесса. Проектирование в технике – комплекс мероприятий, обеспечивающих поиск технических решений, удовлетворяющих заданным требованиям, их оптимизацию и реализацию в виде комплекта конструкторских документов и опытного образца (образцов), подвергаемого циклу испытаний на соответствие требованиям технического задания.

Любое современное сложное техническое устройство есть результат комплексного знания. Проектировщик должен знать маркетинг, экономику страны и мира, физику явлений, многочисленные технические дисциплины (радиотехнику, вычислительную технику, математику, машиностроение, метрологию, организацию и технологию производства и т. д.), условия эксплуатации изделия, руководящие технические документы и стандарты. Кроме того, следует учитывать: особенности и требования реальной жизни, коллектива, чужой опыт, умение получать и оценивать информацию.

Не последним требованием к проектировщику является комплексность мышления, умение работать с большим числом организаций. Особенно это умение необходимо разработчику изделия, входящего в более сложный комплекс (например, радиостанции для судна, самолета) или связанного с другими системами (по выдаче данных, питанию, управлению и т. д.).

Зачастую полный цикл проектирования называют НИОКР (Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, в английском языке передается как Research & Development, R&D) – комплекс мероприятий, включающий в себя как научные (дизайнерские, концептуальные и т. д.) исследования, так и производство опытных и мелкосерийных образцов продукции, предшествующий запуску нового продукта или системы в промышленное производство.

Создание и использование технического объекта – сложный, многостадийный, часто итеративный процесс. В самом общем виде его можно представить диаграммой на Рисунок 2.

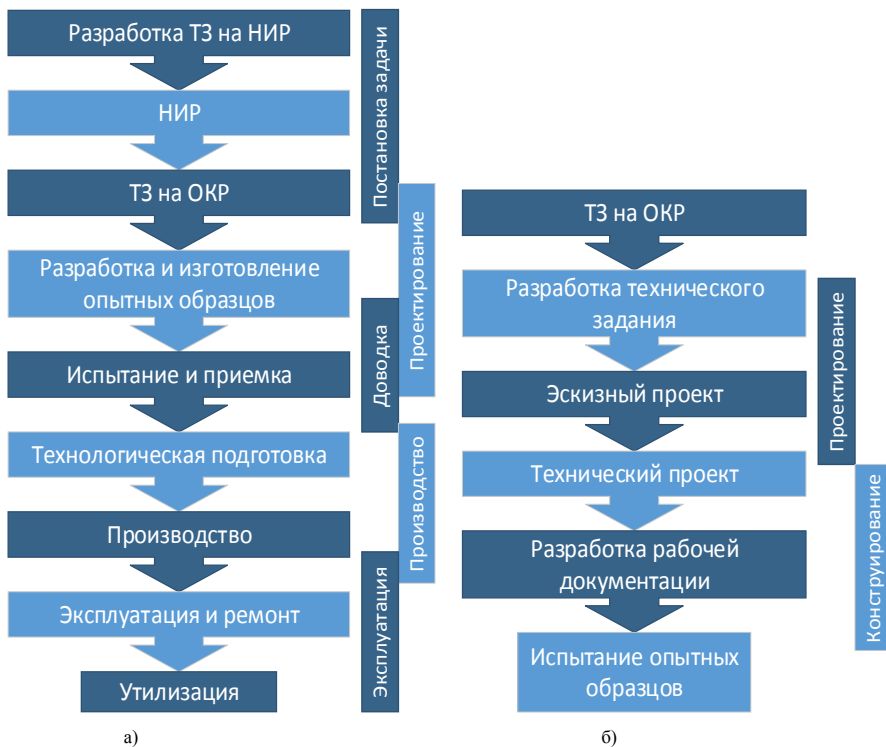


Рисунок 2.

- а – Жизненный цикл изделия
- б – Этапы опытно конструкторских работ

Системный подход к проектированию

Наиболее общим подходом к проектированию является **системный подход**. Принцип системного подхода заключается в рассмотрении частей сложной системы с учетом их взаимодействия. Системный подход включает в себя выявление структуры системы, типизацию связей, определение свойств (атрибутов) системы, анализ влияния внешней среды.

В технике дисциплину, в которой исследуются сложные технические системы и их проектирование, чаще всего называют системотехникой (вместо «теории систем» или «системного анализа»). Предметом системотехники является, во-первых, организация процесса создания, использования и развития технических систем, а во-вторых, методы их проектирования и исследования. В системотехнике можно выделить три основных подхода к процессу проектирования: **структурный**, **блочно-иерархический** и **объектно-ориентированный**.

При структурном подходе требуется синтезировать варианты системы из компонентов (блоков, модулей) и оценить эти варианты (предварительно спрогнозировав характеристики компонентов). Он основан на идее алгоритмической декомпозиции, где каждый блок (модуль) системы выполняет один из этапов общего процесса.

Блочный-иерархический подход к проектированию использует идеи декомпозиции описания сложных объектов на иерархические уровни, вводит понятие стиля проектирования (восходящее, нисходящее), устанавливает связь между параметрами соседних иерархических уровней. При блочно-иерархическом подходе к проектированию представление о проектируемой системе расчлениают на иерархические уровни. На верхнем уровне используют только самые общие черты и особенности проектируемой системы. На следующих – степень подробности описания возрастает (при этом рассматриваются уже отдельные блоки системы с учетом их взаимодействия), что позволяет на каждом иерархическом уровне формулировать задачи приемлемой сложности.

Объектно-ориентированный подход рассматривает сложную систему как совокупность взаимодействующих друг с другом объектов, каждый из которых является экземпляром определенного класса. Такой подход наиболее перспективен при проектировании сложных систем.

При использовании любого из трех описанных выше подходов к проектированию сам процесс проектирования разбивается на отдельные стадии проектирования.

Техническое задание на НИР и проведение НИР

Задачами этапа НИР (научно-исследовательских работ) являются: разрешение конкретных научных проблем для создания новых изделий; получение рекомендаций, инструкций, расчетно-технических материалов, методик; определение возможности проведения ОКР (опытно-конструкторских работ) по тематике НИР.

На стадии разработки технического задания на НИР используются и обрабатываются следующие виды информации: объект исследования; описание требований к объекту исследования; перечень функций объекта исследования общетехнического характера; перечень физических и других эффектов, закономерностей и теорий, которые могут быть основой принципа действия изделия; технические решения (в прогнозных исследованиях); сведения о научно-техническом потенциале исполнителя НИР; сведения о производственных ресурсах (применительно к объекту исследований); сведения

о материальных ресурсах; маркетинговые сведения; данные об ожидаемом экономическом эффекте.

Дополнительно может использоваться следующая информация: методы решения отдельных задач и обработки информации; общетехнические требования (стандарты, ограничения вредных влияний, требования по надежности, ремонтпригодности, эргономике и т. д.); проектируемые сроки обновления продукции; предложения лицензий и «ноу-хау» по объекту исследований.

На последующих этапах НИР в качестве базы в основном используется уже перечисленная выше информация. Дополнительно используются: сведения о новых принципах действия, новых гипотезах, теориях, результатах НИР; данные экономической оценки, моделирования основных процессов, оптимизации многокритериальных задач, макетирования, типовых расчетов, ограничений; требования к информации, вводимой в информационные системы, и т. д.

По итогам выполнения НИР производятся: обобщение результатов предыдущих этапов работ; оценка полноты решения задач; разработка рекомендаций по дальнейшим исследованиям и проведению ОКР; разработка проекта ТЗ на ОКР; составление итогового отчета; приемка НИР комиссией.

Результатом НИР является достижение научного, научно-технического, экономического и социального эффектов. Научный эффект характеризуется получением новых научных знаний и отражает прирост информации, предназначенной для «внутринаучного» потребления. Научно-технический эффект характеризует возможность использования результатов выполняемых исследований в других НИР и ОКР и обеспечивает получение информации, необходимой для создания новой продукции. Экономический эффект характеризует коммерческий эффект, полученный при использовании результатов прикладных НИР. Социальный эффект проявляется в улучшении условий труда, повышении экономических характеристик, развитии культуры, здравоохранения, науки, образования.

Порядок выполнения и эффективность ОКР

После завершения прикладных НИР при условии положительных результатов экономического анализа, удовлетворяющего фирму с точки зрения ее целей, ресурсов и рыночных условий, приступают к выполнению опытно-конструкторских работ (ОКР). ОКР - важнейшее звено материализации результатов предыдущих НИР. Ее основная задача - создание комплекта конструкторской документации для серийного производства. ОКР, собственно, и является этапом проектирования изделия.

Основные этапы ОКР достаточно четко регламентируются, в частности на территории Российской Федерации - стандартом ГОСТ 15.001-88 «Система раз работки и постановки продукции на производство. Продукция производственно технического назначения», и представляют из себя следующее: разработка ТЗ на ОКР; техническое предложение; эскизное проектирование; техническое проектирование (конструирование); разработка рабочей документации для изготовления и испытаний опытного образца; предварительные испытания опытного образца; государственные (ведомственные, внутрикорпоративные) испытания опытного образца; отработка документации по результатам испытаний.

Основные задачи и состав работ по выполнению ОКР представляют собой следующие положения: разработка ТЗ на ОКР; составление проекта ТЗ заказчиком; проработка проекта ТЗ исполнителем; установление перечня контрагентов и согласование с ними частных ТЗ; согласование и утверждение ТЗ.

На этом этапе важно отметить одно обстоятельство: проработка ТЗ выполняется исполнителем, а не заказчиком, как зачастую ложно представляют некоторые неспециалисты.

Техническое предложение. ТП является основанием для корректировки ТЗ и выполнения эскизного проекта. В ходе разработки ТП осуществляется выявление дополнительных или уточненных требований к изделию, его техническим характеристикам и показателям качества, которые не могут быть указаны в ТЗ: проработка результатов НИР; проработка результатов прогнозирования; изучение научно-технической информации; предварительные расчеты и уточнение требований ТЗ.

Эскизное проектирование. ЭП служит основанием для технического проектирования, и в его ходе производятся определение и разработка принципиальных технических решений: выполнение работ по этапу технического предложения, если этот этап не проводится; выбор элементной базы разработки; выбор основных технических решений; разработка структурных и функциональных схем изделия; выбор основных конструктивных элементов; метрологическая экспертиза проекта; разработка и испытание макетов.

Этап ЭП и является собственно проектированием, в отличие от следующего за ним этапа технического проектирования, который часто называют конструированием.

Результатом этапа является эскизный проект, который разрабатывают с целью установления принципиальных (конструктивных, схемных и др.) решений изделия, дающих общее представление о принципе работы и (или)

устройстве изделия, когда это целесообразно сделать до разработки технического проекта или рабочей документации.

На стадии разработки эскизного проекта рассматривают варианты изделия и (или) его составных частей. При разработке эскизного проекта выполняют работы, необходимые для обеспечения предъявляемых к изделию требований и позволяющие установить принципиальные решения.

Техническое проектирование. Технический проект разрабатывают с целью выявления окончательных технических решений, дающих полное представление о конструкции изделия, когда это целесообразно сделать до разработки рабочей документации. Задачей ТП является окончательный выбор технических решений по изделию в целом и его составным частям: разработка принципиальных электрических, кинематических, гидравлических и других схем; уточнение основных параметров изделия; проведение конструктивной компоновки изделия и выдача данных для его размещения на объекте; разработка проектов технических условий (ТУ) на поставку и изготовление изделия; испытание макетов основных приборов изделия в натуральных условиях.

При необходимости технический проект может предусматривать разработку вариантов отдельных составных частей изделия. В этих случаях выбор оптимального варианта осуществляется на основании результатов испытаний опытных образцов изделия.

Существуют два принципиально различающихся метода проектирования - «снизу вверх» и «сверху вниз». При проектировании «снизу вверх» конструкция создается аналогично процессу сборки из отдельных деталей и комплектующих, то есть предварительно созданные проекты деталей объединяются в единую конструкцию. При работе в стиле «сверху вниз» сначала создается проект общего вида изделия, затем он последовательно наполняется детализированными проектами его элементов.

При разработке технического проекта выполняют работы, необходимые для обеспечения предъявляемых к изделию требований и позволяющие получить полное представление о конструкции разрабатываемого изделия, оценить его соответствие требованиям технического задания, технологичность, степень сложности изготовления, способы упаковки, возможности транспортирования и монтажа на месте применения, удобство эксплуатации, целесообразность и возможность ремонта и т. п.

На стадии технического проекта не повторяют работ, проведенных на предыдущих стадиях, если они не могут дать дополнительных данных. Напротив, при разработке технического проекта могут быть использованы отдельные документы, разработанные на предыдущих стадиях, если эти документы соответствуют требованиям, предъявляемым к документам

технического проекта, или если в них внесены изменения с целью обеспечения такого соответствия. Завершается техническое проектирование этапом выпуска рабочей документации.

Рабочая документация. Изначально производятся разработка рабочей документации для изготовления и испытания опытного образца, формирование комплекта конструкторских документов в следующей последовательности: разработка полного комплекта рабочей документации; согласование ее с заказчиком и заводом - изготовителем серийной продукции; проверка конструкторской документации на унификацию и стандартизацию; изготовление в опытном производстве опытного образца; настройка и комплексная регулировка опытного образца.

Испытания и доводка. Предварительные испытания проводятся с целью проверки соответствия опытного образца требованиям ТЗ и определения возможности его предъявления на окончательные (государственные, ведомственные или внутрикорпоративные) испытания. Предварительные испытания включают в себя: стендовые испытания; предварительные испытания на объекте; испытания на надежность.

Окончательные испытания проводят с целью оценки соответствия требованиям ТЗ и возможности организации серийного производства. После отработки документации по результатам серийных испытаний и внесения необходимых уточнений и изменений в рабочую документацию она передается на производство заводу-изготовителю. На этом проектный цикл завершается, и начинается производственный.

2.3 Системы проектирования

Основные принципы проектирования

При решении задач проектирования руководствуются рядом основных принципов.

Последовательность и итерационность. Последовательность заключается в строгой очередности выполнения этапов проектирования механизма или машины, а итерационность – в корректировках проектных решений, полученных на предыдущих этапах проектирования.

Модульный принцип проектирования состоит в максимально возможном использовании однотипных узлов (или элементов узлов) при проектировании семейства машин различного целевого назначения. Сложные системы необходимо проектировать так, чтобы поведение одной части системы оказывало минимальное воздействие на остальную систему. Этот принцип базируется на активном использовании компьютерной техники и применяется

тогда, когда уже имеется достаточно четкое представление о семействе проектируемых машин.

Применение модульного принципа при проектировании одного механизма или одной машины бессмысленно и невозможно. Только в случае разработки семейства машин и использовании при этом ограниченного числа готовых узлов последние становятся модулями. Модули являются следствием принятого технического решения, ибо в принципе проектировать можно так, что узлы одного назначения не будут даже отдаленно похожи друг на друга.

Различают модули производственные (применяемые без каких-либо изменений в машинах различного целевого назначения), технологические (отличающиеся в основном технологией изготовления и незначительными конструкторскими изменениями, относящимися, как правило, к местам крепления узлов, например, правый–левый, верхний–нижний, передний–задний и т. п.) и конструкционные (имеющие конструкционное подобие, но различные размеры).

Современное техническое обеспечение САПР позволяет легко получать зеркальные изображения узлов (технологические модули) с минимальными затратами труда и времени. Несколько сложнее получить конструкционные модули, так как при их проектировании необходимо одновременно выполнять требования соблюдения размерных рядов и максимально возможной унификации.

При использовании модульного принципа проектирования на уровне принятия концепции должен быть решен вопрос о критерии целесообразности его применения для проектируемого семейства машин. Модули, используемые в последующих разработках, переходят в категорию унифицированных узлов.

Принцип унификации связан с применением в семействе проектируемых механизмов или машин унифицированных сборочных единиц (узлов, подузлов, агрегатов), деталей (оригинальных и стандартных), комплектующих. Как показывает опыт автоматизированного проектирования, применение типовых унифицированных деталей нецелесообразно. Значительно выгоднее иметь большое количество макрусов и существенные заделы в банках данных по модификациям и унифицированным узлам, что позволяет избегать излишней детализации конструкторских разработок.

Принцип соответствия выбора номенклатуры и значений выходных характеристик целевому назначению проектируемой машины или механизма. Чем ответственнее проектируемый объект, тем большее число выходных характеристик и параметров объекта регламентируется и тем более жесткие требования к ним предъявляются. Например, вероятность безотказной работы станков принимается в пределах 0,95–0,99, а самолетов – 0,999 99. Другой

пример. Число установленных и проверяемых выходных параметров точности станка при высоких требованиях к точности обрабатываемых деталей может достигать 20–30, в то время как для станков нормальной точности достаточно регламентировать 8–10 показателей. Основная цель регламентации выходных параметров станка – обеспечить погрешность обработки, которая находилась бы в установленных пределах в течение всего периода его эксплуатации.

Во всех случаях проектировщику необходимо помнить, что соответствие выходных характеристик механизма или машины их целевому назначению в первую очередь определяет общая компоновка, принимаемая на концептуальном уровне.

Принцип компромиссов. Проектирование – это непрерывная цепь компромиссов, которые приходится принимать на всех стадиях создания механизма или машины. Например, стремление к увеличению частоты вращения шпиндельных узлов всегда приводит к увеличению тепловыделения в опорах, которое не может превышать определенного уровня, и принятие окончательного решения всегда требует компромисса. Улучшение любой технической характеристики машины (скорости, грузоподъемности, точности, надежности, производительности и др.) неизбежно вызывает увеличение ее стоимости, трудоемкости изготовления, часто требует другого уровня обслуживания и повышения культуры эксплуатации, что всегда приводит к компромиссным решениям. Тенденция современных машиностроительных производств к концентрации операций постоянно требует от проектировщика решения задачи рационального сочетания технологических возможностей и усложнения конструкций оборудования. Избыточность технологических возможностей может быть не оправдана экономически. Увеличение надежности машины почти всегда сопровождается ее усложнением и удорожанием. Выбор опор и направляющих, обеспечивающих незначительный износ, применение новых материалов, специальных покрытий, смазок, термообработки повышают трудоемкость и стоимость. Далеко не всегда ясно, что экономически целесообразнее – удорожать механизм или машину изначально либо совершенствовать систему обслуживания и ремонта в период эксплуатации. Компромисс заключается в обеспечении надежности в первую очередь наиболее ответственных деталей и узлов машины.

Принцип преемственности. Практически любые механизмы и машины являются продуктом эволюции, и в них всегда имеются элементы, детали и узлы, разработанные ранее. Соблюдение преемственности является одним из эффективных путей снижения затрат и сокращения сроков создания машины. Хорошо отработанные элементы и узлы нет нужды заменять, и в одной машине прекрасно могут сосуществовать «новое» и «старое». Изыскание новых

принципов построения механизмов и машин не является, как правило, задачей конструирования. Суть проектирования – обеспечение требуемых характеристик машины, а не погоня за оригинальностью. Преемственность определяется самой логикой последовательного развития машин. Модернизация, систематическое совершенствование позволяют поддерживать показатели выпускаемых машин на уровне постоянно возрастающих требований в течение определенного времени без коренной переработки конструкции. Например, ведущие автомобильные фирмы выпускают принципиально новую модель только раз в 8–10 лет.

Вопрос заключается в том, как наиболее рационально сочетать новое со старым. Это зависит как от качества отработки отдельных проектных решений (стоит ли заменить), так и от уровня технологической подготовки производства (можем ли заменить). На этом пути существуют две основные опасности: консерватизм, влекущий за собой добровольный отказ от творческого поиска и приводящий к необъективной критике новых решений и отказу от них, и психологическая инерция, ослабляющая самоконтроль, в результате чего конструктору очень трудно отрешиться от своего решения, так как он находится в плену идеи.

Работающая сложная система неизбежно оказывается результатом работающей простой системы. Сложная система, разработанная на бумаге от начала и до конца, как правило, никогда не работает, и ее невозможно заставить работать. Всегда надо начинать с работающей простой системы.

Задачи и виды САПР

Средства автоматизации проектирования имеют своей задачей повышение эффективности труда инженеров. При создании любой технической системы необходимо стремиться к экономии трех категорий трудозатрат: прошлого, или овеществленного, труда; настоящего, или живого, труда; будущего труда, связанного с развитием системы. Основной целью создания систем компьютеризации инженерной деятельности является экономия живого труда проектировщиков, конструкторов, технологов, инженеров-менеджеров для повышения эффективности процесса проектирования и планирования, а также для улучшения качества результатов этой деятельности.

Однако экономия живого труда инженеров должна достигаться не любой ценой, а с учетом необходимости экономии труда, вложенного в программные средства ее разработчиками. Кроме того, каждая система имеет определенный жизненный цикл возникновения, развития и снятия с эксплуатации. Поэтому необходимо учитывать трудозатраты и на последующее (после создания) внедрение и совершенствование системы.

Проводя аналогию с материальным производством, можно сказать, что в области автоматизации инженерного труда имеется основное производство, связанное с разработкой конструкторских и технологических проектов, а также планов управления, и вспомогательное производство, связанное с созданием и сопровождением собственно программных средств.

В этой связи цели компьютеризации инженерной деятельности следует разбить на две группы: **основные и вспомогательные**.

Основные цели связаны с сокращением трудоемкости проектирования и планирования, а также их себестоимости, длительности цикла «проектирование - изготовление» затрат на натурное моделирование проектируемых объектов (Рисунок 3). Трудоемкость измеряется чистым временем, традиционно в человеко-часах, затрачиваемым на разработку и корректировку технической документации, без учета ожиданий по организационно-техническим причинам. Как следует из диаграммы, для сокращения трудоемкости необходимо располагать средствами автоматизации оформления графической и текстовой документации, средствами информационной поддержки и автоматизации принятия решений. Длительность цикла измеряется календарным временем от получения задания до его завершения с учетом всех ожиданий по организационно-техническим причинам. Сокращение длительности цикла «проектирование - изготовление» обеспечивается с помощью средств совмещенного проектирования и виртуальных бюро.

Концепция виртуального бюро появилась относительно недавно. Виртуальное бюро представляет собой организационно-техническую структуру, способную обеспечивать совместную работу бригады специалистов, разнесенных географически и во времени, чье объединение может носить временный характер. Виртуальное бюро может быть распределено в нескольких местах, которые могут находиться в различных странах и даже континентах и включать участников из разных временных поясов. Бригады специалистов объединяются в виртуальное бюро с целью создания новых изделий. Концепция виртуального бюро возникла в ответ на потребности развития современной глобальной рыночной экономики и новых возможностей высокоэффективных информационных технологий. Здесь можно выделить несколько ключевых факторов.

- Необходимость резкого сокращения длительности цикла от замысла изделия до выпуска его на рынок приводит к созданию бригад инженеров, обеспечивающих реализацию всех этапов жизненного цикла изделия совместно. Поддержка работы таких междисциплинарных бригад требует новой информационной технологии.

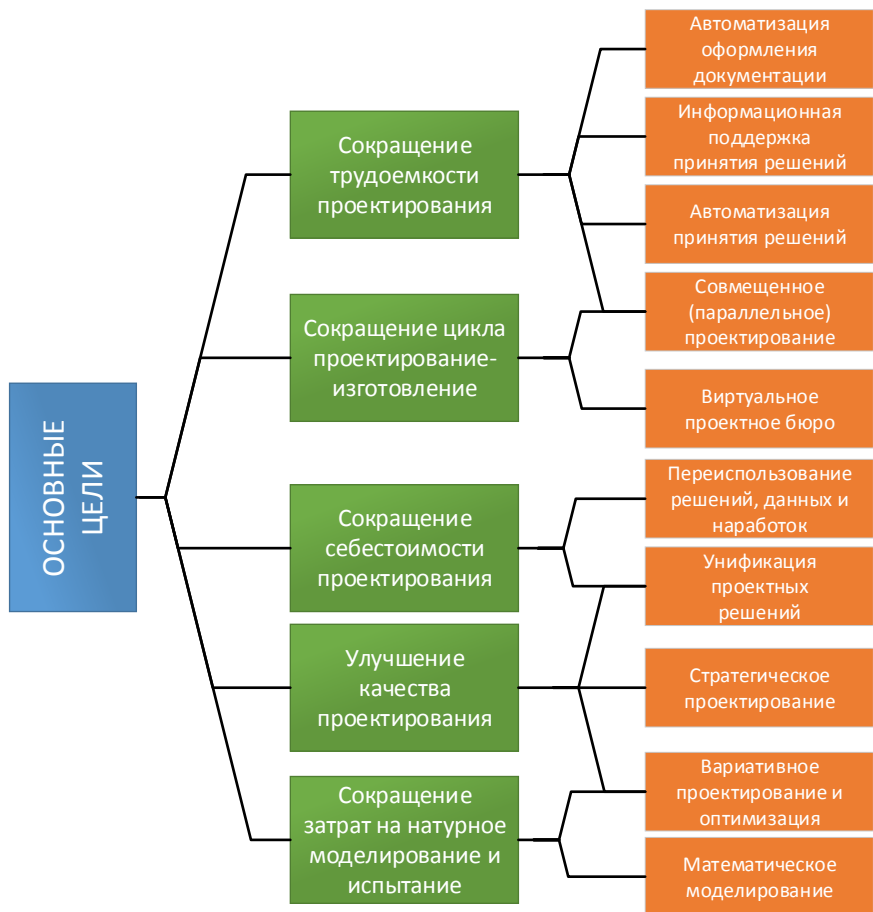


Рисунок 3. Основные цели и методы автоматизации проектирования

- Обеспечение соответствия изделия всем требованиям потенциальных потребителей и сокращения до минимума времени подготовки производства требует подключения к процессу проектирования как потребителей, так и поставщиков комплектующих. При этом нецелесообразно собирать в одном месте конструкторов комплектующих изделий, системных интеграторов и потребителей.
- Необходимость учета местных условий приводит к целесообразности привлечения проектировщиков, работающих в условиях рынка, для

которого предназначается изделие. При этом нецелесообразно их перемещать для работы над проектом в другое место.

- Не всегда возможно найти высококвалифицированных специалистов разного профиля в одном месте.

Сокращение себестоимости проектирования достигается за счет использования ранее созданных и унифицированных проектных и конструкторских решений, которые могут быть собраны в библиотеки и базы знаний. Таким же образом обеспечивается создание вариантов и модификаций изделий.

Улучшение качества результатов проектирования относится к основным целям компьютеризации инженерной деятельности и связано с необходимостью достижения уровня лучших образцов в классе проектируемых объектов. Улучшение качества проектов достигается использованием автоматизированного поискового и многовариантного проектирования, применением математических методов оптимизации параметров и структуры объектов и процессов. Уровень изделий определяется существенными признаками, свойствами, структурами или функциями их как технических систем. Наиболее современным методом оптимизации является применение генетических алгоритмов, позволяющих проводить как структурную, так и параметрическую оптимизацию изделий при произвольном виде критериальной функции.

Унификация проектных решений выполняется за счет адаптированных к условиям каждого предприятия баз данных и знаний.

Стратегическое проектирование - это метод создания и ведения долгосрочных проектных программ, начинающихся с разработки базового изделия, которое затем подвергается постепенным модификациям и усовершенствованиям с целью удовлетворения текущих и учета будущих требований пользователей в течение длительного периода времени. Сущность стратегического проектирования заключается в постоянном отборе и оценке концепций (прежде всего определяющих архитектуру и технологии изготовления) с целью поиска решений, обеспечивающих наилучшее удовлетворение краткосрочных и долгосрочных требований потребителей. Основная цель - обойти коммерческие и (или) технологические тупики в процессе быстрых изменений условий и технологий на рынке.

К затратам на натурное моделирование относят затраты на проектирование и изготовление макетных образцов изделий и их узлов, их испытания на стендах, в аэродинамических трубах и т. д. Сокращение этих затрат может быть достигнуто за счет его полной или частичной замены математическим моделированием.

К вспомогательным целям автоматизации проектирования относятся сокращение трудоемкости разработки программных средств, трудозатрат на их адаптацию к условиям эксплуатации при внедрении, а также их сопровождения, то есть ее модификации, обусловленной необходимостью устранения выявленных ошибок и (или) изменения функциональных возможностей

Рисунок 4.

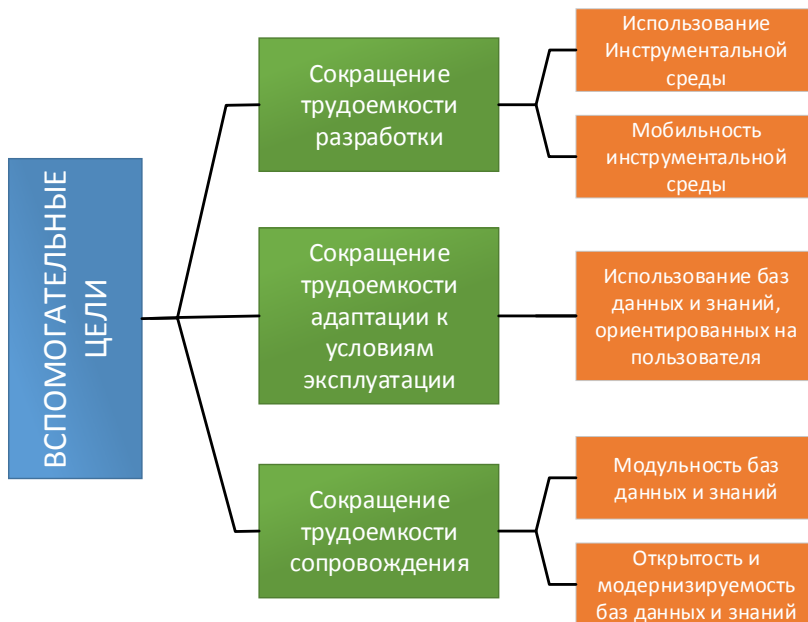


Рисунок 4. Вспомогательные цели и методы автоматизации проектирования

Средством сокращения трудоемкости адаптации систем к условиям эксплуатации на конкретном предприятии с учетом стандартов этого предприятия, а также традиций и принципов принятия проектных решений являются системы управления базами данных и знаний, ориентированные на конечного пользователя. Это означает, что упомянутые системы должны быть оснащены средствами описания и манипулирования данными, доступными пользователю без навыков программирования.

Системы автоматизированного проектирования

Чтобы понять значение автоматизированных систем проектирования, мы должны изучить различные задачи и операции, которые решаются и выполняются в процессе разработки и производства продукции. Все эти задачи,

взяты вместе, называются жизненным циклом продукта (product life cycle). На рис. 5 показаны этапы жизненного цикла изделий и системы их автоматизации.

На всех этапах жизненного цикла изделий имеются свои целевые установки. При этом участники жизненного цикла стремятся достичь поставленных целей с максимальной эффективностью. На этапах проектирования, ТПП и производства нужно обеспечить выполнение ТЗ при заданной степени надежности изделия и минимизации материальных и временных затрат, что необходимо для достижения успеха в конкурентной борьбе в условиях рыночной экономики.

Под эффективностью понимают не только снижение себестоимости продукции и сокращение сроков проектирования и производства, но и обеспечение удобства освоения и снижение затрат на будущую эксплуатацию изделий. Особую важность требование удобства эксплуатации имеет для сложной техники, например, в таких отраслях, как авиа- или автомобилестроение.

Достижение поставленных целей на современных предприятиях, выпускающих сложные промышленные изделия, оказывается невозможным без широкого использования автоматизированных систем (АС), основанных на применении компьютеров и предназначенных для создания, переработки и использования всей необходимой информации о свойствах изделий и сопровождающих процессов. Специфика задач, решаемых на различных этапах жизненного цикла изделий, обуславливает разнообразие применяемых АС. Основные типы АС с их привязкой к тем или иным этапам жизненного цикла изделий указаны на Рисунки 5.

CAE – Computer Aided Engineering (автоматизированные расчеты и анализ);

CAD – Computer Aided Design (автоматизированное проектирование);

CAM – Computer Aided Manufacturing (автоматизированная технологическая подготовка производства);

PDM – Product Data Management (управление проектными данными);

ERP – Enterprise Resource Planning (планирование и управление предприятием);

MRP-2 – Manufacturing (Material) Requirement Planning (планирование производства);

MES – Manufacturing Execution System (производственная исполнительная система);

SCM – Supply Chain Management (управление цепочками поставок);

CRM – Customer Relationship Management (управление взаимоотношениями с заказчиками);

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition (диспетчерское управление производственными процессами);

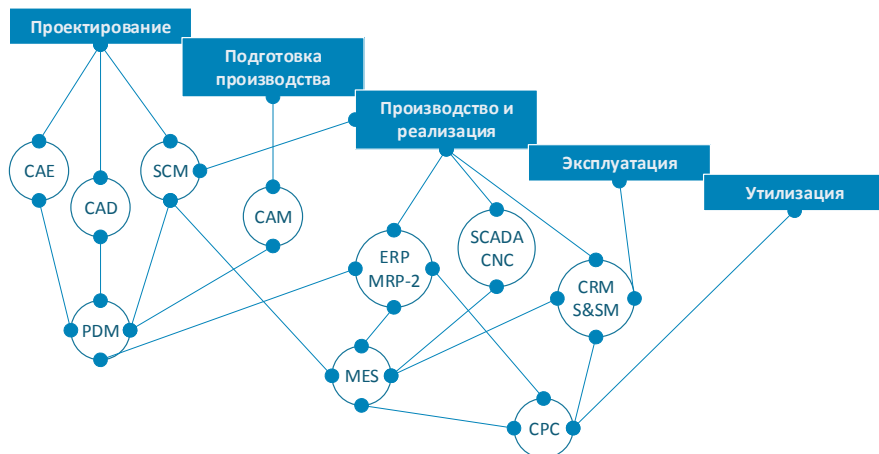


Рисунок 5. Этапы жизненного цикла промышленных изделий и системы их автоматизации

CNC – Computer Numerical Control (компьютерное числовое управление);
S&SM – Sales and Service Management (управление продажами и обслуживанием);

CPC – Collaborative Product Commerce (совместный электронный бизнес).

Ниже приведем традиционной классификацию, подразделяющую их по целевому назначению:

- средства собственно проектирования CAD (Computer Aided Design);
- средства инженерного анализа CAE (Computer Aided Engineering);
- средства подготовки автоматизированного производства CAM (Computer Aided Manufacturing);
- средства планирования технологических процессов CAPP (Computer Aided Process Planning);
- средства управления документооборотом PDM (Product Document Management);
- геоинформационные системы GIS (Geoinformatics Systems).
- В свою очередь, внутри всего множества CAD-решений принято выделять по отраслевому назначению:
 - машиностроительные CAD – MCAD (Mechanical Computer Aided Design);
 - САПР электронных устройств, EDA (Electronic Design Automation);

□ архитектурно-строительные САПР, АЕС (Architecture Engineering and Construction).

А продукты САЕ, соответственно, делятся на системы:

- прочностных расчетов (в основном средствами МКЭ - метода конечных элементов);
- тепловых расчетов;
- вычислительной гидроаэродинамики (CFD, Computational Fluid Dynamics);
- кинематического анализа;
- механической симуляции (MES, Mechanical Event Simulation);
- симуляции процессов литья и обработки давлением;
- электромагнитных и электродинамических расчетов;
- оптимизирующие.

В зависимости от обстоятельств и текущей задачи САПР также классифицируют по другим признакам:

1) разновидности и сложности объектов проектирования:

- а) САПР низкосложных объектов (количество составных частей - до 100);
- б) САПР среднесложных объектов (100-10 000);
- в) САПР высокосложных объектов (выше 10 000);

2) уровню автоматизации:

- а) низкоавтоматизированные (до 25% проектных процедур автоматизировано);
- б) среднеавтоматизированные (25-50%);
- в) высокоавтоматизированные (50-75%);

3) уровню комплексности:

- а) одноэтапные (один этап проектирования);
- б) многоэтапные (несколько этапов);
- в) комплексные (весь процесс создания изделия);

4) характеру и числу выпускаемых проектом документов:

- а) САПР низкой производительности (100-10 000 проектных документов в пересчете на формат А4 за год);
- б) САПР средней производительности (10 000-100 000);
- в) САПР высокой производительности (100 000 и выше).

САПР также принято группировать по так называемым обеспечениям.

Виды обеспечения САПР

Обеспечение САПР включает в себя: теорию процессов, происходящих в схемах и конструкциях; методы анализа и синтеза конструкций, систем и их

составных частей, их математические модели; математические методы и алгоритмы численного решения систем уравнений, описывающих конструкции. Указанные компоненты составляют ядро САПР. В обеспечение САПР входят также алгоритмические специальные языки программирования, терминология, нормативы, стандарты и другие данные. Обычно в качестве обособленных блоков в обеспечении САПР выделяются следующие виды обеспечения.

Математическое обеспечение (МО) - совокупность математических методов, моделей и алгоритмов проектирования, представленных в заданной форме. МО при автоматизированном проектировании в явном виде не используется, а применяется производный от него компонент - программное обеспечение. Вместе с тем разработка МО является самым сложным этапом создания САПР, от которого при использовании условно одинаковых технических средств в наибольшей степени зависят производительность и эффективность функционирования САПР в целом. МО любых САПР по назначению и способам реализации делится на две части. *Первую* составляют математические методы и построенные на их основе математические модели, описывающие объекты проектирования или их части, или вычисляющие необходимые свойства и параметры объектов. Вторую часть составляет формализованное описание технологии автоматизированного проектирования. В составе любой САПР эти части МО должны органично взаимодействовать. Способы и средства реализации первой части МО наиболее специфичны в различных САПР и зависят от особенностей процесса проектирования. Развитие и совершенствование методов в данной части - процесс постоянный. Создание САПР стимулирует эти работы, и прежде всего в части разработки оптимизационных методов проектирования.

Вторая часть МО - формализация процессов автоматизированного проектирования в комплексе - является более сложной задачей, чем алгоритмизация и программирование отдельных проектных задач, так как необходимо формализовать всю логику технологии проектирования, в том числе логику взаимодействия проектировщиков друг с другом с использованием средств автоматизации. Указанные проблемы решались и решаются в настоящее время эмпирическим путем, главным образом методом проб и ошибок. Следовательно, МО САПР должно описывать во взаимосвязи объект, процесс и средства автоматизации проектирования.

Техническое обеспечение (ТО) - совокупность связанных и взаимодействующих технических средств, обеспечивающих работу САПР. Техническое обеспечение САПР включает устройства вычислений и организационной техники, средства передачи данных, измерительную технику, устройства подготовки данных и организации архивов. В настоящее время

большинство практически действующих САПР строятся на базе локальных вычислительных сетей.

Программное обеспечение (ПО) - совокупность машинных программ, необходимых для осуществления процесса проектирования, включающее системное и прикладное ПО. В программном обеспечении САПР выделяют: общесистемное программное обеспечение (базовая операционная система + мониторные системы САПР); пакеты прикладных программ (комплексы программных средств, ориентированных на решение задач в определенной области); системы программирования (совокупность средств написания текстов, трансляции и отладки программ пользователя).

Информационное обеспечение (ИО) - совокупность сведений, необходимых для выполнения проектирования. Включает СУБД (Систему управления базами данных), саму базу данных и базу знаний. К информационному обеспечению предъявляются следующие требования: адекватность информации состоянию предметной области; массовость использования (коллективный доступ); быстродействие (время реакции на запрос); производительность (количество запросов, выполняемых в единицу времени); возможность расширения; надежность и защита информации.

ИО САПР состоит из описания стандартных проектных процедур, типовых проектных решений, типовых элементов, комплектующих изделий и их моделей, материалов, числовых значений параметров и других данных. Эти данные в закодированной форме записываются на машинных носителях. Кроме того, в ИО САПР входят правила и нормы проектирования, содержащиеся в соответствующей нормативно-технической документации, а также информация о правилах документирования результатов проектирования. Структура и содержание ИО САПР, а также характер его использования зависят от степени развития банка данных (БД). В БД можно выделить существенные части, играющие различную роль в процессе проектирования: **справочник** содержит справочные данные о ГОСТах, нормалях, унифицированных элементах, ранее выполненных типовых проектах. Эта часть изменяется наименее часто, характеризуется однократной записью и многократным считыванием и называется постоянной частью БД. **Проект** содержит сведения об изделии, находящемся непосредственно в процессе проектирования. В проект входят результаты решения проектных задач, полученные к текущему моменту (различного типа геометрические модели, схемы, спецификации и т. п.). Проект пополняется или изменяется по мере завершения очередных итераций на этапах проектирования и конструирования. Часто справочник и проект объединяют под общим названием **архив**.

Лингвистическое обеспечение (ЛО) - совокупность языков проектирования, включая термины, определения, правила формализации естественного языка, методы сжатия и развертывания текстов. В свою очередь, лингвистическое обеспечение САПР подразделяется на языки программирования, проектирования и управления. **Языки программирования** служат для разработки и редактирования системного и прикладного программного обеспечения САПР. Они базируются на алгоритмических языках - наборе символов и правил образования конструкций из этих символов для задания алгоритмов решения задач. Совокупность языка программирования и соответствующего ему языкового процессора называют системой программирования. **Языки проектирования** - это проблемно-ориентированные языки, служащие для обмена информацией об объектах и процессе проектирования между пользователем и компьютером. **Языки управления** служат для формирования команд управления технологическим оборудованием, устройствами документирования, периферийными устройствами. Существуют различные уровни языков программирования, высокие, более удобные для пользователя, и низкие, близкие к машинным языкам.

Методическое обеспечение (МТО) - совокупность документов, устанавливающих состав, правила отбора и эксплуатации средств обеспечения системы.

Организационное обеспечение (ОО) - совокупность документов, определяющих состав проектной организации, связь между подразделениями, а также форму представления результатов проектирования и порядок рассмотрения проектных документов. Полноценное функционирование САПР возможно только при наличии и взаимодействии всех перечисленных обеспечений. Для пользователей ТО и ПО выступают как единое целое, образуя инструмент проектирования, поэтому говорят, что в САПР можно выделить программно-методический комплекс - совокупность ПО и МТО - и программно-технический комплекс - совокупность ПО и ТО.

2.4 Средства моделирования в САПР

Моделирование используется в САПР для определения параметров проектируемых объектов еще на этапе их создания и оценки. При этом оно позволяет определять статические и динамические параметры как объекта в целом, так и его отдельных модулей. Например, методом моделирования можно выполнить кинематический анализ механизмов, определить

напряженное состояние деталей, оценить работоспособность привода и системы управления объекта и т. п.

Моделирование можно разделить на аналитическое и физическое. К аналитическому моделированию относятся геометрическое (каркасное, поверхностное, твердотельное) параметрическое (табличная параметризация, иерархическая параметризация, вариационная (размерная) параметризация геометрическая параметризация, ассоциативное конструирование, объектно-ориентированное конструирование). Физическое моделирование реализует физическую модель проектируемого объекта (например, технология быстрого прототипирования – rapid prototyping).

Геометрическое моделирование

Геометрические модели в САПР используются для решения многих задач: визуализации, построения расчетных сеток, генерации управляющих программ ЧПУ и т. д. В первую очередь они предназначены для хранения информации о форме объектов и их взаимном расположении и предоставления ее для обработки в удобном для компьютерной программы виде. В этом ключевое отличие электронной геометрической модели от чертежа, который представляет собой условное символично-графическое изображение, предназначенное для чтения человеком.

Каркасное моделирование. Это исторически первая технология представления объемной геометрии. Она естественным образом развилась из систем 2D-черчения. Это самый простой способ представления трехмерных моделей - так называемые проволочные каркасы, или просто каркасы, которые дают неоспоримые преимущества по сравнению с моделированием на плоскости. Они помогают более ясно представлять модель и надежно контролировать взаимное расположение составляющих ее элементов. Кроме того, каркасы можно использовать и для создания проекционных видов. Достаточно простые структуры данных и алгоритмы работы с каркасами позволили реализовать их на маломощном оборудовании конца 70-х годов XX века.

Недостаток каркасного представления моделей состоит в том, что программы не могут отобразить всех особенностей поверхностей, определяемых каркасами, и это делает невозможным построение, например, точных сечений. Визуальное представление достаточно аскетичное и в ряде случаев не дает возможности однозначно интерпретировать увиденное. Тем не менее даже такая, имеющая множество ограничений технология позволила существенно расширить функциональные возможности САПР по сравнению с 2D-системами. В настоящее время построение каркасов также используется в

геометрическом моделировании САПР, но лишь как вспомогательная система промежуточных построений.

Поверхностное моделирование. В отличие от каркасного представления, моделирование при помощи поверхностей имеет существенно меньше ограничений, так как позволяет определить своеобразную «оболочку» трехмерного объекта.

Геометрические модели на основе поверхностного представления обеспечивают качественную визуализацию, более простой переход к построению расчетных сеток для численного моделирования, обеспечивают ряд полезных функций, таких как построение пространственных сопряжений, сечений, определения линии пересечения оболочек, генерацию чертежных проекций.

Поверхностные модели различаются по способу аппроксимации поверхности. Более простой в части структуры данных и используемых для работы с ними алгоритмов является *полигональная аппроксимация*, когда поверхность представляется набором взаимосвязанных плоских граней, на практике чаще всего треугольных. Такая аппроксимация легко строится, для нее разработаны эффективные алгоритмы реалистичной визуализации, она не требует значительных вычислительных ресурсов, хотя может быть и затратной по памяти. Главным ограничением подобной аппроксимации является то, что она имеет фиксированную точность, то есть отклонение положения модельной поверхности от «идеальной» моделируемой. Для достижения высокой точности требуется создание сеток с малым шагом, что ведет к росту требований к вычислительным возможностям системы. Поэтому использование полигональной аппроксимации в САПР на текущий момент ограничено подсистемами визуализации и простейшего 3D-эскизирования.

Этих недостатков лишена технология NURBS (Non-Uniform Rational B - Spline, неоднородный B-сплайн), сегодня наиболее часто используемая в практике САПР. Такое описание поверхности обеспечивает определение координат любой ее точки, радиуса кривизны в ней, направления нормали к поверхности с высокой, в общем случае (без учета вычислительных затрат) с любой наперед заданной точностью. Определенным недостатком такого подхода является сложность алгоритмов работы с NURBS, однако это обстоятельство исторически преодолено исследователями и разработчиками.

Технология NURBS обеспечивает реализацию ряда функциональных возможностей, недоступных или существенно ограниченных при использовании каркасного либо полигонального представления: вычисление радиуса кривизны поверхностей, их гладкое сопряжение, построение траекторий на поверхности, что важно для подготовки ЧПУ-программ,

получение точных изображений, спроецированных на плоскость, например, для получения чертежных видов и т. д. и т. п.

Традиционно в САПР используются несколько типовых контекстов создания поверхностей: *плоская поверхность* - получается заполнением плоского контура (2D-эскиз или набор замкнутых кромок, лежащих в одной плоскости); *поверхность вытяжки* - образуется в результате плоскопараллельного вытягивания замкнутого или разомкнутого 2D/3D -эскиза в направлении, перпендикулярном плоскости эскиза, или под произвольным углом; *поверхность вращения* - получается вращением произвольного профиля (2D-эскиз) относительно оси; *поверхность по траектории* - создается движением 2D/3D -эскиза вдоль криволинейной образующей (2D/3D-эскиз, 3D-кривая) и произвольного числа направляющих кривых (2D/3D-эскиз, 3D-кривая), деформирующих исходный контур; *поверхность по сечениям* - аналог поверхности по траектории; отличается тем, что строится не по одному, а по нескольким поперечным сечениям с направляющими кривыми; *границная поверхность* - аналог поверхности по сечениям; отличается тем, что строится по нескольким произвольно сориентированным в пространстве 3D-кромкам других поверхностей с сохранением касательной к ним и с соблюдением непрерывности по второй производной (гладкая стыковка); при построении могут использоваться направляющие кривые; *поверхность свободной формы* - строится разбиением сетки с управляющими точками на поверхности грани 3D-модели; изменение формы поверхности достигается перетаскиванием контрольных точек; *эквидистантная поверхность* - получается смещением на определенное расстояние от существующих граней или поверхностей; *поверхность разъема* - используется при проектировании литейных форм в качестве вспомогательной геометрии для разделения матрицы и пуансона; *срединная поверхность* - создается на середине (или заданном проценте) толщины тонкостенной детали; *линейчатая поверхность* - строится под углом к выбранной кромке и предназначена для построения граней с уклоном.

В том случае, если установлена программная связь между вспомогательным каркасом и результирующей поверхностью, моделирование становится ассоциативным, при этом изменение каркасных элементов ведет к автоматическому изменению геометрии поверхностей, построенных с использованием этого контекста.

Твердотельное моделирование. Несмотря на достаточно широкие возможности, которые предоставляет поверхностное моделирование, и оно имеет ряд существенных ограничений с точки зрения использования в САПР, в частности невозможность вычисления объемов, масс и моментов инерции объектов, ограниченность применения к ним булевых операций (вычитания,

объединения, пересечения). Эти ограничения снимаются при использовании твердотельного моделирования, ставшего на сегодня стандартом де-факто в 3D CAD/CAM/CAE-системах.

Существуют различные алгоритмические методы представления твердотельных моделей - воксельное, использование октарных и бинарных деревьев, однако в практике САПР наиболее широкое применение имеет технология, базирующаяся на граничном представлении элементарных односвязных тел (BREP, Boundary Representation) в совокупности с конструктивной геометрией (CSG, constructive solid geometry), описывающей операции над телами.

Граничное представление определяет сплошное тело неявно путем описания ограничивающей его поверхности. Суть BREP-представления заключается в том, что твердое тело описывает замкнутая пространственная область, ограниченная набором элементарных тонких поверхностей (граней) с общими образующими контурами (ребрами) на границе поверхностей и признаком внешней или внутренней стороны поверхности.

Для описания сложных тел, моделирующих объекты реального мира, получаемые обработкой материала или неразъемной сборкой, используется иерархическая структура, описывающая тела как последовательность применения булевых операций над набором элементарных твердых тел, - так называемое CSG-дерево (Constructive Solid Geometry tree). В рамках CSG представления для описания составных твердых тел определены следующие операции над исходными элементарными телами: вычитание, объединение, пересечение. Таким образом, любое составное тело может быть описано в виде традиционного уравнения из булевых функций, в котором аргументами являются либо элементарные тела, либо другие составные тела. Это представление называют *деревом построений*. Такое представление, кроме удобства модификации геометрии результирующего тела, позволяет существенно снизить требования к вычислительным ресурсам за счет применения оптимизирующих процедур к дереву построений. Представление твердых тел в виде дерева построений удобно также и с точки зрения организации пользовательского интерфейса, обеспечивающего наглядный и быстрый доступ к любому элементу, входящему в описание геометрии тела, его модификацию и получение отчетной информации.

Параметрическое моделирование

Процесс проектирования и конструирования, как правило, итеративный и предполагает перебор нескольких вариантов, поэтому упрощение и автоматизация построения модели будущего изделия являются одной из важнейших задач САПР. Одним из широко распространенных методов

решения этой задачи является параметрическое проектирование (или просто параметризация), основанное на моделировании деталей и изделий с использованием параметров элементов модели и соотношений между этими параметрами. Параметризация позволяет за короткое время перебрать с помощью изменения параметров или геометрических отношений различные конструктивные схемы, выбрать оптимальные решения и избежать принципиальных ошибок.

Параметризация - концепция, которая охватывает все методы для решения задач конструирования. Важной особенностью современной концепции параметрического конструирования является прежде всего возможность создания геометрической модели с использованием связей и правил, которые могут переопределяться и дополняться на любом этапе ее создания. Связи представляются в виде размерных, геометрических и алгебраических соотношений. Правила же определяются как условия выполнения базовой операции (например, сквозное или «слепое» отверстие).

Параметрическое проектирование существенно отличается от обычного двухмерного черчения или трехмерного моделирования. В случае параметрического проектирования создается по сути математическая модель объектов с параметрами, при изменении которых происходят изменения конфигурации и размеров деталей, их взаимного расположения в сборках и т. п.

Табличная параметризация. Табличная параметризация заключается в создании таблицы параметров типовых деталей. Создание нового экземпляра детали производится путем выбора из таблицы типоразмеров. Возможности табличной параметризации весьма ограничены, поскольку задание произвольных новых значений параметров и геометрических отношений обычно невозможно. Однако табличная параметризация находит широкое применение во всех параметрических САПР, поскольку позволяет существенно упростить и ускорить создание библиотек стандартных и типовых деталей, а также их применение в процессе конструкторского проектирования.

Иерархическая параметризация. Иерархическая параметризация (параметризация на основе истории построений) заключается в том, что в ходе построения модели вся последовательность построения отображается в отдельном окне в виде «дерева построения». В нем перечислены все существующие в модели вспомогательные элементы, эскизы и выполненные операции в порядке их создания. Помимо «дерева построения» модели, система запоминает не только порядок ее формирования, но и иерархию ее элементов (отношения между элементами). (Например, сборки → под сборки → детали). Параметризация на основе истории построений присутствует практически во всех САПР, использующих трехмерное твердотельное параметрическое

моделирование. Обычно такой тип параметрического моделирования сочетается с вариационной и/или геометрической параметризацией.

Вариационная (размерная) параметризация. Вариационная, или размерная, параметризация основана на построении эскизов (с наложением на объекты эскиза различных параметрических связей) и наложении пользователем ограничений в виде системы уравнений, определяющих зависимости между параметрами (например, присвоить имя **Lh** и задать зависимости других размеров от этих переменных в виде формул **Lh/2**). Вариационная параметризация позволяет легко изменять форму эскиза или величину параметров операций, что позволяет удобно модифицировать трехмерную модель.

Геометрическая параметризация. Геометрической параметризацией называется параметрическое моделирование, при котором геометрия каждого параметрического объекта пересчитывается в зависимости от положения родительских объектов, его параметров и переменных. Параметрическая модель в случае геометрической параметризации состоит из элементов построения и элементов изображения. Элементы построения (конструкторские или вспомогательные линии) задают параметрические связи. К элементам изображения относятся линии изображения (которыми обводятся конструкторские линии), а также элементы оформления (размеры, надписи, штриховки и т. п.). Одни элементы построения могут зависеть от других элементов построения. Элементы построения могут содержать и параметры (например, радиус окружности или угол наклона прямой). При изменении одного из элементов модели все зависящие от него элементы перестраиваются в соответствии со своими параметрами и способами их задания.

Ассоциативное конструирование. Ассоциативное конструирование (Associative Design) - это обобщающее название технологии параметрического конструирования, обеспечивающей единую, в том числе и двустороннюю, информационную взаимосвязь между геометрической моделью, расчетными моделями, программами для изготовления изделия на станках с ЧПУ, конструкторской документацией, базой данных проекта. Использование технологии ассоциативного конструирования позволяет, при необходимости, изменять форму модели и получать автоматически перестроенные чертежи или траектории инструмента для обработки на станках с ЧПУ.

Частным случаем ассоциативного конструирования является технология ассоциативной геометрии, иногда именуемая как направленная ассоциативность (directed associativity), - это технология ассоциативного конструирования, которая базируется на непосредственных взаимосвязях между объектами. Простейший пример - определение параллельности двух

отрезков. Отрезок А может быть определен как параллельный отрезку В. В результате при перемещении отрезка В отрезок, а также изменит свое положение с сохранением ориентации по отношению к отрезку В. Собственное же положение отрезка А не может быть непосредственно изменено. Можно определить отрезки А и В как параллельные и другим способом, так что можно будет изменять положение любого из этих отрезков, удовлетворяя условиям других наложенных связей, - это случай так называемой «мягкой» ассоциативности. Преимущество использования ассоциативной геометрии - скорость. Недостаток же заключается в том, что пользователь должен полностью определить размеры и ориентацию элемента, прежде чем приступить к созданию следующего элемента.

Объектно-ориентированное конструирование. Объектно-ориентированное конструирование (Feature-Based Modeling) основано на том, что конструктивные элементы геометрии (features) представляют собой объекты с предопределенным поведением и структурой данных. Это один из подходов ассоциативного конструирования, с помощью которого определяется поведение геометрической формы при дальнейших изменениях.

Этот подход реализован на основе определенного набора правил и атрибутов, задаваемых при выполнении базовой операции, в дополнение к уже заданным связям и ассоциативной геометрии. Базовые операции являются высокоэффективным инструментом для создания геометрической модели конструкции, инженерного анализа или изготовления.

Объектно-ориентированное моделирование предоставляет в распоряжение пользователя макрофункции, ранее определенные как последовательность действий, использующих булевы операции. Например, сквозное отверстие может быть представлено как булева операция вычитания и цилиндр достаточной длины, большей, чем текущая толщина детали. Но если модель станет толще, то цилиндр уже не будет обладать достаточной длиной и отверстие превратится в «слепое». Однако под сквозным отверстием понимается дополнительное правило, которое определяет сквозной проход в указанном месте через тело модели, независимо от того, изменилась форма модели или нет. Базовые операции также могут иметь и дополнительные атрибуты, которые используются в других приложениях, таких как анализ и изготовление. Уже существующие типы конструктивных элементов могут быть использованы для создания новых типов путем наследования всех свойств исходных объектов и добавления новых атрибутов и поведения. Обязательным компонентом объектно-ориентированного конструирования являются механизмы создания конструктивного элемента и его обновления путем изменения данных каждого элемента. Запуск механизма обновления при

изменении данных автоматически инициирует операцию его создания, а так как эти механизмы наследуются всеми конструктивными элементами от базового типа, обеспечивается совместимость структур данных для всего набора элементов. Конструктивные элементы включены в общий цикл обновления, таким образом, любое изменение данных приводит к автоматическому обновлению модели в соответствии с правилами построения и данными для каждого элемента.

Физическое моделирование

Сегодня сложно найти человека, который бы ничего не слышал о трехмерной печати, аддитивных технологиях или аддитивном производстве (АП). Невозможно переоценить те изменения в производственном процессе и, как следствие, во всей промышленной инфраструктуре, которые повлечет за собой массовое применение аддитивных технологий. А все к этому идет. Всемирно известный итальянский скульптор Микеланджело Буонарроти на вопрос о том, как он делает свои скульптуры, ответил: «Я беру камень и отсекаю все лишнее». Этот принцип лежит в основе огромного числа технологических операций, где путем многократной механической обработки заготовок получается конечное изделие.

Термин «аддитивные» происходит от английского глагола to add, что значит «добавлять». В отличие от традиционного метода, описанного выше, изделие или деталь формируется не удалением лишнего материала, а поэтапным (чаще всего послойным) наращиванием (добавлением) материалов на основе цифровой модели с помощью соответствующего оборудования. Часто это оборудование называют «3D-принтер», но данный термин в общемировой практике относится скорее к недорогим любительским системам. В отношении промышленного оборудования чаще всего используется название «оборудование для аддитивного производства» (ОАП). Применение аддитивных технологий обладает широким рядом выгод по отношению к технологиям, основанным на удалении материала, в частности, методом механической обработки. ***Уменьшенное энергопотребление.*** Аддитивные технологии позволяют сократить энергозатраты за счет сокращения количества технологических операций, минимизации количества израсходованных материалов и создания легких изделий. ***Уменьшенное количество отходов производства.*** Послойное создание изделия позволяет сократить расход материалов в отдельных случаях до 90 % по сравнению с традиционными технологиями механической обработки, при применении которых огромное количество материала обрезается и утилизируется. Экономия на дорогостоящем инструменте также не стоит забывать. ***Сокращение времени изготовления изделия.*** Для изготовления изделий с

помощью аддитивных технологий, как правило, не требуется наличие оснастки и прототипов. Поэтому деталь или изделие могут быть изготовлены непосредственно после подготовки цифровой модели, что существенно сокращает срок производства и прототипирования. **Новые возможности для разработки.** Трехмерная печать помогает реализовать более сложную геометрию изделий, реализация которой ранее была крайне неэффективной. Это открывает новые горизонты творчества для разработчиков. **Объединение деталей.** Возможность изготовления деталей более сложной формы позволяет сократить количество отдельных деталей, необходимых для производства конечного изделия. Это позволяет снизить затраты на выполнение избыточных технологических и вспомогательных операций, а также упростить процесс производственного планирования и контроля качества. **Облегчение веса изделий.** За счет возможности получения более сложной геометрии изделий стало возможным обеспечение тех же свойств изделий, что и ранее, но при меньшем расходе материалов и весе изделия. **Гибкость производственных операций.** Аддитивные технологии открывают уникальные возможности в области реагирования на изменение спроса. Во-первых, намного легче обеспечить изготовление изделий с учетом персональных потребностей заказчика. Во-вторых, можно это сделать максимально близко к заказчику в рамках, например, мобильной минифабрики, оснащенной минимальным количеством оборудования.

Технологии аддитивного производства

Моделирование методом послойного наплавления FDM – технология аддитивного производства, широко используемая при создании трехмерных моделей, при прототипировании и в промышленном производстве. Технология FDM подразумевает создание трехмерных объектов за счет нанесения последовательных слоев материала, повторяющих контуры цифровой модели. Как правило, в качестве материалов для печати выступают термопластики, поставляемые в виде катушек нитей или прутков. Технология FDM была разработана С. Скоттом Трапом в конце 1980-х и вышла на коммерческий рынок в 1990 году. Оригинальный термин «Fused Deposition Modeling» и аббревиатура FDM являются торговыми марками компании Stratasys.

Выборочное лазерное спекание (SLS) – метод аддитивного производства, используемый для создания функциональных прототипов и мелких партий готовых изделий. Технология основана на последовательном спекании слоев порошкового материала с помощью лазеров высокой мощности. Технология (SLS) подразумевает использование одного или нескольких лазеров (как правило, углекислотных) для спекания частиц порошкообразного материала до образования трехмерного физического объекта.

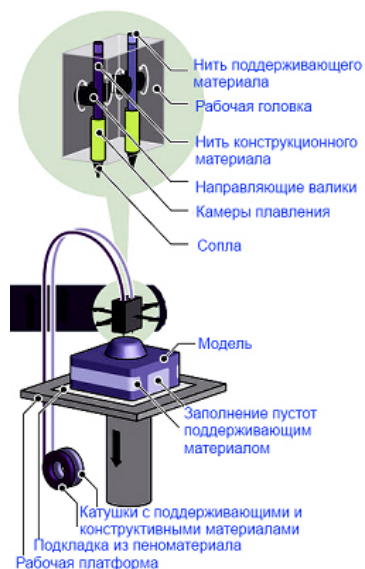


Рисунок 6. Принцип работы по технологии FDM

В качестве расходных материалов используются пластики, металлы, керамика или стекло. Спекание производится за счет вычерчивания контуров, заложенных в цифровой модели с помощью одного или нескольких лазеров. По завершении сканирования рабочая платформа опускается, и наносится новый слой материала. Процесс повторяется до образования полной модели.

Стереолитография (SLA) – технология аддитивного производства моделей, прототипов и готовых изделий из жидких фотополимерных смол. Отвердевание смолы происходит за счет облучения ультрафиолетовым лазером или другим схожим источником энергии. Метод основан на облучении жидкой фотополимерной смолы лазером для создания твердых физических моделей. Построение модели производится слой за слоем. Каждый слой вычерчивается лазером согласно данным, заложенным в трехмерной цифровой модели. Облучение лазером приводит к полимеризации-затвердеванию материала в точках соприкосновения с лучом.

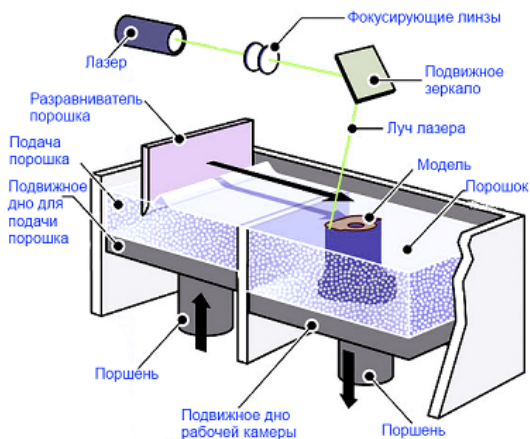


Рисунок 7. Принцип работы по технологии SLS

По завершении построения контура рабочая платформа погружается в бак с жидкой смолой на дистанцию, равную толщине одного слоя – как правило, от 0,05мм до 0,15мм. После выравнивания поверхности жидкого материала начинается процесс построения следующего слоя. Цикл повторяется до построения полной модели. После завершения постройки, изделия промываются для удаления остаточного материала и, при необходимости, подвергаются обработке в ультрафиолетовой печи до полного затвердевания фотополимера.

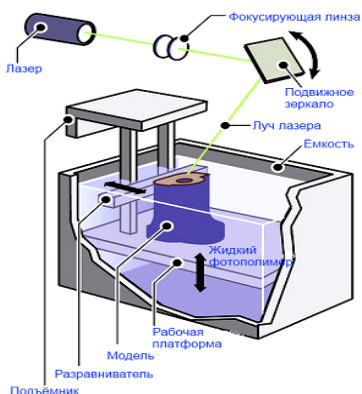


Рисунок 8. Принцип работы по технологии SLA

2.5 Инструменты, материалы и оборудование

Для изготовления робота, понадобятся различные инструменты и оборудование. Рассмотрим инструменты и оборудование, которые будут полезны.

2.5.1 Механические инструменты

Для сборки робота понадобятся инструменты для формирования тела устройства:

- Тиски
- Молоток
- Отвертки и гаечные ключи
- Пила
- Рулетка и другие инструменты для разметки
- Штангенциркуль
- Сверлильный пресс
- Острые ножи
- Пистолеты для горячего клея
- Дуговой сварочный аппарат (полезен только при работе с толстой сталью в крупных проектах (используйте газовую сварочную горелку для тонкого металла; дуговые сварочные аппараты имеют тенденцию прожигать отверстия прямо через заготовку).
 - Стриппер для краски / Электрический тепловой пистолет (для изгибания пластмасс, а также для нанесения термоусадочных трубок на электрические кабели при низкой мощности)
 - Защитные очки

2.5.2 Электрические инструменты

Паяльник (инструмент для сборки электронных схем и соединения медных проводов. Для электронных схем понадобится легкий паяльник (~ 25 Вт) с маленькой точкой (в форме карандаша). Особенно SMD-компоненты требуют небольших точек (или даже лучше: специальные SMD-точки пайки). Пайка электронных компонентов осуществляется с помощью «мягкой пайки»: при низкой температуре (менее 300 ° С). Обычно для электроники температура плавления припоя составляет около 238 ° С. Для припоя требуется паяльная проволока (60% свинца, 40% олова) с неагрессивным флюсом. Существует также «эвтектический припой» – 63% свинца, 37% олова,

который немедленно переходит из жидкого состояния в твердое, без пластического состояния между ними. Возможно использовать самую тонкую проволоку (≤ 1 мм). Для соединения металлических проводов понадобится что-то более мощное (30 Вт-100 Вт), например, паяльный пистолет, но обычный паяльник тоже подойдет.

Примечание: не все материалы хороши для пайки. Медь легко паяется и имеет прочную связь. Алюминий имеет слабую связь. Для более прочных соединений лучше использовать сварку. Однако сварка используется только для тяжелых материалов, таких как стальные сплавы, и они в большинстве случаев слишком тяжелы, чтобы их можно было использовать в роботах (если не строится очень большой или промышленный робот).

Макетные платы

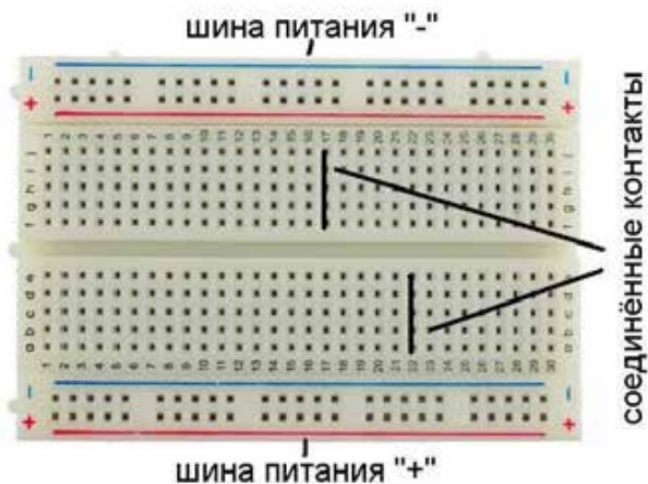


Рисунок 9. Макетная плата

Макетные платы позволяют быстро собрать временную схему, особенно удобно их применять для тестирования новых схем.

Макетная плата выполнена из пластика с отверстиями-разъёмами. Контактные разъёмы выполнены из высококачественного бронзового сплава, отлично пружинят и прижимают выводы деталей диаметром от 0,4 до 0,7 мм, причём число циклов подключения/отключения может достигать нескольких

десятков тысяч. Контакты внутри платы объединены в шины («строки»). Например, на рисунке 9 показано, что пять контактов в строке No6 (слева) объединены между собой; также объединены между собой и пять контактов строки No3 справа. Таким образом, на плате имеются 60 объединённых между собой строк (по 5 контактов в каждой). В отдельные длинные строки вынесены шины питания, обозначаемые на плате красными и синими линиями. Условно принято, что красная линия – это шина «+», а синяя «-». Соответственно, на данной макетной плате имеется две шины «+» и по две шины «-» - по 25 контактов в каждой. Провода от батареи также имеют соответствующие цвета (красный – «плюс», синий – «минус»).

2.5.3 Электронное оборудование

Цифровой мультиметр

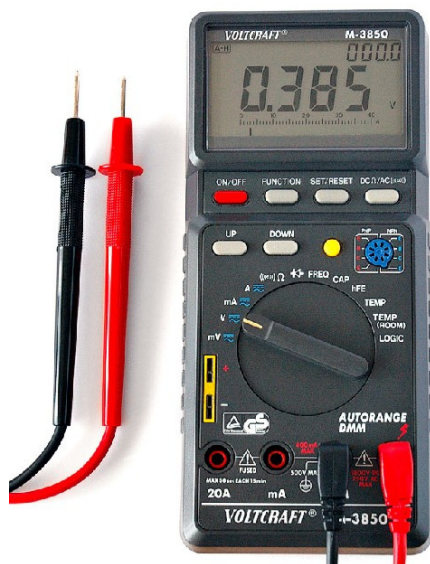


Рисунок 10. Цифровой мультиметр

Цифровой мультиметр или измеритель Вольт-Ом – это устройство, используемое для измерения напряжения, тока и сопротивления. Это устройство полезно для обнаружения неисправностей или обеспечения измерений с высокой степенью точности. Они являются одним из предпочтительных инструментов электриков для устранения электрических проблем на двигателях, приборах, цепях, блоках питания и системах проводки.

Генераторы сигналов

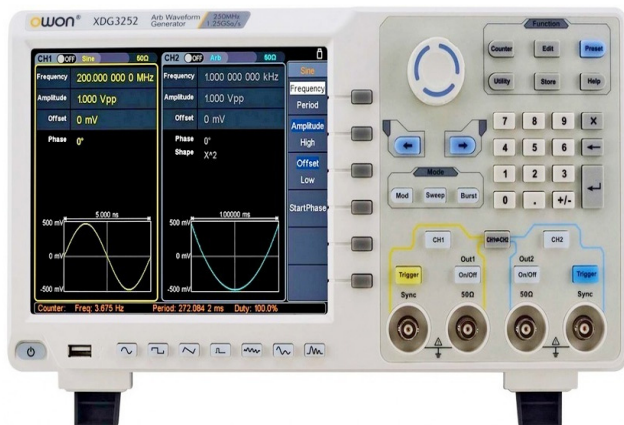


Рисунок 11. Генератор сигналов

Генераторы сигналов – приборы, позволяющие получать электрические, акустические и иного рода импульсы. Устройства бывают разных видов – обычно прибор подбирают под конкретную цель. Решающими факторами при выборе могут оказаться форма прибора, его статические функции и энергетические показатели. Генераторы сигналов используют современные лаборатории разработчиков электронных и измерительных приборов. Одинаковые генераторы могут применяться в кабинетах от начального до продвинутого уровня.

Однако эти функциональные устройства применяют для настройки и тестирования оборудования и в областях, более доступных обывателю. Вот лишь неполный список устройств, которые используют генераторы:

- мобильные телефоны, техника для передачи данных, радио- и телеприемники
- вычислительные приборы
- инверторы, источники бесперебойного питания от электричества или импульсов
- бытовые приборы (СВЧ-печи, стиральные и посудомоечные машины)
- измерительные приборы (амперметры, вольтметры, осциллографы)
- медицинская аппаратура (томографы, электрокардиографы, аппараты УЗИ).

Генераторы сигналов генерируют сигналы различной формы с переменной частотой (от 1 Гц до 100 МГц) и амплитудой.

Источники переменного питания

Источники переменного питания – источники питания с переменной мощностью, благодаря которым можно регулировать либо выходное напряжение, либо ток, хотя большинство источников питания позволяют устанавливать максимальный ток.

Существуют различные типы источников питания. Большинство из них разработаны для преобразования переменного тока высокого напряжения (AC) в низкое напряжение постоянного тока (DC) для питания различных схем электроники и других устройств. Источники питания могут быть разбиты на несколько функциональных блоков, каждый из которых выполняет свою функцию.

Например, стабилизированный источник питания:

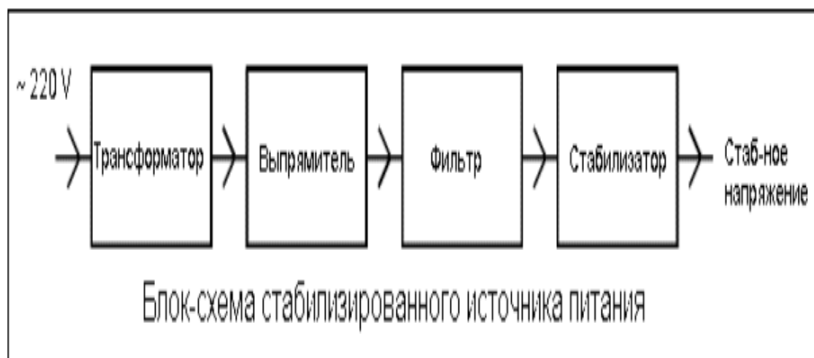


Рисунок 12. Блок-схема стабилизированного источника питания

Каждый функциональный блок отвечает за реализацию определенной функции:

- Трансформатор – преобразует (как правило, понижает) напряжение сети до нужного напряжения источника питания.
- Выпрямитель – преобразует (выпрямляет) переменное напряжение с трансформатора в постоянное.
- Фильтр – сглаживает пульсации выпрямленного напряжения.
- Стабилизатор – стабилизирует выходное напряжение.

Логический зонд (щуп-индикатор)

При контроле и наладке схем, содержащих интегральные логические элементы, удобно пользоваться логическим зондом (щуп-индикатор), который осуществляет визуальную индикацию напряжений логических сигналов «0» и «1» в точках проверяемой схемы, а также фиксирует отсутствие соединения (холостой ход) на входе.

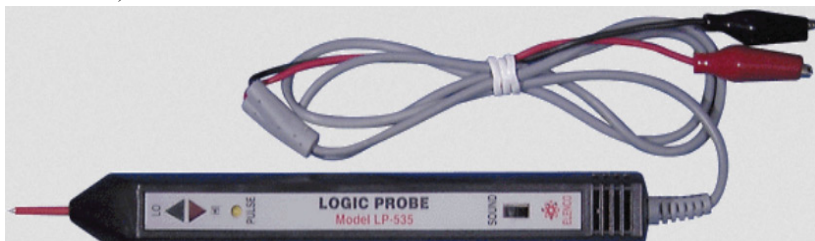


Рисунок 13. Логический зонд (щуп-индикатор)

Частотомер

Частотомер – радиоизмерительный прибор для определения частоты периодического процесса или частот гармонических составляющих спектра сигнала.



Рисунок 14. Частотомер

Частотомер представляет собой специализированный измерительный прибор, созданный для определения частоты, то есть периода колебаний электросигнала. Частота – один из основных показателей тока. Она определяет

число колебаний за определенный временной цикл. Измеряется частота в герцах, она обратно пропорциональна периоду колебаний. Элементы оборудования, работающие на электрическом токе, должны работать на токах определенной частоты. Именно поэтому так важны устройства для определения частоты протекающего тока.

Зная частоту, можно своевременно настроить, обслужить, диагностировать и выполнить регулировку оборудования разнообразного назначения, осуществить контроль протекания технологических процессов. Приборы для измерения частоты могут иметь разное конструктивное исполнение, что определяется их назначением и особенностями работы. Подобные приборы требуются во многих областях науки и промышленности. Особенное значение приборы для измерения частоты имеют в телекоммуникационной, радиоэлектронной и электротехнической деятельности.

2.5.4 Электронные компоненты

Светодиод

Светодиод — это устройство, которое представляет собой полупроводниковый прибор, способный излучать свет при пропускании через него электрического тока в прямом направлении (от анода к катоду).

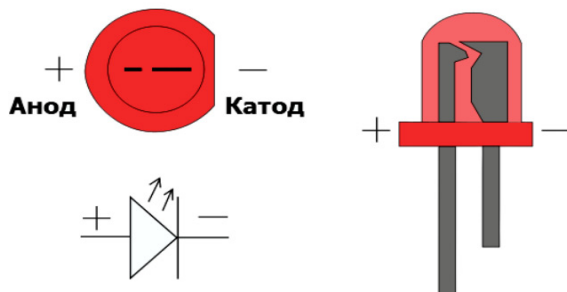


Рисунок 15. Светодиод

Ниже приводятся основные области применения диодов:

Диодные мосты представляют собой 4, 6 или 12 диодов, соединенных между собой, их количество зависит от типа схемы, которая может быть однофазной, трехфазной полумостовой или трехфазной полномостовой. Они

выполняют **функции выпрямителей**, такой вариант чаще всего используется в автомобильных генераторах, поскольку внедрение подобных мостов, а также использование вместе с ними щеточно-коллекторных узлов, *позволило в значительной степени сократить размеры данного устройства и увеличить степень его надежности*. Если соединение выполнено последовательно и в одну сторону, то это повышает минимальные показатели напряжения, которое потребуется для отпираания всего диодного моста.

Диодные детекторы получают при комбинированном использовании данных приборов с конденсаторами. Это необходимо для того, чтобы было можно **выделить модуляцию с низкими частотами из различных модулированных сигналов**, в том числе амплитудно-модулированной разновидности радиосигнала. Такие детекторы являются частью конструкции многих бытовых потребителей, например, телевизоров или радиоприемников.

Обеспечение защиты потребителей от неверной полярности при включении схемных входов от возникающих перегрузок или ключей от пробоя электродвижущей силой, возникающей при самоиндукции, которая происходит при отключении индуктивной нагрузки. Для обеспечения безопасности схем от возникающих перегрузок, применяется цепочка, состоящая из нескольких диодов, имеющих подключение к питающим шинам в обратном направлении. При этом, вход, которому обеспечивается защита, должен подключаться к середине этой цепочки. Во время обычного функционирования схемы, все диоды находятся в закрытом состоянии, но если ими было зафиксировано, что потенциал входа ушел за допустимые пределы напряжения, происходит активация одного из защитных элементов. Благодаря этому, данный допустимый потенциал получает ограничение в рамках допустимого питающего напряжения в сумме с прямым падением показателей напряжение на защитном приборе.

Переключатели, созданные на основе диодов, используются для осуществления коммутации сигналов с высокими частотами. Управление такой системой осуществляется при помощи постоянного электрического тока, разделения высоких частот и подачи управляющего сигнала, которое происходит благодаря индуктивности и конденсаторам.

Создание диодной искрозащиты. Используются шунт-диодные барьеры, которые обеспечивают безопасность путем ограничения напряжения в соответствующей электрической цепи. В совокупности с ними применяются токоограничительные резисторы, которые необходимы для ограничения показателей электрического тока, проходящего через сеть, и увеличения степени защиты.

Включение светодиодов в схемы при сборке робототехнических конструкций, позволит избежать неприятных ситуаций, связанных с неисправностью логической схемы. Светодиод – индикатор неисправности, по тому, как ведет себя диод (светит, тускнеет, гаснет), можно судить о работоспособности собранной схемы.

Соединители

Электрический соединитель (приборный разъем) – это электромеханическое устройство, предназначенное для механического соединения и разъединения вручную электрических цепей (проводов, кабелей, узлов и блоков) в различных видах электро- и радиоаппаратуры при выключенном источнике питания.



Рисунок 16. Соединители

Использование разъемов обусловлено необходимостью разделения радиоаппаратуры на блоки для удобства сборки, ремонта, эксплуатации. Особенностью эксплуатации разъемов является сравнительно небольшое количество соединений и разъединений (100...500 раз). Соединения и разъединения производятся в нерабочем состоянии аппаратуры – при монтаже, сборке, ремонте.

Соединитель состоит из двух частей (контактов-деталей) – вилки, с закрепленными в ней контактными штырями, и розетки, содержащей контактные гнезда.

Основными элементами конструкции электрических соединителей являются контакты-детали, изоляторы, корпусные детали и зажимные элементы.

Изоляторы предназначены для создания электрической изоляции между контактами и между контактами и металлическим корпусом в заданных условиях работы. Изоляторы служат также для закрепления и фиксации контактов и передачи механических сил контактам при сочленении и расчленении вилок и розеток соединителей.

Корпус соединителя обеспечивает прочную и однозначную установку контактов, защиту контактов и изоляторов от повреждений, крепление жгута или кабеля к соединителю и всего соединителя к аппаратуре, взаимную ориентацию ответных частей соединителя и их фиксацию в сочлененном положении.

Разъемы смещения изоляции (IDC)

Разъем смещения изоляции – вид соединителя, предназначенного для использования в ленточных кабелях.

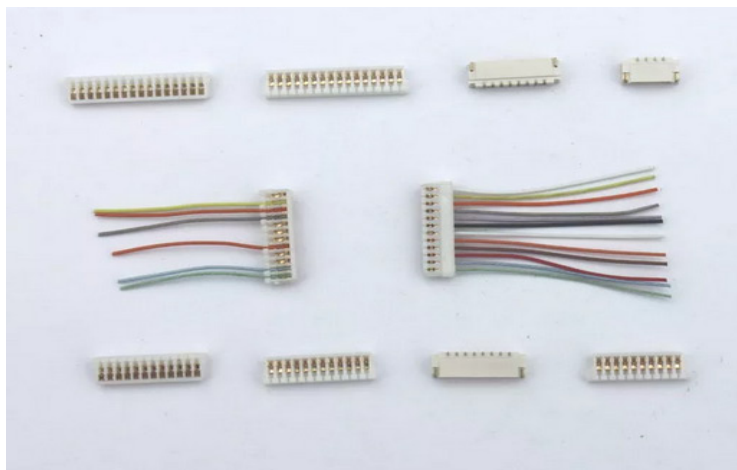


Рисунок 17. Разъемы смещения изоляции (IDC)

В них подключение проводников осуществляется без снятия изоляции, а путем ее смещения во время заделки специальными ножевыми контактами разъема

Сетевой разъем RJ45



Рисунок 18. Сетевой разъем

Сетевым разъемом являются соединителем электронной аппаратуры, через который на нее поступает электропитание. От сетевых разъемов напрямую зависят не только надежность работы техники, но и качество переданного сигнала.

Сетевые разъемы высокого класса от специализированного изготовителя в сочетании с соответствующим кабелем позволят создать соединитель необходимой конфигурации и длины, предназначенный для решения конкретной задачи.

В робототехнике часто используют разъемы RJ45, которые похожи на обычные телефонные разъемы, только больше размером. По ним передается сигнал сети между двумя компьютерами, соединенными кабелем, или между компьютером и коммутатором, концентратором или модемом.

2.5.5 Механические компоненты и двигатели

Шестерня

Зубчатое колесо или Шестерня – это деталь, которая применяется в механизмах зубчатой передачи и выполняет основную функцию – передает вращательное движение между валами, при помощи зацепления с зубьями соседней шестерни. Выглядит шестерня как диск с конической или цилиндрической поверхностью, на которой на равном расстоянии расположены зубья. В зубчатой передаче шестерней называют малое зубчатое колесо с небольшим количеством зубьев, а большое – зубчатым колесом. В случае

применения пары шестерен с одинаковым количеством зубьев, ведущую называют шестерней, а ведомую – зубчатым колесом. Но чаще всего все зубчатые колеса и малые и большие называют шестернями (шестеренками).

Заурядно используют шестерни парами с различным количеством зубьев, этот механизм зубчатой передачи позволяет преобразовать число оборотов валов и вращающий момент. Передаточное число – это отношение чисел оборотов валов в минуту, определяется отношением диаметров шестерен или отношением чисел из зубьев. Число зубьев на колесах влияет на плавность хода передачи, чем их число больше, тем плавнее будет ход передачи. Ведущей шестерней называется та, вращение которой передается извне, а ведомой называют шестерню, с которой снимается вращающий момент. Если диаметр ведущей шестерни больше, то вращающий момент ведомой шестерни уменьшается за счёт пропорционального увеличения скорости вращения, и наоборот.

В робототехнике шестерни используются для передачи вращательных сил между осями. Они могут изменить скорость и направление. Обычно шестерни используются для снижения скорости двигателя. Когда они уменьшают скорость, крутящий момент выходной оси увеличивается.

Рассмотри типы зубчатых передач, используемых в робототехнике:

1. *Цилиндрическая передача* состоит из колёсной пары обычно с разным числом зубьев. Оси зубчатых колёс в цилиндрической передаче параллельны. Отношение чисел зубьев называется передаточным отношением. Малое зубчатое колесо называется шестернёй, большое — колесом. Если шестерня ведущая, а передаточное число больше единицы, то говорят о понижающей передаче. Частота вращения колеса будет меньше частоты вращения шестерни. Одновременно при уменьшении угловой скорости увеличивается крутящий момент на валу. Если передаточное число меньше единицы, то это повышающая передача.



Рисунок 19. Цилиндрическая передача (прямозубая и косозубая)

2. *Коническое зацепление.* Характеризуется тем, что оси зубчатых колёс пересекаются и вращение передаётся между валами, которые расположены под определённым углом. В зависимости от того, какое колесо в передаче ведущее, они тоже могут быть повышающими и понижающими.



Рисунок 20. Коническое зацепление

3. *Червячная передача* имеет скрещивающиеся оси вращения. Большие передаточные числа получаются из-за соотношения числа зубьев колеса и числа заходов червяка. Червяки используются одно-, двух- или четырехзаходные. Особенностью червячной передачи является передача вращения только от червяка к червячному колесу. Обратный процесс невозможен из-за трения. Система самотормозящаяся. Этим обусловлено применением червячных редукторов в грузоподъёмных механизмах.



Рисунок 21. Червячная передача

4. *Реечное зацепление.* Образовано зубчатым колесом и рейкой. Преобразует вращательное движение в поступательное и наоборот.

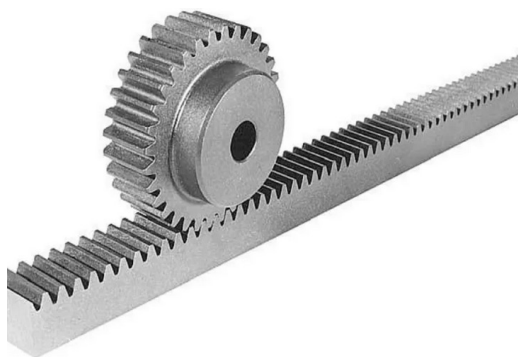


Рисунок 22. Реечное зацепление

5. *Винтовая передача.* Применяется при перекрещивающихся валах. Из-за точечного контакта зубья зацепления подвержены повышенному износу под нагрузкой. Применяются винтовые передачи чаще всего в приборах.

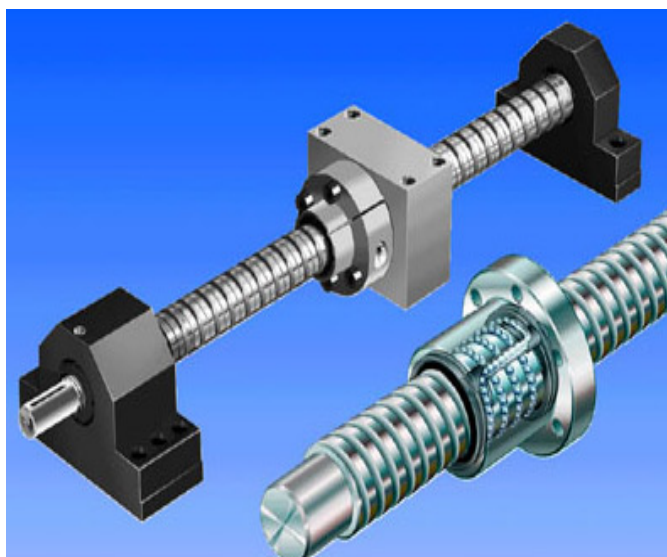


Рисунок 23. Винтовая передача

6. *Планетарные передачи* — это зацепления, в которых применяются зубчатые колёса с подвижными осями. Обычно имеется неподвижное наружное колесо с внутренней резьбой, центральное колесо и водило с сателлитами, которые перемещаются по окружности неподвижного колеса и вращают центральное. Вращение передаётся от водила к центральному колесу или наоборот.

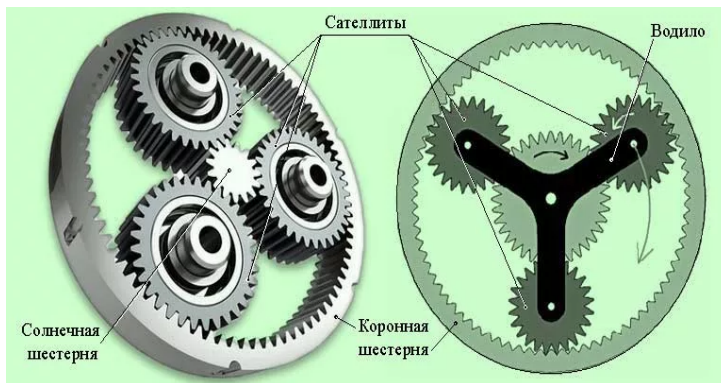


Рисунок 24. Планетарная передача

Зубчатые передачи являются наиболее распространёнными типами механических передач. Они находят широкое применение во всех отраслях машиностроения, в частности в металлорежущих станках, автомобилях, тракторах, сельхозмашинах, роботах, в приборостроении, часовой промышленности и др. Их применяют для передачи мощностей от долей до десятков тысяч киловатт при окружных скоростях до 150 м/с и передаточных числах до нескольких сотен и даже тысяч, с диаметром колёс от долей миллиметра до 6 м и более.

Зубчатая передача относится к передачам зацеплением с непосредственным контактом пары зубчатых колёс. Меньшее из колёс передачи принято называть шестерней, а большее – колесом. Зубчатая передача предназначена в основном для передачи вращательного движения.

Достоинства зубчатых передач

- 1) высокая нагрузочная способность;
- 2) малые габариты;
- 3) большая надёжность и долговечность (40000 ч);
- 4) постоянство передаточного числа;
- 5) высокий КПД (до 0,97...0,98 в одной ступени);
- 6) простота в эксплуатации.

Недостатки зубчатых передач

- 1) повышенные требования к точности изготовления и монтажа;
- 2) шум при больших скоростях;
- 3) высокая жёсткость, не позволяющая компенсировать динамические нагрузки.

Выбор двигателя для робота напрямую зависит от задач, которые должен выполнять робот. Двигатель (мотор) может входить в состав привода или отдельно быть приводом.

Привод может быть определен как устройство, которое преобразует энергию (в робототехнике это, как правило, электрическая энергия) в физические движения.

Подавляющее большинство приводов производят либо вращательное или линейное движение. Например, мотор — это тип привода. Правильный выбор приводов для робота требует понимание того, что приводы доступны. Возможно, немного фантазии, и немного математики и физики. Приводы вращения — это тип приводов преобразования электрической энергии во вращательное движение.

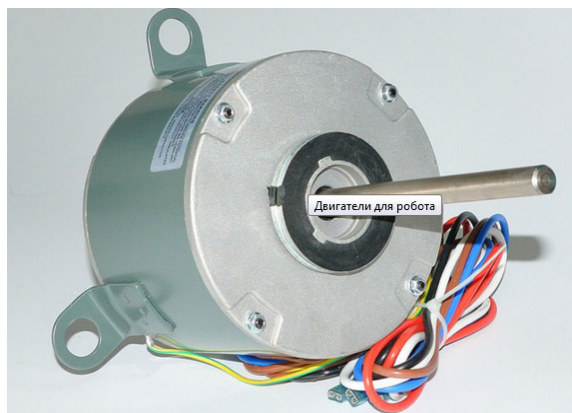


Рисунок 25. Двигатель переменного тока

Двигатель переменного тока (AC) редко используется в мобильных роботах. В первую очередь потому, что большинство из них рассчитаны на питание постоянным током (DC) от батареи. Двигатели переменного тока используются в основном в промышленных помещениях, где требуется очень высокий крутящий момент. Прежде всего там, где моторы подключены к электросети.



Рисунок 26. Двигатель постоянного тока

Двигатели постоянного тока MotorDC моторы имеют разнообразные формы и размеры. Хотя большинство из них цилиндрические. Они имеют выходной вал, который вращается на высоких скоростях, обычно в 5 000 до 10 000 оборотов в минуту. Хотя двигатели постоянного тока очень быстро вращаются, большинство из них не очень мощные. Такие двигатели для робота имеют низкий крутящий момент.

Для того, чтобы снизить скорость и увеличить крутящий момент, могут быть добавлены редукторы. Чтобы установить двигатель на робота, нужно закрепить корпус двигателя на раме робота. По этой причине двигатели для робота часто имеют монтажные отверстия, которые обычно располагаются на лицевой стороне двигателя. Следовательно, они могут быть установлены перпендикулярно к поверхности.

Двигатели постоянного тока могут работать по часовой стрелке (CW) и против вращения часовой стрелки. Угловое движение вала может быть измерено с помощью потенциометров.



Рисунок 27. Мотор редуктор постоянного тока

Это двигатель постоянного тока в сочетании с коробкой передач. Она работает, чтобы уменьшить скорость двигателя и увеличить крутящий момент. Например, двигатель постоянного тока вращается со скоростью 10000 оборотов в минуту и достигает 0,001 Н*м крутящего момента. Если добавить понижающую передачу 100:1 (сто к одному), то снизим скорость в 100 раз. В результате $10000 / 100 = 100$ об / мин и увеличим крутящий момент в 100 раз ($0,001 \times 100 = 0,1$ Н*м).

Основные виды понижающих передач это:

- зубчатая передача
- ременная
- планетарная
- червячная

Червячная передача позволяет получить очень высокое передаточное число. И также не дает выходному валу двигаться, если двигатель не работает. Редуктору лучше всего подходят для роботов манипуляторов.



Рисунок 28. Серводвигатель

Часто сервомоторы могут поворачиваться на угол до 180 градусов. Они поворачиваются на определенный угол поворота. И часто используются в более дорогих моделях дистанционного управления средствами для управления или контроля полета.

Теперь они используются в различных приложениях. Цены на эти сервоприводы значительно сократились, разновидность (по размерам, технологиям и силе) увеличилась.

Серводвигатели лучше всего подходят для создания небольших шагающих роботов.

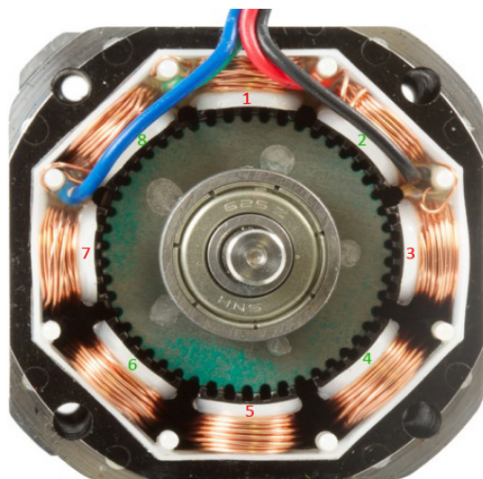


Рисунок 29. Шаговый двигатель

Шаговый двигатель вращается на определенные “ступени” (конкретные градусы). Число ступеней и размер шага зависит от нескольких факторов. Большинство шаговых двигателей не включают в себя передачи. Так как это двигатели постоянного тока и вращающий момент низок.

Правильно настроенный шаговый двигатель может вращаться вправо и влево и может быть установлен в требуемое угловое положение. Есть однополярные и биполярные типы шаговых двигателей. Одним заметным недостатком шаговых двигателей является то, что если мотор не работает, трудно быть уверенным в угле пуска двигателя.

Если добавить передачу, то шаговый двигатель имеет тот же самый эффект, как и добавление передачи на двигатель постоянного тока: он увеличивает крутящий момент и снижает угловую скорость.

Шаговые двигатели используются, когда угол поворота должен быть очень точными. Шаговые двигатели для робота в сочетании с контроллером шагового электродвигателя могут дать очень точное угловое движение. Иногда предпочтительнее серводвигатели, поскольку они обеспечивают непрерывное вращение. Они обладают очень высокой точностью.

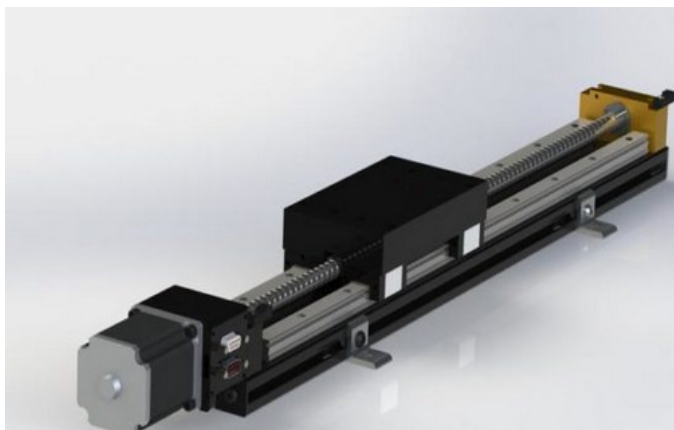


Рисунок 30. Линейный привод

Линейный привод производит линейное движение (движение вдоль одной прямой линии) и имеют три основные отличительные механические характеристики.

1. Минимальное и максимальное расстояние, на которое стержень может сдвинуть вал (в мм или дюймах).
2. Их сила (в кг или фунтах).
3. Их скорость (в м/с или дюйм/с).

Линейный привод часто состоит из двигателя постоянного тока, подключенного к червячной передаче. Когда двигатель вращается, то крепление на винте будет либо ближе или дальше от двигателя. По существу червячная передача преобразует вращательное движение в линейное движение. Некоторые линейные приводы постоянного тока включают в себя линейный потенциометр, который обеспечивает линейную обратную связь. Линейные приводы постоянного тока бывают разнообразных размеров и типов.

Линейные приводы являются лучшими для перемещения объектов и расположения их по прямой линии. Для очень быстрого движения можно использовать пневматику или соленоиды. Для очень высоких мощностей можно использовать линейные приводы постоянного тока и также гидравлику.



Рисунок 31. Соленоид

Соленоид состоит из катушки намотанной вокруг подвижного сердечника. Когда катушка находится под напряжением, сердечник отталкивается от магнитного поля и производит движения в одном направлении. Несколько катушек или некоторые механические механизмы потребуются для того, чтобы обеспечить движение в двух направлениях.

Соленоиды обычно очень маленькие, но их скорость очень большая. Сила зависит в основном от размера катушки и от того какой силы ток идет через него. Этот тип привода используется в клапанах или системах фиксации. В таких системах, как правило, нет обратной связи по положению (сердечник либо полностью убирается или полностью выдвинут).

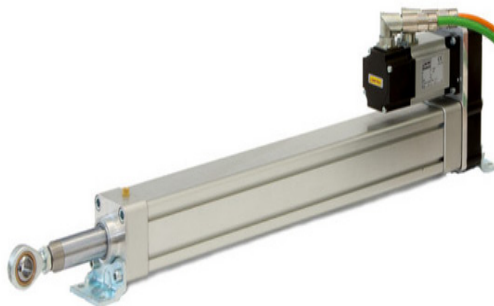


Рисунок 32. Пневматические и гидравлические приводы

Пневматические и гидравлические приводы с помощью воздуха или жидкости (например воды или масла), служат для того чтобы двигаться линейно. Эти типы приводов могут иметь очень длинный ход, большую мощность и высокую скорость.

Для того чтобы эксплуатироваться они требуют использование жидкости компрессора. Это делает их более сложными в эксплуатации, чем обычные электрические приводы. Они имеют большую мощность, скорости и, как правило, большой размер. И в первую очередь используются в промышленном оборудовании

2.5.6 Конструкционные материалы

При проектировании роботов необходимо выбрать материал для корпуса робота. Существует много вариантов выбора материалов, однако не каждый материал является подходящим для определенной конструкции. У каждого материала есть свои особенности, преимущества и недостатки. Важный критерий, определяющий выбор материала для конструирования робота – размеры будущего робота. В практике робототехники выделяют роботов малых размеров (робот, который может маневрировать на столе), средних размеров (робот, который слишком велик для перемещения по столу, но при этом достаточно легкий для самостоятельного подъема) и больших.

Дерево

Дерево – лучший материал на начальном этапе робототехнического проектирования. Этот материал легкий, достаточно прочный, простой в работе, дешевый. Даже если планируется использовать металл или пластик в будущей конструкции, дерево может пригодиться для создания прототипов. Основная причина того, что дерево не используют в промышленной робототехнике, заключается в том, что дерево: во-первых, не высокотехнологичный материал, во-вторых, древесина – натуральный композитный материал, но с низким коэффициентом охлаждения, по сравнению с синтетическими композитными материалами, у которых очень высокий коэффициент охлаждения.

Таким образом, древесину можно использовать при конструировании роботов малого и среднего размера, при прототипировании и как вспомогательное средство.

Металл

Существует 80 различных чистых металлов, каждый из которых имеет различные свойства. В робототехническом конструировании используется

лишь несколько чистых металлов, в большей степени применяются легированные металлы.

Легирование – это процесс соединения двух или более элементов, по меньшей мере, один из которых является металлом, и где полученный материал обладает металлическими свойствами. Полученное металлическое вещество имеет различные свойства (иногда значительно отличающиеся) от свойств его компонентов. Свойства некоторых металлов и их сплавов приведены ниже.

Алюминий

Алюминий – достаточно дешевый металл, легкий, прочный, устойчивый к коррозии и с ним легко работать. Однако сварка алюминия непрактична, так как для этого требуется специальное сварочное оборудование, а склеивание не очень прочное. Хотя пайка возможна, но она не создает прочной связи. Для соединения деталей практичнее использовать гайки, болты, заклепки.

В робототехническом конструировании алюминий пригоден для роботов малого или среднего размера, для не несущих частей в больших роботах. Существует сплав алюминия – *дюралюминий*, он прочный, очень легкий, но дорогой в производстве, поэтому для робототехники не пригоден.

Сталь

Обычно доступная для применения сталь представляет собой сплав железа, который прочнее алюминия, но с ним тяжелее и сложнее работать. Например, при сверлильных работах, притупляются инструменты, стружка очень острая. Сварка деталей возможна, но в местах нагрева стали (при температуре сварки) меняются характеристики сплава (прочность, твердость, устойчивость к ржавчине). Для сверления стали требуется охлаждение и низкая скорость сверления (вращательная).

В робототехническом конструировании такой материал пригоден для больших роботов и роботов, предназначенных для работы в тяжелых условиях. Рассматриваемый материал слишком тяжел для маленьких или средних роботов.

Бронза

Бронза — это сплав меди с такими металлами, как олово, алюминий, свинец, бериллий, и неметаллами — мышьяк, кремний и фосфор. Кроме того, такие сплавы могут дополнительно легироваться фосфором, цинком, марганцем, железом и никелем.

Для робототехнических конструкций бронза не пригодна, т.к. материал слишком тяжелый и дорогой. Бронза применяется при изготовлении подшипников.

Латунь

Латунь представляет собой сплав на основе металлов: меди и цинка. Латунь тяжелее и дороже алюминия, легко обрабатывается, можно паять, достаточно жесткая и пружинит. Латунь применяется при изготовлении мелких механизмов, электрических контактов, различных видов пружинных зажимов.

Медь

Медь – это пластичный золотисто-розовый металл с характерным металлическим блеском. В чистом виде медь достаточно мягкая, тягучая и легко прокатывается и вытягивается. Примеси способны повысить её твердость.

Высокую электропроводность меди можно назвать главным свойством, определяющим её преимущественное использование. Также медь обладает очень высокой теплопроводностью.

Медь обладает высокими значениями плотности, температуры плавления и температуры кипения. Важным свойством также является хорошая стойкость по отношению к коррозии. К примеру, при высокой влажности железо окисляется значительно быстрее.

Медь хорошо поддается обработке: прокатывается в медный лист и медный прут, протягивается в медную проволоку с толщиной, доведённой до тысячных долей миллиметра

В робототехническом конструировании применяется в виде проволоки, осей, специальных деталей.

Синтетические материалы

Синтетические материалы – это название большой группы материалов. Существуют сотни различных пластиков, каждый из которых имеет различные характеристики и применение. Рассмотрим некоторые из них. Большинство синтетических материалов можно согнуть в форму после того, как они нагреты. Сверление и распиловка этих материалов требуют низких скоростей или их необходимо охлаждать водой, чтобы материал не плавился. Мягкий пластик можно разрезать универсальным ножом.

ПВХ

Поливинилхлорид (ПВХ) твёрдый, однако обладает определённой сжимаемостью. Это свойство снижает вероятность ослабления закрученных гаек в результате вибрации. Лист ПВХ легко обрабатывается и режется. Аналогичный материал – пенополистирол, представляющий собой лист твёрдого пенопласта толщиной 5 мм, покрытый с обеих сторон пластиковой плёнкой. Такой лист менее прочный, чем ПВХ, однако он также удобен в обработке и пригоден для небольших лёгких роботов.

Плексиглас

Плексиглас легок в обработке и достаточно прочный, прозрачный, можно согнуть в форму после того, как он нагрет до 200 ° С. Плексиглас удобен в обработке и пригоден для небольших лёгких роботов.

Композитные материалы

Полимерные композиционные материалы – это материалы, состоящие из полимерной матрицы и армирующего материала. Эти материалы значительно прочнее и жестче, чем стальные и алюминиевые сплавы.

Причина, по которой композитные материалы не заменили сталь, заключается в стоимости. Композиты используются только тогда, когда вес является более важным фактором, чем цена, например, в самолетостроении: меньший вес означает меньший расход топлива и / или большую полезную нагрузку.

В робототехнике используют три основные формы композитов: 1) слоистый материал, как правило, в форме листа, который сочетает в себе дерево, бумагу, пластик или металл, опираясь на внутренние свойства каждого с целью повышения жёсткости; 2) материал с использованием стекловолокна и смолы. Иногда наполнитель из металла, ткани или углерода добавляют к смоле, чтобы придать ему прочность; 3) материал с использованием углерода или графита (для прочности).

Пенопласт

Пенопласт – класс материалов, представляющий собой вспененные (ячеистые) пластические массы. Поскольку основной объём пенопласта занимает газ, плотность пенопласта существенно ниже, чем плотность его

исходного сырья (полимера). Пенопласт легок в обработке и монтаже, можно создать конструкцию любой геометрической формы, обладает низкой прочностью и высокой плотностью при сжатии, высокой теплоизоляцией, не содержит веществ из токсичного и вредного для здоровья человека ряда, низкой ценой материала. В тоже время, пенопласт обладает лимитированной механической прочностью, что обуславливает необходимость формирования защиты после монтажа; разрушается при соприкосновении с лакокрасочными веществами и нитрокрасками; может быть поврежден грызунами, поэтому его необходимо покрывать менее привлекательными для животных веществами.

Для робототехники пенопласт непрочен, практичен лишь для создания прототипов.

Картон

Обычно это непрочный материал, но он очень практичен для создания быстрых прототипов. Картон можно разрезать ножом или ножницами и склеивать скотчем или клеевым пистолетом. Когда он сухой, он является изолятором и может использоваться в качестве платы для прототипирования схем.

Часто из картона изготавливают макет, чтобы убедиться, что части робота правильно соединены. Иногда картон можно использовать для некоторых частей конструкции работающего робота

2.6 Программное обеспечение

Программирование роботов обычно является заключительным этапом, связанным с созданием роботов.

Без программирования, робот является очень красивым и дорогим макетом, не умеющим ничего делать.

Программное обеспечение для программирования должно соответствовать выбранному микроконтроллеру. Если выбран микроконтроллер Arduino, то нужно выбрать программное обеспечение Arduino.

Если выбрана линейка Lego, то нужно выбрать программное обеспечение для Lego. Чтобы использовать различные микроконтроллеры, требуется определиться с языком программирования. Наиболее распространенными языками программирования роботов являются:

- Ассемблер

Это язык низкого уровня максимально приближенный к машинному коду. Ассемблер нужно использовать только тогда, когда необходим абсолютный контроль над кодом на уровне инструкций.

- Basic

Один из первых широко используемых языков программирования. Он по-прежнему используется некоторыми микроконтроллерами (Basic Micro , BasicX , Parallax) для программирования учебных роботов.

- C / C ++

Один из самых популярных языков. Язык Си обеспечивает высокоуровневую функциональность, сохраняя при этом хороший контроль низкого уровня.

- Java

Он более современный, чем Си. Он обеспечивает множество функций безопасности в ущерб контролю низкого уровня. Некоторые производители делают микроконтроллеры специально для использования с Java.

- C #

Запатентованный язык Microsoft используется для разработки приложений в Visual Studio.

- Python

Один из самых популярных языков. Он очень прост в освоении и поэтому может использоваться для быстрой и эффективной передачи программ.

- Программное обеспечение Arduino.

Используется вариант C ++. Программирование роботов на нём включает некоторые упрощения для того, чтобы сделать программирование не сложным.

Для управления роботом необходимо запрограммировать микроконтроллер. *Микроконтроллер* — это вычислительное устройство, способное выполнять программы (то есть последовательность инструкций).

Он часто упоминается как “мозг” или “центр управления” робота. Как правило, микроконтроллер отвечает за все вычисления, принятие решений и коммуникации.

Для того, чтобы взаимодействовать с внешним миром, микроконтроллер имеет ряд выводов для электрического распознавания сигнала. Так сигнал может быть включен на максимум (1/C) или минимум (0/выкл) с помощью инструкции программирования. Эти выводы также могут быть использованы для считывания электрических сигналов. Они поступают с датчиков или других приборов и определяют, являются сигналы высокими или низкими.

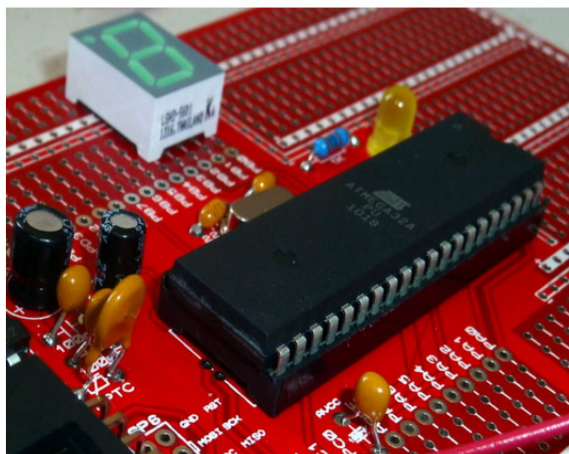


Рисунок 33. Плата с микроконтроллером

Большинство современных микроконтроллеров может также измерять напряжение аналоговых сигналов. Это сигналы, которые могут иметь полный диапазон значений вместо двух четко определенных уровней. Происходит это с помощью аналогового цифрового преобразователя (АЦП). В результате микроконтроллер может присвоить сигналу числовое значение в виде аналогового напряжения. Это напряжение не является ни высоким, ни низким и, как правило, находится в диапазоне 0 — 10 вольт.

Хотя микроконтроллеры могут показаться довольно ограниченными, на первый взгляд, многие сложные действия можно выполнять, используя контакты высокого и низкого уровня сигнала для программирования алгоритма. Тем не менее, создавать очень сложные алгоритмы, такие как интеллектуальное поведение или очень большие программы, может быть просто невозможно для микроконтроллера из-за ограниченных ресурсов и ограничения в скорости.

Например, для того, чтобы заставить мигать свет, можно запрограммировать повторяющуюся последовательность. Так микроконтроллер включает высокий уровень сигнала, ждет секунду, превращает его низкий, ждет еще секунду и снова. Свет подключен к выходному контакту микроконтроллера и в циклической программе будет мигать бесконечно.

Аналогичным образом, микроконтроллеры могут быть использованы для контроля других электрических устройств. В первую очередь, приводы (при подключении к контроллеру двигателя), устройства хранения (например, карты SD), Wi-Fi или bluetooth-интерфейсы и т.д. Как следствие этой невероятной универсальностью, микроконтроллеры можно найти в повседневной жизни.

Практически в каждом бытовом приборе или электронном устройстве используется, по крайней мере, один микроконтроллер. Хотя часто используется и несколько микроконтроллеров. Например, в телевизорах, стиральных машинах, пультах управления, телефонах, часах, СВЧ-печах и многих других устройствах.

В отличие от микропроцессоров (например, центральный процессор в персональных компьютерах), микроконтроллер не требует периферийных устройств. Таких как внешняя оперативная память или внешнее устройство хранения данных для работы. Это означает, что хотя микроконтроллер может быть менее мощным, чем их коллеги ПК. Почти всегда разработка схем и продуктов, основанных на микроконтроллерах значительно проще и дешевле, потому что требуется очень мало дополнительных аппаратных компонентов.

Важно отметить, что микроконтроллер может выдавать только очень небольшое количество электрической энергии через свои выходные контакты. Это означает, что к микроконтроллеру не получится подключить мощный электродвигатель, соленоид, большое освещение, или любую другую большую нагрузку напрямую. Попытка сделать это может вывести контроллер из строя.

Специальное оборудование, встроенное в микроконтроллеры позволяет этим устройствам сделать больше, чем обычный цифровой ввод/вывод, базовые расчеты и принятие решений. Многие микроконтроллеры с готовностью поддерживают наиболее популярные протоколы связи, такие как UART (RS232 или другой), SPI и I2C. Эта функция невероятно полезна при общении с другими устройствами, такими как компьютеры, датчики, или другие микроконтроллеры.

Хотя эти протоколы можно реализовать вручную, всегда лучше иметь выделенное встроенное оборудование, которое заботится о деталях. Это позволяет микроконтроллеру сосредоточиться на других задачах и обеспечивает чистоту программы.

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП), используются для преобразования аналоговых сигналов напряжения в цифровые. Там количество пропорционально величине напряжения, и это число может затем использоваться в программе микроконтроллера. Для того, чтобы выходное промежуточное количество энергии отличалось от высокого и низкого, некоторые микроконтроллеры имеют возможность использовать широтно-импульсную модуляцию (ШИМ). Например, этот способ позволяет плавно изменять яркость свечения светодиода.

В некоторые микроконтроллеры интегрирован стабилизатор напряжения. Это достаточно удобно, так как позволяет микроконтроллеру работать с широким диапазоном напряжения. Поэтому не требуется обеспечивать

необходимые значения напряжений. Это также позволяет легко подключать различные датчики и другие устройства без дополнительного внешнего регулируемого источника питания.

Какие нужно использовать входные и выходные сигналы зависит от поставленной задачи и условий. Например, если у стоит задача просто что-то включить или выключить, то достаточно чтобы сигнал на входном контакте микроконтроллера был цифровой. Двоичное состояние переключателя 0 или 1. Высокий уровень сигнала может быть 5 вольт, а низкий 0. Если же нужно измерить, например, температуру, то нужен аналоговый входной сигнал. Далее АЦП на микроконтроллере интерпретирует напряжение и преобразует его в числовое значение.

Программирование микроконтроллеров стало более простым благодаря использованию современных интегрированных сред разработки IDE с полнофункциональными библиотеками. Они легко охватывают все наиболее распространенные задачи и имеют много готовых примеров кода.

В настоящее время микроконтроллеры могут быть запрограммированы на различных языках высокого уровня. Это такие языки как C, C++, C#, Python, Basic и другие.

- Микроконтроллеры Arduino используют программное обеспечение Arduino и перепрограммируются в процессе обработки.

- Базовые микроконтроллеры Stamp используют PBasic.
- Микроконтроллеры Basic Atom используют Basic Micro.
- Javelin Stamp из Parallax запрограммирован на Java.

Если применяется микропроцессор известного или популярного производителя то, скорее всего, существует много литературы по этой теме. В этом случае программирование роботов не вызовет больших трудностей.

Если же выбирается микроконтроллер у небольшого, малоизвестного производителя (например, потому что у него было много функций, которые, по вашему мнению, были бы полезны для проекта), то важно посмотреть, на каком языке должен быть запрограммирован контроллер и какие средства разработки доступны (обычно от производителя контроллеров).

Программировать микроконтроллеры становится проще, так как производители создают графические среды программирования. Это пиктограммы, которые содержат в себе несколько строк кода. Пиктограммы соединяются друг с другом. В результате создается программа визуально простая, но содержащая в себе большое количество кода. Например, одно изображение может представлять управление двигателем. От пользователя требуется только разместить пиктограмму там, где необходимо и указать направление вращения и обороты.

Разработанные микроконтроллерные платы достаточно удобны в эксплуатации. И их проще использовать долгое время. Они также обеспечивают удобное питание от USB и интерфейсы программирования. Следовательно, есть возможность подключаются к любому современному компьютеру.

Микроконтроллер очень похож на процессор компьютера. Если это так, почему бы просто не использовать компьютер для управления роботом?

В роботах, которые включают сложные вычисления и алгоритмы, микроконтроллер часто заменяются (или дополняются) стандартным компьютером. В настольном компьютере установлена материнская плата, процессор, оперативная память устройства (например, жесткий диск), видеокарта (встроенная или внешняя).

Дополнительно есть периферийные устройства, такие как монитор, клавиатура, мышь и т. д. Эти системы обычно дороже, физически больше, потребляют больше энергии.

Микроконтроллер понадобится для любого робототехнического проекта. Выбор правильного микроконтроллера может показаться сложной задачей. Особенно учитывая ассортимент, технические характеристики и области применения. Есть много различных микроконтроллеров доступных на рынке:

- Arduino
- BasicATOM
- VEX
- Lego EV3 и др.

Микроконтроллер должен быть способен выполнять все специальные действия робота, чтобы функции исполнялись правильно. Некоторые особенности являются общими для всех микроконтроллеров (например, наличие цифровых входов и выходов, возможность выполнять простые математические действия, сравнение значений и принятие решений).

Другим контроллерам требуется специфическое оборудование (например, АЦП, ШИМ, и коммуникационный протокол поддержки). Также требования к памяти и скорости, а также число выводов должны быть приняты во внимание.

Большинство датчиков и компонентов может взаимодействовать напрямую со многими микроконтроллерами. Хотя некоторые комплектующие предназначены для взаимодействия с конкретным микроконтроллером. Возможно, они будут уникальными и несовместимыми другими типами микроконтроллеров.

Для того чтобы выбрать микроконтроллер необходимо соблюсти следующие критерии:

- Низкая стоимость.

- Прост в использовании.
- Наличие сопроводительной документации по микроконтроллеру.
- Должен программироваться в графической среде.
- Должен быть популярен и иметь активное сообщество пользователей.
- Иметь минимум два порта для управления двигателями и несколько портов для подключения датчиков.

Контрольные вопросы и задания

1. В каком порядке выполняются следующие этапы по проектированию технических объектов:
 - a) опытно-конструкторская работа;
 - b) изготовление опытных образцов;
 - c) научно-исследовательская работа;
 - d) испытания и приемка;
 - e) разработка технической документации.
2. В чем суть проектирования методами «сверху вниз» и «снизу-вверх»?
3. Кем разрабатывается ТЗ на ОКР и почему?
4. Какой этап предшествует техническому проектированию?
5. Назовите основные этапы опытно-конструкторских работ.
6. Перечислите основные цели автоматизации проектирования.
7. Назовите основные методы уменьшения трудоемкости инженерного труда.
8. Какими методами достигается улучшение качества проектирования?
9. Какие из перечисленных методов используются для сокращения трудоемкости проектных работ:
 - a) автоматизация оформления проектной документации;
 - b) совмещенное (параллельное) проектирование;
 - c) вариативное проектирование и оптимизация.
10. Какие из перечисленных задач автоматизации проектных работ могут противоречить друг другу:
 - a) сокращение трудоемкости проектирования;
 - b) сокращение себестоимости проектирования;
 - c) сокращение цикла проектирование - изготовление;
 - d) улучшение качества проектирования.
11. Назовите основные виды обеспечения САПР.
12. В чем преимущества и недостатки каркасной и полигональной аппроксимации трехмерной геометрии?
13. В чем заключается преимущество технологии NURBS?
14. Что такое BR EP-представление геометрии?
15. Раскройте суть метода истории построения геометрии.

16. Какое представление геометрии наиболее оптимально для САПР?
17. Что такое табличная параметризация?
18. Поясните различия между иерархической параметризацией и вариационной (геометрической) параметризацией.
19. Для чего используется ассоциативная параметризация?
20. В чем суть метода объектно-ориентированного конструирования?
21. Какими механизмами осуществляется изменение модели при изменении данных входящего в нее конструктивного элемента?

РАЗДЕЛ 3 ЭЛЕМЕНТЫ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

3.1 Системы питания роботов

Для обеспечения функционирования роботам необходимо питание – большинство роботов используют для этого электричество. Для обеспечения мобильных роботов автономным питанием служат два источника: электрические батареи и фотоэлектрические элементы. В ближайшем будущем для питания роботов появится третий источник – топливные элементы.

Фотоэлектрические элементы

Фотоэлектрические элементы, известные обычно как солнечные элементы, вырабатывают электрическую энергию под действием солнечного света. Стандартные солнечные элементы являются крайне маломощными: при разности потенциалов порядка 0,7 В они дают ток в несколько миллиампер. Для получения приемлемого уровня мощности элементы соединяют вместе в солнечные панели (батареи).

В робототехнике для обеспечения непосредственного питания роботов используют последовательное и параллельное соединение солнечных элементов. Чтобы обеспечить функционирование робота от солнечных батарей, его размеры должны быть минимальны при сохранении необходимого спектра функций. Соответственно, должны использоваться легкие и высокопрочные материалы и электронные схемы, потребляющие незначительную энергию. Чем меньше вес конструкции и потребление электрической энергии, тем более перспективным представляется использование солнечных батарей. Однако небольшой вес и экономичное энергопотребление являются важными при изготовлении любого робота. Солнечные элементы могут служить для робота источником вторичного электропитания, подзаряжая его аккумуляторы. Такой комбинированный источник питания снижает требования к мощности солнечных элементов по сравнению с непосредственным питанием робота от солнечных батарей. Однако в этом случае робот будет активно функционировать только часть времени, а в остальное подзаряжать свои аккумуляторы.

Также можно использовать солнечные элементы комбинированно: как источники непосредственного и вторичного питания.

Привлекательность солнечного двигателя в том, что он может работать до тех пор, пока не выйдет из строя какая-то из его частей, что может произойти через годы.

Батареи

Батареи являются наиболее часто используемыми источниками питания роботов. Емкость любой батареи, независимо от ее типа, измеряется в ампер-часах, что означает произведение силы тока в амперах или миллиамперах и времени, выраженном в часах, в течение которого батарея способна отдавать данный ток. Данное понятие имеет очень простой физический смысл. Допустим, емкость батареи составляет 2 Ач. Это означает, что батарея способна поддерживать ток в 2 А в течение 1 часа. Если уменьшим силу тока до 1 А, то батарея способна поддерживать ток 2 часа. Если уменьшить ток до 500 мА, то время увеличится до 4 часов соответственно. Таким образом, время «жизни» батареи обратно пропорционально силе протекающего тока.

Сила тока × время = емкость батареи

2 А	1 ч	2 Ач
1 А	2 ч	2 Ач
0,5 А	4 ч	2 Ач

Гальванические элементы

Гальванические элементы являются батареями одноразового использования. Рассмотрим класс батарей, имеющих напряжение на элементе порядка 1,5 В. При конструировании роботов частая замена «севших» батарей удорожает эксплуатацию устройства. Однако преимущество таких батарей в том, что они имеют большую удельную электрическую емкость, чем аккумуляторы. При «одноразовом» использовании устройства (например, «бойцы» в соревнованиях роботов) применение гальванических батарей может оказаться предпочтительным, т.к. они отдают большую мощность.
Классификация гальванических батарей

Различие между батареями заключается в типе химических веществ, используемых для производства электричества. Выбор типа батареи основывается на критериях отношения отдаваемой мощности к цене батареи,

времени «жизни» батареи, температурному интервалу использования, кривой разряда и максимально отдаваемому току.

Угольно-цинковые элементы.

Угольно-цинковые элементы находятся на нижнем уровне батарейного ряда. С момента их изобретения Жоржем Лекланше в 1868 г. они не претерпели существенных изменений. Угольно-цинковый элемент имеет низкую удельную емкость (порядка 0,05-0,1 Вт-ч на куб. см), не выдерживает больших токов, имеет покатую кривую разряда и не работает при низких температурах. Такие элементы достаточно дешевы, но являются устаревшими.

Щелочно-марганцевые элементы

Такие элементы в обиходе называются щелочными батарейками. Их удельная емкость выше (0,1–0,15 Вт-ч/куб. см), они имеют улучшенные температурные характеристики, более пологую кривую разряда и умеренную цену.

Литиевые элементы

Литиевые элементы являются на сегодняшний день самыми лучшими. Их удельная емкость составляет 0,5 Вт-ч/куб. см, они имеют отличные температурные характеристики, как для высоких, так и для низких температур, очень долго сохраняют заряд (порядка 15 лет) а также имеют малый вес. Недостатком является сравнительно высокая цена.

Аккумуляторные батареи

Аккумуляторные батареи обладают свойством перезарядки. Наиболее широко используются никелевые, литиевые и кислотные аккумуляторы.

Автомобильные кислотные аккумуляторы мало пригодны для использования в робототехнике. Причина в том, что в таких аккумуляторах разряд до «нуля» технологически недопустим. Такие аккумуляторы могут отдавать большой ток в течение короткого времени (запуск автомобиля стартером) и после этого должны быть немедленно подзаряжены.

Остаточная электрическая энергия, содержащаяся в аккумуляторе после его полного разряда, называется глубоким разрядом. Существуют кислотные аккумуляторы, выдерживающие глубокий разряд, они используются, например, в комбинированных системах питания на основе солнечных батарей, но цена таких аккумуляторов высока. При конструировании роботов рекомендуется использовать аккумуляторы, выдерживающие циклы глубокого разряда.

В зависимости от электрохимической технологии можно выделить следующие основные типы современных источников тока для мобильных устройств:

- герметизированные свинцово-кислотные (SLA);

- никель-кадмиевые (NiCd);
- никель-металлгидридные (NiMH);
- литий-ионные (Li-Ion);
- литий-полимерные (Li-Pol).

К редким типам аккумуляторов можно отнести:

- никель-цинковые;
- серебряно-цинковые;
- серебряно-кадмиевые;
- топливные.

Хотя аккумуляторы более дороги, но при длительной эксплуатации их использование приносит существенную экономию. Обычно аккумуляторы допускают от 200 до 1000 циклов «заряд-разряд». Во многих случаях небольшое зарядное устройство может быть встроено в работающее устройство, что делает ненужным вынимать аккумуляторы из устройства для зарядки.

Характеристики аккумуляторных батарей

Свинцово-кислотные аккумуляторы (SLA)

Для обозначения таких аккумуляторов применяется аббревиатура SLA (Sealed Lead Acid — герметизированные свинцово-кислотные). Это старейшие перезаряжаемые аккумуляторы, предназначенные для коммерческого использования, причем они до сих пор остаются наиболее дешевыми автономными источниками энергии. Видимо, самым существенным недостатком, присущим свинцово-кислотным элементам, является выделение газов — кислорода и водорода. Предотвратить его можно только путем уменьшения напряжения при зарядке, однако при подзарядке это приводит к тому, что аккумулятор не заряжается полностью до номинального напряжения. Так что проблема до сих пор не решена. Вместе с тем способность удерживать номинальную силу тока при низком напряжении, небольшая цена по сравнению с затратами на обслуживание батарей этого типа и отсутствие сбоев питания при их использовании вполне оправдывают установку свинцово-кислотных аккумуляторов большой емкости.

Сегодня SLA-аккумуляторы применяются в основном там, где требуется большая мощность при низкой стоимости устройств, а их вес и габаритные характеристики несут незначительную нагрузку (например, в блоках бесперебойного питания, охранной сигнализации, системах резервного освещения). В портативных приборах используются герметичные (необслуживаемые) аккумуляторы или аккумуляторы с регулирующим клапаном давления. Подобными SLA-устройствами иногда комплектуются переносные сотовые телефоны большой

мощности и некоторые видеокамеры, но в целом их применение для портативных систем нехарактерно. Появились необслуживаемые и малообслуживаемые аккумуляторы, основанные на внутренней рекомбинации газа, а также различные герметизированные аккумуляторы (правильно говорить «герметизированные», а не «герметичные»). Из особенностей современных свинцово-кислотных аккумуляторов следует отметить:

- зарядка от простейших зарядных устройств;
- улучшение работы в буферном режиме, то есть в режиме постоянного подзаряда — срок службы доведен уже до 25 лет;
- значительное увеличение ресурса — количество циклов зарядки-разрядки составляет уже 600-800, а не 200-300, как раньше;
- сведение к минимуму величины саморазряда — 0,1% в день;
- появление множества типоразмеров и введение их единой стандартизации.

В отличие от обычных свинцово-кислотных аккумуляторов, в частности автомобильных, SLA-аккумуляторы для электроники разрабатываются с низким потенциалом перезарядки с целью предотвращения выделения газа. Поэтому SLA-аккумулятор имеет длительный срок хранения, но никогда не заряжается до своей полной емкости, а следовательно, по сравнению с другими типами заряжаемых батарей имеет самую низкую плотность энергии (удельную энергоемкость), которая выражается в количестве запасенной энергии к единице веса или объема. Вследствие низкого саморазряда, отсутствия эффекта памяти и минимальных требований по обслуживанию такие батареи в некоторых областях до сих пор остаются весьма выгодным решением. Так, если NiCd-аккумуляторы за три месяца саморазряжаются на 40%, то SLA-аккумуляторам для подобной саморазрядки понадобится не менее года.

Разновидностью SLA-устройств являются так называемые гелевые аккумуляторы (некоторые из них продаются под торговой маркой gellcell), основанные на технологии Gelled Electrolyte (GEL), которая была разработана в конце 50-х годов и предусматривает добавление в электролит двуокиси кремния (SiO₂), в результате чего через несколько часов после заполнения электролит приобретает консистенцию желе. В толще желеобразного электролита образуются поры и раковины, имеющие значительные объем и площадь поверхности, где происходит рекомбинация молекул кислорода и водорода с выделением воды. В результате количество электролита остается неизменным, и в течение всего срока службы аккумулятора долив воды не требуется.

Кроме GEL-технологии, применяется технология Absorptive Glass Mat (AGM), разработанная в конце 70-х годов и предполагающая использование

пористого заполнителя из стекловолокна, пропитанного жидким электролитом. Микропоры этого материала заполнены электролитом не полностью, и в этом свободном пространстве происходит рекомбинация газов, что позволяет производить необслуживаемые батареи, как и по GEL-технологии.

У свинцово-кислотных аккумуляторов, естественно, имеются и недостатки. Например, они не могут быстро заряжаться (зарядный ток, в зависимости от конструкции, не должен превышать 0,1-0,3 Сн, а типовое время зарядки — не менее 8-16 ч) и не переносят глубокого разряда. К тому же хранение SLA-аккумулятора в разряженном состоянии вызывает сульфатацию, которая делает последующую зарядку трудной или вообще невозможной, вследствие чего стандартные свинцово-кислотные аккумуляторы выдерживают относительно небольшое число циклов зарядки-разрядки. Так, в зависимости от глубины разрядки и температуры эксплуатации, типичный SLA-аккумулятор выдерживает лишь 300-500 циклов зарядки-разрядки. фактически каждый такой цикл отнимает у аккумулятора некоторую часть емкости. Конечно, это верно и для аккумуляторов других электрохимических систем, но в меньшей степени. Впрочем, у некоторых современных SLA-аккумуляторов, как уже отмечалось, количество циклов зарядки-разрядки доведено до 600-800, что сравнимо с NiMH-технологией.

К тому же при низких температурах у SLA-аккумуляторов значительно уменьшается способность отдавать большой ток в нагрузку. Зависимость нелинейная, но для каждого элемента наблюдается падение напряжения на 2-5 мВ на один градус.

Что касается утилизации вышедших из строя батарей, то из-за высокого содержания свинца SLA-аккумуляторы по нанесению экологического вреда уступают только NiCd-аккумуляторам.

Никель-кадмиевые аккумуляторы (NiCd)

Основное преимущество никель-кадмиевых элементов по сравнению со свинцово-кислотными заключается в том, что они почти не выделяют газа и отличаются простотой в обслуживании. При этом у них очень низкое внутреннее сопротивление и они способны отдавать большой ток в относительно короткие промежутки времени — практически так же, как и свинцово-кислотные. NiCd-аккумуляторы переносят даже короткое замыкание. Кроме того, эти устройства могут выдерживать длительные нагрузки, причем их функциональные свойства мало изменяются при понижении температуры.

NiCd-устройства, несмотря на то, что они уступают по емкости (при тех же массе и габаритах) аккумуляторам других типов, остаются наиболее популярными для применения в целом ряду портативных устройств, особенно

там, где требуется высокая отдача. Поэтому до сих пор около половины выпускаемых аккумуляторов для переносного оборудования — никель-кадмиевые. Появление новых технологий электрохимических аккумуляторов сначала привело к резкому сокращению использования NiCd-аккумуляторов, однако по мере выявления недостатков новых моделей интерес к NiCd-устройствам снова возрос. Так, в приборах, где применяются электродвигатели и потребляются довольно большие токи, NiCd-батареям трудно найти замену. Однако максимальная емкость потребительских NiCd-аккумуляторов не превышает 3000 мА·ч. Типовые разрядные токи, на которых используются подобные аккумуляторы, невысоки — 20-40 А. При токах до 70 А NiCd-батареи и ныне остаются вне конкуренции.

В числе преимуществ NiCd-аккумуляторов можно назвать следующие:

- работоспособность в широком интервале рабочих токов заряда, разряда и температур окружающей среды (допустимый ток разряда составляет 0,2-2 Сн, диапазон рабочих температур — от -40 до +50 °С);
- высокая нагрузочная способность даже при низких температурах (NiCd-аккумулятор при низких температурах даже можно перезаряжать);
- возможность быстрой и простой зарядки в любом режиме (NiCd-аккумуляторы нетребовательны к типу зарядного устройства);
- большое количество циклов зарядки-разрядки (при правильном обслуживании NiCd-аккумулятор выдерживает свыше 1000 циклов);
- возможность восстановления после понижения емкости или длительного хранения;
- пожаро- и взрывобезопасность, устойчивость к механическим нагрузкам;
- низкая цена, длительный срок службы и широкая доступность, большой ассортимент потребительских формфакторов.

Для зарядки NiCd-аккумуляторов быстрый режим более предпочтителен, чем медленный, а импульсный заряд — чем заряд постоянного тока. К тому же для восстановления никель-кадмиевых аккумуляторов можно применять так называемый реверсивный заряд, когда импульсы разряда чередуются с импульсами заряда. Реверсивный заряд даже ускоряет процесс, поскольку помогает рекомбинации газов, выделяющихся во время заряда: дополнительные исследования показали, что реверсивный заряд добавляет около 15% к сроку службы NiCd-аккумулятора. Для увеличения отдачи этих аккумуляторов некоторые пользователи практикуют быструю зарядку с дозарядкой слабыми токами, что приводит к более полной зарядке батарей.

Однако, наряду с преимуществами, данные элементы имеют серьезные недостатки. До недавнего времени у NiCd-аккумуляторов наблюдался

неприятный эффект, получивший название «эффект памяти». Его возникновение объясняется тем, что в процессе циклической эксплуатации источника меняется структура поверхности электродов, а в сепараторе аккумулятора образуются химические соединения, мешающие его дальнейшей разрядке малыми токами. Источник как бы запоминает свое состояние неполного разряда. Чтобы избежать возникновения данного эффекта, необходимо после того, как NiCd-батарея отработала, обязательно ее разрядить. Если этого не делать, то NiCd-аккумулятор постепенно теряет эффективность, то есть его емкость постепенно уменьшается — он очень быстро заряжается, но так же быстро и разряжается, имея при этом пониженное напряжение на выходе. Вдобавок возможно и небольшое увеличение внутреннего сопротивления.

Хранить NiCd-батареи необходимо в разряженном состоянии. Если ваше зарядное устройство не имеет встроенного разрядника, то для полного разряда батареи можно воспользоваться лампочкой накаливания с номинальным напряжением и с допустимым током 3-20 А. Необходимо подключить такую лампу к аккумулятору и дождаться того момента, когда спираль начнет краснеть (кстати, глубокая разрядка вовсе не означает, что аккумулятор следует посадить «в ноль»). NiCd-батареи — это единственный тип аккумуляторов, которые лучше выполняют свои функции в случае, если периодически подвергаются полной разрядке. Электрохимические аккумуляторы всех остальных разновидностей нуждаются в неглубокой разрядке. Впрочем, если выполнять процедуру полного разряда слишком часто, то и NiCd-аккумуляторы неизбежно изнашиваются.

Мировым лидером в производстве NiCd-элементов, способных отдавать большие токи, является фирма Sanyo (по сравнению с моделями других производителей, аккумуляторы Sanyo имеют меньшее внутреннее сопротивление и большую отдачу, медленнее стареют и меньше греются). Аналогичные NiCd-аккумуляторы производят фирмы Panasonic и Varta. Производители непрерывно совершенствуют технологию никель-кадмиевых аккумуляторов, и в современных NiCd-батареях от известных фирм эффект памяти почти не возникает. Например, компания GP Batteries выпускает никель-кадмиевые аккумуляторы по новой, пенной технологии. В этом случае дозаряд перед разрядом не требуется, а ресурс батареи полностью используется по назначению. Благодаря этому не только исключается эффект памяти, но и продлевается реальный срок службы никель-кадмиевых устройств.

Очевидные недостатки NiCd-батареи — необходимость периодической полной разрядки для сохранения эксплуатационных свойств (устранения эффекта памяти), высокий саморазряд (до 10% в течение первых суток после

зарядки) и большие габариты при той же емкости по сравнению с аккумуляторами других типов. Некоторые новые типы NiCd-элементов имеют высокую емкость, близкую к емкости NiMH-батареям. Однако аккумуляторы высокой емкости не могут обеспечивать такой же большой ток нагрузки, как стандартные NiCd-аккумуляторы, а следовательно, лишаются одного из своих главных преимуществ. Кроме того, в этом случае количество циклов зарядки-разрядки у них несколько меньше, хотя все равно больше, чем у NiMH-аккумуляторов.

Следует особо отметить важность правильной утилизации отработавших NiCd-элементов. Дело в том, что кадмий, содержащийся в NiCd-аккумуляторах, по токсичности не уступает ртути. Поэтому во всех цивилизованных странах имеются пункты приема таких батарей, а стоимость переработки сразу включается в цену аккумуляторов. Более того, во многих странах запрещено использовать NiCd-элементы, которые не включены в общую программу утилизации, то есть на которых отсутствует специальная маркировка.

Никель-металлгидридные аккумуляторы (NiMH)

Никель-металлгидридная технология развивалась как альтернатива никель-кадмиевой — для преодоления вышеописанных недостатков. Неэкологичный кадмиевый анод был заменен на анод на основе сплава, абсорбирующего водород. Напряжение этих систем одинаковое, а изменение в химическом составе позволило реализовать новый внутренний баланс элемента при существенном увеличении плотности энергии. Новый катодный материал высокой плотности на основе сферического гидрата закиси никеля с войлочной основой позволил существенно улучшить характеристики NiMH-аккумуляторов. Кроме того, NiMH-технология предусматривает возможность достижения более высокой удельной емкости, чем по NiCd-технологии, что позволило никель-металлгидридным аккумуляторам стать серьезными конкурентами никель-кадмиевых и вытеснить их из целого ряда областей портативной техники, прежде всего из областей, где не требуется высокий ток отдачи, а важнее время непрерывной работы.

Отличительные особенности современных NiMH-аккумуляторов:

- высокая удельная энергия по массе и объему (емкость в 1,5-2 раза больше, чем у стандартных NiCd-аккумуляторов тех же габаритов);
- диапазон рабочих температур от -10 до $+40$ °C;
- меньшая склонность к эффекту памяти, чем у NiCd-батарей (то есть периодических циклов восстановления практически не требуется);
- устойчивость к длительному перезаряду малыми токами;
- механическая прочность и устойчивость к механическим нагрузкам;

- длительный срок службы и хранения (в разряженном состоянии);
- меньшая токсичность при утилизации.

К сожалению, NiMH-аккумуляторы имеют ряд недостатков и по некоторым параметрам уступают NiCd-батареям. Так, число циклов зарядки-разрядки NiMH-аккумуляторов существенно меньше, чем никель-кадмиевых, — гарантируется примерно 500 циклов, в то время как у NiCd-аккумуляторов оно может достигать до 1000. К тому же для NiMH-аккумуляторов, в отличие от NiCd-батарей, более предпочтителен поверхностный, а не глубокий разряд, а ведь долговечность аккумуляторов непосредственно связана именно с глубиной разряда.

При быстрой зарядке NiMH-аккумулятора выделяется значительно большее количество тепла, чем во время зарядки NiCd-батареи, поэтому никель-металлгидридные аккумуляторы предъявляют к зарядным устройствам повышенные требования — необходимы более сложные алгоритмы для обнаружения момента полного заряда и контроль температуры (впрочем, большинство современных NiMH-аккумуляторов оборудовано внутренним температурным датчиком для получения дополнительного критерия обнаружения полного заряда). По той же причине NiMH-аккумулятор не может заряжаться так же быстро, как никель-кадмиевый, — время заряда NiMH-батареи такой же емкости обычно вдвое больше.

Рекомендуемый ток разряда для NiMH-аккумуляторов, как мы уже отмечали, значительно меньше, чем для NiCd-батарей, и большинство производителей рекомендуют ток нагрузки от 0,2 до 0,5 Сн (то есть от 20 до 50% номинальной емкости). Этот недостаток не столь критичен, если необходим низкий ток нагрузки, а для устройств, которые требуют высокого тока нагрузки или имеют импульсную нагрузку (например, переносных радиостанций и мощных инструментов с электродвигателями), рекомендуются специальные типы NiMH-аккумуляторов, такие как вышеописанные изделия компании Panasonic, или NiCd-аккумуляторы.

Кроме того, как для NiCd-, так и для NiMH-аккумуляторов характерен высокий саморазряд. Однако если NiCd-батарея теряет около 10% своей емкости в течение первых суток, после чего саморазряд составляет примерно 10% в месяц, то саморазряд у NiMH-аккумуляторов примерно в 1,5-2 раза выше. Конечно, для некоторых типов NiMH-батарей применяются гидридные материалы, улучшающие связывание водорода для уменьшения саморазряда, но это обычно приводит к уменьшению емкости аккумулятора, то есть к потере главного преимущества по сравнению с NiCd-технологией.

Диапазон рабочих температур у NiMH-аккумуляторов также меньше, чем у NiCd-батарей. Так, если температура $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ является пределом, при котором

NiMH- и Li-ион-аккумуляторы прекращают функционировать, то NiCd-батареи могут продолжать работать до температуры -40°C .

Наконец, цена NiMH-аккумуляторов приблизительно на треть выше цены NiCd-батарей. Даже современные NiCd-аккумуляторы большой емкости, которые дороже стандартных, по соотношению «емкость/цена» все равно превосходят NiMH.

Литий-ионные аккумуляторы (Li-Ion)

Технологии непрерывно развиваются, и на смену традиционно используемым никель-кадмиевым и никель-металлгидридным батареям пришли литий-ионные. При примерно одинаковом весе одного элемента они имеют большую емкость, чем рассмотренные выше аккумуляторы (превосходя NiCd-аккумуляторы в 4-5, а NiMH в 3-4 раза), и дают более высокое напряжение на одном элементе. Например, напряжение элемента наиболее распространенных потребительских форматов у литий-ионных аккумуляторов составляет 3,6 В, что в три раза больше, чем у NiCd- и NiMH-элементов. Следовательно, там, где прежде требовались батареи из двух или трех элементов, теперь можно использовать только один. Что касается количества рабочих циклов, то по этому параметру литиевые элементы находятся между NiCd- и NiMH-аккумуляторами. Вообще говоря, данных по реальному количеству рабочих циклов для литий-ионных аккумуляторов пока еще очень мало, так что к приводимым производителями характеристикам следует относиться критически. Однако технология изготовления Li-Ion-устройств быстро совершенствуется, а вместе с этим увеличивается и срок службы батарей.

В литиевых батареях в качестве анода используется металлический литий — один из химически активных металлов, самый легкий, с наибольшим электрохимическим потенциалом, обеспечивающий самую высокую плотность энергии. Благодаря этому теоретическая удельная емкость у аккумуляторных батарей на основе лития максимальна, а источники тока на основе лития обладают высоким разрядным напряжением. Однако химическая активность лития очень осложняет технологические процессы изготовления и предъявляет жесточайшие требования к герметичности источника тока, что в конечном счете сказывается на себестоимости аккумуляторных батарей.

Долгое время вообще не удавалось получить литий-ионные аккумуляторы для коммерческого использования, поскольку производители не могли обеспечить надлежащего уровня безопасности при обращении с ними. Если температура внутри аккумулятора достигнет температуры плавления лития, то в результате бурного химического взаимодействия лития с

электролитом может произойти взрыв. Известно, что большое количество литиевых аккумуляторов, поставленных в Японию в начале 1990-х годов, было возвращено производителям после того, как после взрывов элементов питания в сотовых телефонах от ожогов пострадало несколько человек. А последний скандал по поводу взрывов литий-ионных аккумуляторов в мобильных Nokia разгорелся в 2003 году, когда ожоги получили более 20 человек. Nokia, конечно, утверждала, что батареи во всех взрывоопасных телефонах были несанкционированно заменены на произведенные сторонними фирмами, но независимые исследования показали, что и некоторые фирменные батареи Nokia тоже не защищены от короткого замыкания и взрыва.

Пытаясь создать безопасный источник тока на основе лития, производители заменили неустойчивый при повышении температуры в процессе зарядки-разрядки металлический литий на соединения лития с другими металлами в оксидах. Сначала для создания литий-ионных аккумуляторов в качестве активного материала применялся литий/кобальта оксид (Li/CoO₂). Но этот материал довольно дорог, склонен к разложению, которое резко ускоряется и приобретает необратимый характер, если напряжение аккумулятора превышает номинальное или падает ниже (например, для аккумуляторов 3,6 В допустимые пределы — от 2,7 до 4,2 В). Поэтому использование аккумуляторов на его основе невозможно без специального контроллера, ограничивающего напряжение заряда и разряда на каждом аккумуляторе, входящем в состав батареи. Такой контроллер обеспечивает и безопасность, останавливая работу аккумулятора при превышении предельных величин тока и температуры. Кстати, именно для того, чтобы не допустить использования литий-ионных аккумуляторов в оборудовании, не приспособленном для их применения, производители отказались от выпуска аккумуляторов в габаритах, идентичных массовым бытовым типоразмерам.

Сегодня под названием «литиевые батареи» объединены источники с различной химической начинкой:

- литий/тионилхлоридные (Li/SOCl₂);
- литий/серы оксид (Li/SO₂);
- литий/никеля оксид (Li/NiO₂);
- литий/марганца оксид (Li/MnO₂).

Наиболее изученный и технологически отработанный тип литиевых батарей — элементы на основе литий/оксидов марганца (Li/MnO₂ и Li/Mn₂O₄), поэтому они из всей группы самые доступные по цене. Их емкость ниже, чем у материалов на основе кобальта, но они дешевле и не требуют сложного контроллера для управления процессами зарядки-разрядки. Li/NiO₂ имеет более высокую емкость, чем предыдущий оксид, но труднее в производстве и

более опасен. Поэтому для повышения безопасности в аккумуляторах большой емкости начали использовать смешанные оксиды кобальта и никеля (20-30% никеля).

Батареи Li/SOCl₂ характеризуются самым высоким выходным напряжением (3,6 В), наиболее широким диапазоном температур (от -55 до +85 °С), очень малыми токами саморазряда и небольшим типовым током разряда. Однако батареи с таким типом электролита не выносят высокой температуры. А поскольку при значительных токах разряда на внутреннем сопротивлении батареи может выделяться тепло, превышающее допустимый уровень, в конструкцию элемента вводят предохранитель-ограничитель тока (терморезистор), не допускающий токовых перегрузок. Впрочем, существуют специальные серии Li/SOCl₂-элементов, способных выдавать повышенные токи разряда и нормально работать при высокой температуре. Достичь этого удалось благодаря специальной конструкции цилиндрического корпуса, препятствующей проникновению влажных паров снаружи, но не мешающей выходу газов.

Примерно такие же ограничения имеет и серия батарей на основе Li/SO₂, которые тоже критичны к высоким температурам и не допускают сильноточного разряда, но имеют меньшее рабочее напряжение (3,0 В). Кстати, из всех литий-ионных аккумуляторов эта серия появилась на рынке раньше других.

Несмотря на то что новые электродные материалы обладают в несколько раз меньшей, по сравнению с чистым литием, удельной электрической энергией, аккумуляторы на их основе получаются более безопасными для человека при условии соблюдения некоторых мер предосторожности в процессе зарядки-разрядки. При этом удельные зарядно-разрядные характеристики литий-ионных аккумуляторов на основе оксидов превышают аналогичные показатели NiCd- и NiMH-аккумуляторов по крайней мере вдвое, они хорошо работают на больших токах (что необходимо, например, в сотовых телефонах и портативных компьютерах) и имеют низкий саморазряд (для современных батарей — всего 2-5% в месяц). Как и все аккумуляторы, литиевые подвержены старению, но в меньшей степени, чем многие конкуренты, — через 2 года батарея сохраняет более 80% емкости.

Однако Li-Ion-технологии по-прежнему требуют соблюдения техники безопасности, поэтому каждый пакет аккумуляторов должен быть оборудован электрической схемой управления, чтобы ограничить пиковое напряжение каждого элемента во время зарядки, а также предотвратить понижение напряжения элемента при разрядке ниже допустимого уровня для долговечной работы батарей. Кроме того, следует ограничить максимальный ток зарядки и

разрядки и контролировать температуру элемента. Эти меры приводят к удорожанию аккумуляторов на основе лития, что является главным препятствием для их широкого распространения, не говоря уж о высокой стоимости как самого лития, так и технологии производства данных батарей (необходимы инертная среда, очистка неводных растворителей и т.д.).

Таким образом, главный недостаток литий-ионных аккумуляторов — их дороговизна. Однако рынок литиевых элементов и батарей малой емкости, цена которых по определению не может быть существенной, постоянно расширяется, появляются все новые и новые области их использования, так что литий-ионные аккумуляторы сегодня считаются самыми перспективными.

В 1991 году фирма Sony Energetic впервые начала коммерческое производство литий-ионных аккумуляторов и в настоящее время является одним из самых крупных поставщиков. Отметим, что по материалу отрицательного электрода литий-ионные аккумуляторы можно разделить на два основных типа: с отрицательным электродом на основе кокса (технология Sony) и на основе графита. Источники тока с отрицательным электродом на основе графита имеют более плавную разрядную кривую с резким падением напряжения в конце цикла разряда по сравнению с более пологой разрядной кривой аккумулятора с коксовым (сажевым) электродом. Поэтому в целях получения максимально возможной емкости конечное напряжение разряда аккумуляторов с коксовым (сажевым) отрицательным электродом обычно устанавливают ниже, чем на аккумуляторах с графитовым электродом. Так, аналогичные по формфактору литий-ионные аккумуляторы одной и той же компании с номинальным напряжением 3,6 В — это, как правило, аккумуляторы с сажевым электродом, а 3,7 В — с графитовым, то есть производители специально вводят различия по номинальному напряжению, чтобы уравнивать характеристики. Сегодня все больше производителей предпочитают выпускать Li-Ion-аккумуляторы с графитовым отрицательным электродом, поскольку они способны обеспечить более высокий ток нагрузки и меньший нагрев во время зарядки-разрядки, чем коксовые аккумуляторы.

Из преимуществ современных Li-Ion-аккумуляторов по сравнению с другими технологиями можно отметить следующие:

- самый высокий уровень удельной емкости и плотности разрядного тока;
- минимальный саморазряд (для некоторых типов литий-ионных батарей при 20 °C — не более 3% в год);
- длительный срок службы (до 10 лет);
- большое количество циклов зарядки-разрядки (гарантируется свыше 1000 циклов);
- работоспособность в широком диапазоне температур;

- высокая сохранность запасенной энергии и постоянная готовность к работе.

Следует иметь в виду, что стандартные элементы обеспечивают более высокую емкость при средних токах и высокое напряжение разряда в широком диапазоне рабочих температур, а элементы повышенной емкости гарантируют более длительный срок службы при малых токах.

За последние годы общая картина производства литий-ионных источников претерпела существенные изменения. Производители непрерывно совершенствуют технологию, находят более современные материалы электродов и состав электролита. Параллельно прилагаются усилия для повышения безопасности эксплуатации аккумуляторов на основе лития на уровне как отдельных источников тока, так и управляющих электрических схем.

Что касается главного недостатка Li-Ion-аккумуляторов — высокой цены, то сегодня решается задача замены оксида кобальта батарей на менее дорогие материалы, что приведет к снижению их стоимости в течение ближайших лет примерно в два раза. Дополнительные резервы в плане удешевления Li-Ion-аккумуляторов при использовании новых материалов кроются в повышении безопасности этой технологии в источниках питания.

Однако Li-Ion-технология, помимо высокой цены, имеет и другие недостатки. Известно, что стандартные литий-ионные аккумуляторы лучше всего функционируют при комнатной температуре, а работа при повышенной температуре сокращает срок их службы, поскольку это приводит к ускоренному старению, сопровождаемому увеличением внутреннего сопротивления. Плохо реагируют Li-Ion-аккумуляторы и на отрицательные температуры.

Однако ученые из Американской национальной лаборатории (INEEL) в штате Айдахо объявили о разработке новой конструкции литиевой батареи, в которой значительно расширены функциональные возможности этого традиционного устройства и преодолены имеющиеся недостатки.

Основное изменение в конструкции заключается в использовании смеси гелеобразного полимера и керамического порошка, которые образуют прозрачную мембрану, выполняющую роль электролита при контакте с двумя электродами. Такая конструкция по сравнению с традиционными, где в качестве электролита используются жидкости и гели, обладает рядом преимуществ. Прежде всего в новой конструкции исключена возможность утечки электролита (поскольку электролит там твердый) и нет осаждения изолирующего слоя на поверхности электродов, что приводит к сокращению времени работы батареи, а в конце концов — к потере ее работоспособности.

Отсутствие жидкого электролита, который к тому же потенциально пожароопасен и в некоторых случаях приводит к взрывам в процессе зарядки батарей, значительно повышает безопасность использования. Сами исследователи видят наибольшее преимущество твердого электролита в том, что батареи теперь можно будет применять в более широком диапазоне температур — электролит не расплавится при высоких температурах и не замерзнет при отрицательных, сохраняя свою работоспособность даже при $-73\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Из других недостатков технологий на основе лития можно отметить следующие: Li-Ion-аккумулятор не любит глубокого разряда, очень требователен к температурному диапазону (при переохлаждении устройства с литиевым аккумулятором повышается внутреннее сопротивление батарей, что может проявляться в самопроизвольном отключении устройства), боится перезаряда, взрывоопасен при нарушении герметичности и со временем понемногу теряет емкость (то есть стареет даже при отключенной нагрузке). Одним словом, до идеального источника энергии ему еще далеко, хотя все недостатки компенсируются высокой удельной энергоемкостью.

В последнее время в области технологий на основе лития наметился переход на литий-полимерные аккумуляторы (Lithium-Polymer battery). Собственно, принципиальных различий в указанных технологиях нет, однако при почти такой же плотности энергии, что у литий-ионных аккумуляторов, литий-полимерные батареи могут изготавливаться в различных пластичных геометрических формах, что особенно актуально для миниатюрных устройств. Нетрадиционные для обычных аккумуляторов формы литий-полимерных батарей позволяют заполнять все свободное пространство внутри портативного устройства и не требуют специального отсека, как прежде. Таким образом, при применении литий-полимерной батареи той же удельной емкости, что у традиционной цилиндрической батареи, за счет выбора оптимальной формы и заполнения всех неиспользуемых объемов можно, не меняя формы самого портативного устройства, сохранять на 20-30% больше энергии.

Основное отличие литий-полимерных (Li-Pol, Li-Polymer) аккумуляторов от литий-ионных заложено в самом их названии и заключается в типе применяемого электролита. Сухой твердый полимерный электролит (или электролит в виде полимерного геля) похож на пластиковую пленку и не проводит электрический ток, но допускает обмен ионами. В результате становится возможным упрощение конструкции элемента, поскольку полимерному электролиту не грозит утечка, а значит, нет необходимости обеспечивать герметичность. Полимерный электролит фактически заменяет традиционный пористый сепаратор, пропитанный электролитом. Такая

конструкция элементов более безопасна, делает процесс их изготовления менее сложным и позволяет производить тонкие аккумуляторы произвольной формы, но пока, к сожалению, сухие полимерные электролиты обладают недостаточной электропроводностью даже при комнатной температуре. Внутреннее сопротивление их слишком высоко и не может обеспечить величину тока, необходимую современным портативным устройствам. Кроме того, вследствие недостаточной отработанности технологии изготовления Li-Pol-аккумуляторы еще слишком дороги и недолговечны — гарантированное число полных циклов зарядки-разрядки для них по крайней мере в 2 раза меньше, чем для Li-Ion. Правда, промежуточные решения — с жидким гелевым электролитом — уже весьма надежны и широко применяются.

3.2 Исполнительные устройства

Робот – хороший пример синергии, т.е. того, как сумма ранее известных составных частей (манипуляторов, ЭВМ, сенсорика) дает новое качество – принципиально новый тип технического устройства, обладающего в достаточно развитом варианте искусственным интеллектом, искусственными органами чувств (сенсорика), способностью воспринимать окружающую среду и активно воздействовать на нее, обучаясь и совершенствуясь в ходе этого процесса

Устройство управления – это «мозг» робота, который служит для выработки законов управления механизмами исполнительной системы на основе заложенной программы с учетом сигналов обратной связи от сенсорной системы.

Функции сенсорной системы:

- распознавание ситуаций и моделирование среды функционирования робота,
- планирование действий и принятие целенаправленных решений,
- программирование и оптимизация движений,
- организация общения робота с человеком и взаимодействующими устройствами на языке программирования.

Устройства управления могут быть реализованы на базе:

- пневматических или электрических логических элементов,
- на основе вычислительных устройств, содержащих широкий набор входных (аналого-цифровых) и выходных (цифро-аналоговых) преобразователей и интерфейсных каналов связи, число которых может

колебаться от нескольких десятков до нескольких тысяч. По каналам связи, как по нервным волокнам, передаются непрерывные (аналоговые) и дискретные (цифровые) сигналы. Интеллектуальные и адаптивные возможности робота определяются главным образом алгоритмическим и программным обеспечением управляющей системы.

Сенсорная система – это искусственные органы чувств робота, предназначенные для восприятия и преобразования информации о состоянии внешней среды и самого робота.

В качестве элементов сенсорной системы используются:

- телевизионные и оптико-электронные устройства,
- лазерные и ультразвуковые дальномеры,
- акустические датчики и гидролокаторы,
- тактильные, контактные и индукционные датчики,
- датчики положения, скорости, сил и моментов,
- потенциометры и т. п.

Система связи – это «язык» робота, который служит для передачи сигналов:

- между системами робота,
- между роботом и человеком,
- между роботами с целью: осуществления диалога, формулирования заданий роботу, контроля за функционированием его систем, диагностики неисправностей, регламентной проверки и т.п.

Информация от человека поступает обычно через устройство ввода или пульт управления путем физического воздействия (нажатие кнопки или клавиши, речевое общение, ввод информации с помощью биопотенциалов (биоуправление)). Информация от робота к человеку поступает, как правило, в форме световых и звуковых сигналов, а носителями этой информации являются разного рода табло – цифровые индикаторы, дисплеи, телекамеры и т.п.

Совокупность управляющей, информационно-измерительной и системы связи образует информационно-управляющую систему робота, обеспечивающую обработку и передачу информации и непосредственное управление приводами и механизмами исполнительной системы с целью организации активного взаимодействия робота с окружающей средой и выполнения задач, сформулированных человеком.

Исполнительная, или моторная система – это устройства, предназначенные для непосредственного воздействия на объекты окружающей среды или взаимодействия с ними в соответствии с управляющими сигналами,

формулируемыми информационно-измерительной системой или непосредственно оператором. Элементами моторной системы являются:

- приводы (двигатели),
- передаточные устройства (передачи),
- механические руки (манипуляторы),
- механические ноги (педикуляторы),
- различные технологические инструменты,
- графопостроители,
- тележки с колесным, гусеничным и иными шасси и др.

3.3 Захватные устройства

Захватным устройством называется рабочий орган, предназначенный для захватывания и удерживания предмета производства и (или) технологической оснастки, называемых объектом.

ГОСТ 26063—84 устанавливает следующие типы захватных устройств: механические, вакуумные, магнитные и прочие.

Общим понятием для захватных устройств всех видов является понятие «рабочий элемент». *Рабочим элементом* называется элемент захватного устройства, вступающий непосредственно в контакт с объектом.

Для магнитных захватных устройств рабочими элементами являются элементы магнитной системы, к которым притягивается объект, для вакуумных – контактирующая с объектом присоска, ограничивающая полость разрежения воздуха. Наряду с термином «рабочие элементы» в литературе употребляются антропоморфные термины: «губки», «пальцы», «челюсти» и др.

Механическими называются захватные устройства, в которых удерживание объекта осуществляется под действием реакций в точках (зонах) контакта с рабочими элементами, создаваемых двигателем или собственным весом объекта.

Механические захватные устройства разделяются на схваты и поддерживающие захватные устройства.

Схватом называется механическое захватное устройство, представляющее собой механизм, удерживающий объект посредством зажима рабочими элементами при их перемещении двигателем.

Поддерживающими называются механические захватные устройства, не имеющие подвижных звеньев и представляющие собой опоры, на которых объект удерживается под действием сил тяжести (ковши для захватывания,

транспортировки и разливки жидкого металла, крюки, штыри, призматические опорные элементы, лопатки и пр.).

Вакуумными называются захватные устройства, удерживающие объект посредством разрежения воздуха в замкнутой полости рабочего элемента — присоски. Различают активные вакуумные захватные устройства, в которых разрежение воздуха создается принудительно с помощью вакуумных насосов или эжекционных устройств, и пассивные, — в которых разрежение воздуха создается за счет его вытеснения при деформировании рабочих элементов. Магнитными называются захватные устройства, удерживающие объект при действии магнитных сил, создаваемых постоянным магнитом или электромагнитом.

По способу замены захватные устройства разделяются на заменяемые вручную и автоматически. Несменные захватные устройства, устанавливаемые с помощью неразъемных соединений, как правило, не используются. Узел крепления захватного устройства к руке манипулятора называется механическим интерфейсом. С основанием захватного устройства связывается прямоугольная декартова система координат захватного устройства с началом, расположенным в условном геометрическом центре захватного устройства или удерживаемого объекта. В проекциях на оси этой системы координат задаются основные геометрические, точностные, статические и динамические силовые характеристики захватного устройства. *Основными техническими характеристиками захватных устройств всех типов являются:*

- номинальная грузоподъемность,
- усилие захватывания,
- предельно допустимые значения приложенных сил и моментов по осям системы координат захватного устройства,
- время захватывания и время отпускания,
- масса,
- габаритные размеры,
- показатели надежности.

Усилие захватывания в стандартах не определяется; обычно говорят, что это сила воздействия рабочих элементов на объект.

В схватах усилие захватывания создается приводом, перемещающим рабочие элементы при захватывании вплоть до зажима ими объекта.

В пружинных схватах *усилие захватывания* обеспечивается пружинами, удерживающими объект в положении равновесия.

Временем захватывания называется время от подачи сигнала устройством управления на захватывание до момента завершения процесса, когда объект занимает устойчивое положение равновесия в схвате, а усилие

захватывания достигает своего установившегося значения. Временем отпускания называется время от подачи устройством управления сигнала на отпусkanie до момента завершения процесса. Для схватов под завершением процесса отпускания понимается высвобождение объекта и полное раскрытие схвата. *Номинальной грузоподъемностью* захватного устройства называется наибольшее допустимое для данного захватного устройства значение массы захватываемых объектов. При оснащении таким захватным устройством конкретной модели реальная масса удерживаемого объекта не должна превосходить полезной грузоподъемности, т. е. того наибольшего значения массы объекта, при котором гарантируются его захватывание, удерживание и обеспечение установленных значений эксплуатационных характеристик. *Предельно допустимыми значениями приложенных сил* (моментов) называются наибольшие значения центрально приложенной к объекту (в начале системы координат захватного устройства) силы (момента), при которых объект удерживается захватным устройством. Приложенные силы (моменты) создаются действующими на объект силами тяжести, инерции, силами взаимодействия с другими предметами и оснасткой. К приложенным силам не относятся усилие захватывания и реакции в точках контакта объекта с рабочими элементами. Как правило, захватные устройства предназначены для работы с одним объектом и выполняют только функции захватывания, удерживания и отпускания. В то же время применяются многообъектные и многофункциональные захватные устройства. *Многообъектными* называются захватные устройства, предназначенные для захватывания и удерживания двух и более объектов.

Многофункциональными называются захватные устройства, предназначенные для выполнения наряду с основными функциями технологических операций и операций измерения.

3.4 Сенсорные системы

В робототехнике из информационно-измерительных систем в особую группу выделяются системы, выдающие аналогично органам чувств живых существ информацию об окружающей внешней среде. Они называются *сенсорными системами*, а их датчики соответственно сенсорами.

По выявляемым свойствам и параметрам *сенсорные системы роботов* можно разделить на следующие группы:

1) системы, дающие общую картину окружающей среды с последующим выделением ее отдельных объектов;

2) системы, определяющие различные физико-химические свойства внешней среды и ее конкретных объектов;

3) системы, определяющие координаты местоположения робота и параметры его движения, включая координаты относительно объектов внешней среды.

К сенсорным системам первой группы относятся системы технического зрения и различного типа локаторы.

Вторая группа сенсорных систем наиболее многообразна: измерители геометрических параметров, плотности, температуры, оптических свойств, химического состава и т. д.

Третья группа определяет параметры, относящиеся к самому роботу: его географические координаты в пространстве от спутниковых систем до использующих магнитное поле Земли, измерители угловых координат, перемещения и скорости, в том числе и относительно отдельных объектов внешней среды вплоть до фиксации соприкосновения с ними.

В составе роботов все эти сенсорные системы служат, прежде всего, для обслуживания двух исполнительных систем — манипуляционной и передвижения. Это и определяет основные требования к сенсорным системам — дальность действия, точность, быстрдействие и т. д.

Сенсорные системы, обслуживающие манипуляторы, образуют две группы: системы, входящие в контур управления движением манипулятора, и системы очувствления его рабочего органа. В число последних систем, в частности, часто входят размещенные у рабочего органа манипулятора системы технического зрения и датчики усилий.

Сенсорные системы, используемые в системах передвижения робота, подразделяются на системы, обеспечивающие навигацию в пространстве, и системы, обеспечивающие безопасность движения (предотвращения столкновений с препятствиями, опрокидывания на уклонах, попадания в недопустимые для робота внешние условия и т. п.).

Важным параметром сенсорных систем является дальность действия. По этому показателю сенсорные системы роботов можно разделить на контактные, ближнего, дальнего и сверхдальнего действия.

Контактные сенсорные системы применяются для очувствления рабочих органов манипуляторов и корпусов (бамперов) мобильных роботов. Они позволяют фиксировать контакт с объектами внешней среды (тактильные сенсоры), измерять усилия, возникающие в месте этого контакта (силовые сенсоры), определять проскальзывание объектов при их удержании захватным устройством манипулятора. Контактным сенсорным системам свойственна простота, но они накладывают существенные ограничения на динамику и

прежде всего на быстрдействие управления роботом. *Тактильные сенсоры* помимо получения информации о контакте могут применяться и для определения размеров и формы объектов путем их ощупывания. Важным требованием, предъявляемым к этим устройствам, является высокая чувствительность (срабатывание при усилии в единицы грамм), малые габариты, механическая прочность и надежность.

Сенсорные системы ближнего действия обеспечивают информацией об объектах, расположенных в непосредственной близости от рабочего органа манипулятора или корпуса робота, т.е. на расстояниях, соизмеримых с их размерами. К таким системам относятся оптические локаторы и дальномеры, дистанционные измерители плотности грунта и т.п. Такие бесконтактные устройства технически сложнее контактных, но позволяют роботу выполнять задания с большой скоростью, заранее выдавая информацию о различных объектах и средах до соприкосновения с ними.

Сенсорные системы дальнего действия служат для получения информации о внешней среде в объеме всей рабочей зоны манипуляторов робота и окружающей среды мобильного робота.

Сенсорные системы сверхдальнего действия применяются главным образом в мобильных роботах. К ним относятся различные навигационные системы, локаторы и другие сенсорные системы соответствующей дальности действия. Эти устройства находят применение и в стационарных роботах при работе с подвижными объектами, чтобы заранее предвидеть их появление в рабочей зоне. Сенсорные системы дальнего и сверхдальнего действия могут размещаться как на роботе, так и вне его (для получения информации со стороны).

В бесконтактных сенсорных системах для получения требуемой информации используются излучаемые ими специальные сигналы (оптические, радиотехнические, ультразвуковые и т. д.) и естественные излучения среды и ее объектов. В зависимости от этого различают активные и пассивные сенсорные системы. Активные сенсорные системы имеют передатчик, излучающий первичный сигнал, и приемник, регистрирующий прошедший через среду прямой сигнал или вторичный сигнал, отраженный от объектов среды или сгенерированный ими под воздействием первичного сигнала. Пассивные системы имеют только приемное устройство, а роль излучателя играют сами объекты внешней среды. Поэтому пассивные сенсорные системы обычно проще и дешевле активных, но менее универсальны.

Для некоторых применений важна также скрытность действия пассивных систем. Заметим, что все органы чувств человека являются пассивными. Однако у некоторых животных, у которых такого типа системы и прежде всего

зрение не обеспечивают их необходимой информацией, существуют и активные сенсорные системы (летучие мыши, дельфины). Для оцувствления роботов наиболее широкое применение получили системы технического зрения, локационные, силомоментные и тактильные системы. Самыми универсальными из них являются системы технического (или компьютерного) зрения. Требования, предъявляемые к сенсорным системам, существенно зависят от того уровня системы управления, на котором используется их информация. В частности, наибольшее быстродействие должны иметь сенсорные системы, используемые на уровнях управления, функционирующих в реальном времени, с неизбежным при этом упрощением этой информации. Наоборот, на стратегическом уровне управления поведением робота требуется наиболее полная информация в ущерб, возможно, быстродействию.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите источники питания, используемые в робототехнике.
2. На каких критериях основан выбор типа батареи?
3. Поясните, в чем заключается отличие между гальваническими батареями разных типов.
4. Перечислите гальванические батареи и дайте их краткую характеристику.
5. Какие батареи называются аккумуляторными?
6. Перечислите типы аккумуляторных батарей и дайте их краткую характеристику.
7. Что такое «устройство управления» роботом?
8. Что такое сенсорная система?
9. Назовите функции сенсорной системы.
10. Поясните, что есть «исполнительная система» в робототехнике.
11. Дайте определение понятию «захватное устройство» в робототехнике.
12. Назовите типы захватных устройств.
13. В чем заключается разница между поддерживающими захватными устройствами и схватами?
14. Перечислите основные характеристики захватных устройств у всех типов роботов?
15. Какие существуют группы сенсорных систем роботов?

РАЗДЕЛ 4 УПРАВЛЕНИЕ РОБОТОМ

4.1 Типы управления робототехнических систем

Под управлением роботом понимается решение комплекса задач, связанных с адаптацией робота к кругу решаемых им задач, программированием движений, синтезом системы управления и её программного обеспечения.

По типу управления робототехнические системы подразделяются на:

1. Биотехнические:

- 1.1. командные (кнопочное и рычажное управление отдельными звеньями робота);
- 1.2. копирующие (повтор движения человека, возможна реализация обратной связи, передающей прилагаемое усилие, экзоскелеты);
- 1.3. полуавтоматические (управление одним командным органом, например, рукояткой всей кинематической схемой робота);

2. Автоматические:

- 2.1. программные (функционируют по заранее заданной программе, в основном предназначены для решения однообразных задач в неизменных условиях окружения);
- 2.2. адаптивные (решают типовые задачи, но адаптируются под условия функционирования);
- 2.3. интеллектуальные (наиболее развитые автоматические системы);

3. Интерактивные:

- 3.1. автоматизированные (возможно чередование автоматических и биотехнических режимов);
- 3.2. супервизорные (автоматические системы, в которых человек выполняет только целеуказательные функции);
- 3.3. диалоговые (робот участвует в диалоге с человеком по выбору стратегии поведения, при этом как правило робот оснащается экспертной системой, способной прогнозировать результаты манипуляций и дающей советы по выбору цели).

Среди основных задач управления роботами выделяют такие:

- планирование положений;
- планирование движений;
- планирование сил и моментов;
- анализ динамической точности;
- идентификация кинематических и динамических характеристик робота.

В развитии методов управления роботами огромное значение имеют достижения технической кибернетики и теории автоматического управления.

Роботы нуждаются в некоторой форме искусственного интеллекта (ИИ), чтобы иметь возможность перемещаться по команде или решать проблемы. Насколько сложным планируется сделать ИИ, зависит от нескольких факторов:

- Мощность процессора: насколько быстрый микропроцессор, 8-, 16- или 32-битный.

- Доступная память: временная и «постоянная» память. Ограниченные объемы памяти ограничивают объем данных, которые можно хранить за раз, например, карту окрестностей, историю датчиков, историю перемещений.

4.2 Архитектура управления роботом

Архитектура управления роботом может включать несколько различных архитектурных стилей и структур. Основы вычислений и коммуникации отражают определенный стиль, в то время как архитектурная структура показывает, как система разбивается на подсистемы и как взаимодействуют эти подсистемы. Хорошо продуманная архитектура может иметь множество преимуществ в спецификации, исполнении и проверке системы управления роботом. Было сделано много попыток реализовать эффективные вычислительные архитектуры для ускорения с помощью различных видов многопроцессорных технологий. Однако скорость вычислений не должна подрывать общую парадигму архитектуры (расширяемость, открытость, перенастройка и т.д.), а так же требования в реальном времени (детерминизм, синхронизация, целостность данных и т.д.). Обычно используемые архитектуры управления: централизованная, развязанная и иерархическая. Для систем с несколькими степенями свободы очень хорошо работает централизованное управление и легко компенсирует связь между управляемыми осями. Его производительность ухудшается по мере увеличения количества осей, поскольку алгоритмы управления становятся более сложными. Кроме того, его реконфигурация, как правило, невелика, поскольку любое изменение количества осей или алгоритма управления может привести к реорганизации его структуры. Напротив, развязанная архитектура имеет процессор блока управления для каждой оси, что позволяет снизить задержки связи и вычисления даже для большого количества осей. Импликация – это более высокие частоты дискретизации сервопривода, легкая реконфигурация и менее точная связь по оси. Дизайнеры интеллектуальных архитектур, которые включают такие функции, как совещательное планирование, обычно предпочитают иерархические архитектуры, где каждый уровень иерархии используется для упрощения и абстрагирования проблемы для слоя выше. Это позволяет более высокоуровневым слоям последовательно изолироваться от

реального оборудования и значительно упрощает проектирование системы для переносимости на другое оборудование. Каждая ось имеет свой локальный контроллер уровня управления сервоприводом только с локальным знанием состояния, а все оси контролируются более высоким уровнем с глобальным знанием состояния системы. Это обеспечивает хорошую координацию между осями. Для хорошо продуманной системы это качество дает преимущество перед развязанной архитектурой, и, кроме того, использование распределенной многопроцессорной структуры дает ей лучшую перенастройку, чем централизованная архитектура. В противоположность этому, задержка трафика является потенциальной проблемой в этой архитектуре, поскольку данные датчиков всегда должны перемещаться по сети.

4.3 Автономные и полуавтономные роботы

Роботы могут быть автономными и полуавтономными.

Автономный робот работает по заданному алгоритму исходя из поступающих от датчиков данных.

У полуавтономного робота есть задачи, которые контролируются человеком. И дополнительно есть другие задачи, которые он выполняет сам по себе.

Полуавтономные роботы

Хорошим примером полуавтономного робота является сложный подводный робот. Человек контролирует основные движения робота. И в это время бортовой процессор измеряет и реагирует на подводные течения. Это позволяет держать робота в одном и том же положении без дрейфа. Камера на борту робота отправляет видео обратно человеку. Дополнительно бортовые датчики могут отслеживать температуру воды, давление и многое другое.

Если робот теряет связь с поверхностью, то включается автономная программа и поднимает подводного робота на поверхность. Для того, чтобы иметь возможность управлять своим роботом, нужно будет определить его уровень автономности.

4.4 Управление по кабелю

Самый простой способ управления роботом — это ручной контроллер, физически подключенный к нему с помощью кабеля. Переключатели, ручки, рычаги, джойстики и кнопки на этом контроллере позволяют пользователю управлять роботом без необходимости включать сложную электронику.

В этой ситуации двигатели и источник питания могут быть подключены непосредственно к переключателю. Следовательно, можно контролировать его вращение вперед / назад. Это используется обычно в транспортных средствах.

Основными преимуществами такого подключения является то, что робот не ограничивается временем работы. Так как он может быть подключен непосредственно к сети. Не нужно беспокоиться о потере сигнала. Робот, как правило, имеет минимум электроники и не очень сложный. Сам робот может быть легким или иметь дополнительную полезную нагрузку. Робота можно извлечь физически при помощи троса, прикрепленного к кабелю, при необходимости. Это особенно актуально для подводных роботов.

Основными недостатками является то, что трос может запутаться, зацепиться за что-то, или оборваться. Расстояние, на которое можно отправить робота, ограничено длиной троса. Перетаскивание длинного троса добавляет трение и может замедлить или даже остановить движение робота.

4.5 Управление роботом при помощи кабеля и встроенного микроконтроллера

Подключение микроконтроллера к одному из портов ввода / вывода компьютера (например, USB-порт) позволяет управлять действиями робота. Управление происходит с помощью клавиатуры, джойстика или другого периферийного устройства. Добавление микроконтроллера в проект также может потребовать, чтобы робот был запрограммирован на входные сигналы.

Основные преимущества такие же, как и при непосредственном управлении по кабелю. Может быть запрограммировано более сложное поведение робота и его реакция на отдельные кнопки или команды. Имеется большой выбор управления контроллером (мышь, клавиатура, джойстик и т.д.). Добавленный микроконтроллер имеет встроенные алгоритмы. Это означает, что он может взаимодействовать с датчиками и принимать определенные решения самостоятельно.

К недостаткам относится более высокая стоимость из-за наличия дополнительной электроники. Другие недостатки такие же, как и при непосредственном управлении роботом по кабелю.

4.6 Управление по Ethernet

Используется разъём Ethernet RJ45. Для управления нужно Ethernet соединение. Робот физически подключен к маршрутизатору, его можно контролировать через Интернет.

Настройка робота, который может общаться через Интернет, может быть довольно сложной. В первую очередь, предпочтительным является соединение Wi-Fi (беспроводной интернет). Проводная и беспроводная комбинация также

являются опцией, где есть приемопередатчик (передача и прием). Приемопередатчик физически подключен к Интернету, и данные, полученные через Интернет, затем передаются беспроводным способом роботу.

Преимуществами является то, что робота можно контролировать через интернет из любой точки мира. Робот не ограничен по времени работы, так как он может использовать Power over Ethernet (PoE). Это технология, которая позволяет передавать удалённому устройству электрическую энергию вместе с данными через стандартную витую пару по сети Ethernet. Использование интернет-протокола (IP) может упростить и улучшить схему связи. Преимущества те же, что и при прямом проводном компьютерном управлении.

Недостатками являются: более сложное программирование и такие же, как при управлении по кабелю.

4.7 Управление при помощи ИК-пульта

Инфракрасные передатчики и приемники исключают кабель, соединяющий робота с оператором. Для работы инфракрасного управления требуется «линия визирования». Приемник должен иметь возможность «видеть» передатчик в любое время, чтобы получать данные.

Инфракрасные пульты дистанционного управления (такие, как универсальные пульты дистанционного управления, для телевизоров), используются для отправки команд инфракрасному приемнику, подключенному к микроконтроллеру. Он затем интерпретирует эти сигналы и контролирует действия робота.

Преимуществом является низкая стоимость. Для управления роботом можно использовать простые пульты дистанционного управления телевизором.

Недостатки в том, что требуется прямая видимость для управления.

4.8 Радиоуправление

Для управления при помощи радиочастот требуется передатчик и приемник с небольшими микроконтроллерами для отправки, приема и интерпретации данных, передаваемых по радиочастоте (RF). В коробке приемника имеется печатная плата, которая содержит приемный блок и небольшой контроллер сервомотора. Для радиосвязи требуется передатчик, согласованный / сопряженный с приемником. Возможно использование трансивера, который может отправлять и принимать данные между двумя физически разными средами систем связи.

Радиоуправление не требует прямой видимости и может быть осуществлено на большом расстоянии. Стандартные радиочастотные

устройства могут обеспечивать передачу данных между устройствами на расстоянии до нескольких километров. В то время как более профессиональные радиочастотные устройства могут обеспечивать управление роботом практически на любом расстоянии.



Рисунок 34. Пульт управления роботом

Многие конструкторы роботов предпочитают изготавливать полуавтономных роботов с радиоуправлением. Это позволяет роботу быть максимально автономным, обеспечивать обратную связь с пользователем. И может давать пользователю некоторый контроль над некоторыми его функциями в случае необходимости.

Преимуществом является возможность управлять роботом на значительных расстояниях. Связь является всенаправленной, но может не проходить сигнал при полной блокировке стенами или препятствиями.

Недостатком является: очень низкая скорость передачи данных (только простые команды).

4.9 Управление по Bluetooth

Bluetooth является радиосигналом (RF) и передается по определенным протоколам для отправки и получения данных. Обычный диапазон Bluetooth часто ограничен примерно 10 м. Хотя он имеет то преимущество, что позволяет пользователям управлять своим роботом через устройства с поддержкой Bluetooth. Это в первую очередь сотовые телефоны, КПК и ноутбуки (хотя для создания интерфейса может потребоваться настраиваемое программирование). Так же, как и радиоуправление, Bluetooth предлагает двустороннюю связь.

Преимущества: управляемый с любого устройства с поддержкой Bluetooth. Но, как правило, требуется дополнительное программирование. Это смартфоны, ноутбуки и т.д. Более высокие скорости передачи данных могут быть всенаправленными. Следовательно, не нужна прямая видимость и сигнал может немного проходить через стены.

Недостатки: должен работать в паре. Расстояние обычно составляет около 10 м (без препятствий).

4.10 Управление по Wi-Fi

Управление по Wi-Fi часто является дополнительной опцией для роботов. Способность управлять роботом по беспроводной сети через Интернет представляет некоторые существенные преимущества (и некоторые недостатки) для беспроводного управления. Чтобы настроить управление роботом по Wi-Fi нужен беспроводной маршрутизатор, подключенный к Интернету, и блок Wi-Fi на самом роботе. Для робота можно использовать устройство, которое поддерживает TCP / IP протокол.

Преимуществом является возможность управлять роботом из любой точки мира. Для этого нужно чтобы робот находился в пределах диапазона беспроводного маршрутизатора. Возможна высокая скорость передачи данных.

Недостатки: необходимо программирование. Максимальное расстояние обычно определяется выбором беспроводного маршрутизатора.

4.11 Управление при помощи сотового телефона

Другая беспроводная технология, которая была первоначально разработана для связи человека и человека — сотовый телефон, теперь используется для управления роботами. Поскольку частоты сотового телефона регулируются, включение сотового модуля на робота обычно требует дополнительного программирования. Также нужно понимания системы сотовой сети и правил.

Преимущество: робота можно контролировать в любом месте, где есть сотовый сигнал.

Недостатки: настройка управления по сотовой связи могут быть сложными. В каждой сотовой сети есть свои собственные требования и ограничения. Обслуживание в сети не является бесплатным.

4.12 Автономное управление роботом

Автономное управление может осуществляться в различных формах:

- робот может быть предварительно запрограммирован без обратной связи с окружающей средой;
- с ограниченной обратной связью с датчиками;

- со сложной обратной связью с датчиками.



Рисунок 35. Автономные роботы

Настоящее автономное управление включает в себя множество датчиков и алгоритмов. Они позволяют роботу самостоятельно определять лучшее действие в любой заданной ситуации. Самые сложные методы управления, которые в настоящее время реализуются на автономных роботах, являются визуальными и слуховыми командами. Для визуального контроля робот смотрит на человека или объект, чтобы получить свои команды.

Управление роботом требует очень высокого уровня программирования и большого количества времени.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение понятию «управление роботом».
2. Перечислите робототехнические системы по типу управления и дайте их характеристику.
3. Что такое «искусственный интеллект»?
4. От каких факторов зависит сложность планируемого искусственного интеллекта?
5. Что включает в себя архитектура управления роботом?
6. Какие роботы называются автономными? Дайте характеристику автономным роботам.

7. Какие роботы называются полуавтономными? Дайте характеристику полуавтономным роботам.
8. Опишите механизм управления роботом при помощи кабеля и микроконтроллера.
9. Опишите механизм управления роботом по Ethernet.
10. Опишите механизм управления роботом при помощи ИК-пульта
11. Опишите механизм радиуправления роботом.
12. Опишите механизм управления роботом по Bluetooth.
13. Опишите механизм управления роботом по Wi-Fi.
14. Опишите механизм управления роботом при помощи сотового телефона.
15. В каких формах может осуществляться автономное управление роботом?

РАЗДЕЛ 5. ДАТЧИКИ

Роботизированное устройство не сможет функционировать без поступления необходимой информации об окружающем расположении объектов, с которыми оно должно взаимодействовать. Источниками такой информации служат разнообразные датчики, передающие данные на контроллер — «мозг» — робота, который обрабатывает поступающие сигналы и «принимает решение» о дальнейших действиях.

Какие типы датчиков необходимо установить в робота, зависит от задач, возложенных на конструкцию.

Датчики для роботов бывают:

- контактные
- дистанционные
- позиционирования
- реагирующие на условия окружающей среды
- использующие вращение
- и другие

5.1 Контактные датчики

— *Кнопка / контактный выключатель*

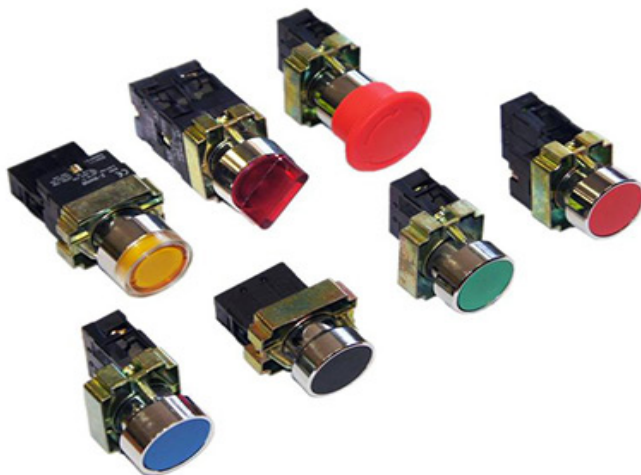


Рисунок 36. Контактный выключатель

Кнопка предлагает одно из двух возможных показаний (ON или OFF). Переключатели, кнопки и контактные датчики используются для обнаружения физического контакта между объектами, а не ограничиваются только людьми, нажимающими на кнопки.

Бампер робота может быть оснащен датчиком касания или кнопкой. Дополнительно «усы» (как и у животного) могут использоваться для обнаружения объекта на различных расстояниях.

Преимущества: очень низкая цена, простота интеграции, надежность.

Недостатки: расстояние измерения ограничено.

— Датчики измерения давления

В результате работы датчик робота производит выходной сигнал, пропорциональный прилагаемой к нему силе.

Преимущества: позволяет измерять, сколько силы приложено.

Недостатки: могут быть неточными.

5.2 Дистанционные датчики

— Ультразвуковые датчики

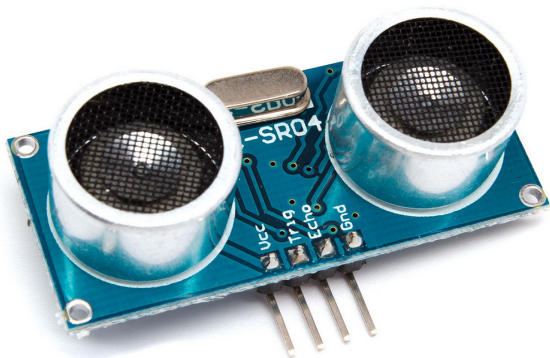


Рисунок 37. Ультразвуковые датчики

Датчики, которые используют ультразвуковые сигналы для измерения времени между отправкой сигнала и возвратом его эхо-сигнала называются ультразвуковыми. Датчики роботов в этом случае созданы на основе изучения летучих мышей, дельфинов и других животных.

Ультразвуковые дальномеры могут измерять диапазон расстояний и имеют зависимость от отражающей способности различных материалов.

Преимущества: измерение среднего диапазона (несколько метров).

Недостатки: поверхности и факторы окружающей среды могут повлиять на показания.

— *Инфракрасные датчики*



Рисунок 38. Инфракрасные датчики

Инфракрасный диапазон также может использоваться для измерения расстояния. Некоторые инфракрасные датчики измеряют одно конкретное расстояние, в то время как другие обеспечивают выходной сигнал, пропорциональный расстоянию до объекта.

Преимущества: низкая стоимость, достаточно надежные и точные.

Недостатки: более широкий диапазон, чем у ультразвуковых датчиков.

— *Лазер*

Лазеры используются, когда требуется высокая точность, или большое расстояние до объекта, или когда присутствуют оба фактора. Сканирующие лазерные дальномеры используют спин-лазеры (ультрабыстрые лазеры) для двумерного сканирования расстояния до объектов.

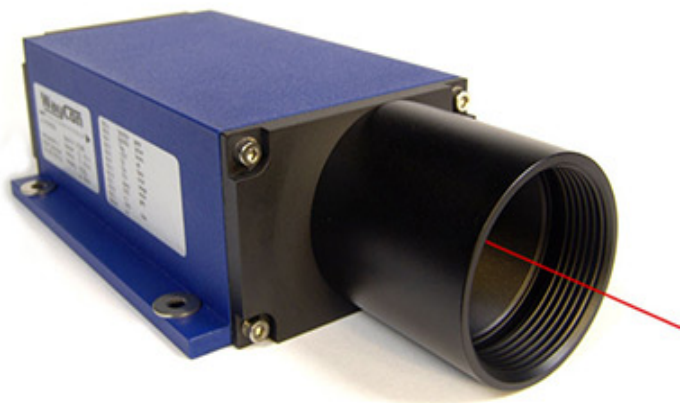


Рисунок 39. Лазер

Преимущества: очень точные с очень большим диапазоном.

Недостатки: дороже, чем обычные инфракрасные или ультразвуковые датчики.

— Энкодеры

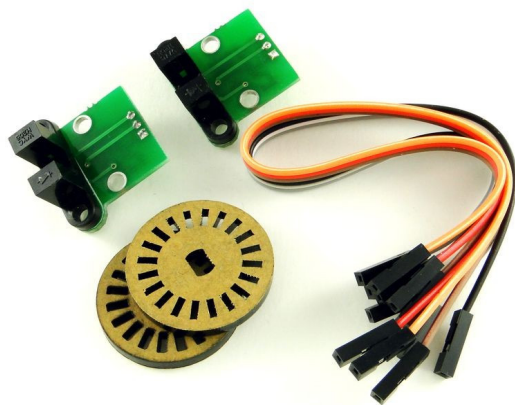


Рисунок 40. Энкодер

Оптические энкодеры часто используют пару светодиод фотодиод. На валу установлен диск с отверстиями, через которые сигнал со светодиода попадает на фотодиод и считывается количество импульсов.

Определенное количество отверстий соответствует полному углу, пройденному колесом. Зная радиус колеса, можно определить общее расстояние, пройденное этим колесом. Два энкодера дают относительное расстояние в двух измерениях.

Преимущества: если нет скольжения, то высокая точность измерения. Часто устанавливается на задний вал двигателя.

Недостатки: требуется дополнительное программирование, более точные оптические энкодеры могут дорого стоить.

— *Линейный потенциометр*



Рисунок 41. Линейный потенциометр

Линейный потенциометр способен измерять абсолютное положение объекта.

Преимущества: точно измеряет абсолютное положение.

Недостатки: маленький диапазон.

— *Датчики растяжения и изгиба*



Рисунок 42. Датчик растяжения

Датчик растяжения состоит из материала, сопротивление которого изменяется в зависимости от того, насколько он растянут. Датчик изгиба обычно представляет собой сэндвич из материалов, где сопротивление одного из слоев изменяется в зависимости от того, насколько он был согнут.

Их можно использовать для определения небольшого угла или поворота, например, сколько пальцев было согнуто.

Преимущества: полезно, когда ось вращения является внутренней или недоступной.

Недостатки: небольшая точность и возможность измерения только малых углов.

— *Стереокамера*

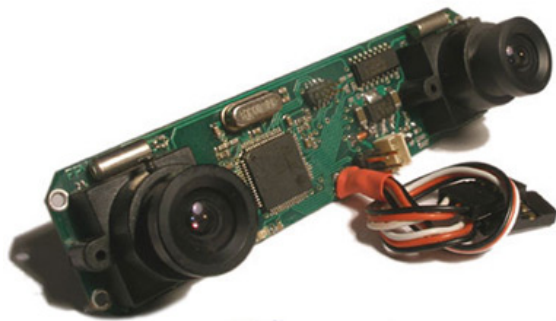


Рисунок 43. Стереокамера

Как и человеческие глаза, две камеры, расположенные на расстоянии друг от друга, могут предоставлять информацию о глубине (стереовидение). Камера, в сочетании с программным обеспечением, может обеспечить хорошее распознавание цвета и объектов.

Преимущества: возможность предоставления подробной информации и хорошая обратная связь.

Недостатки: сложность в программировании и в использовании информации.

5.3 Датчики позиционирования

— Локализация в помещении (навигация в комнате)

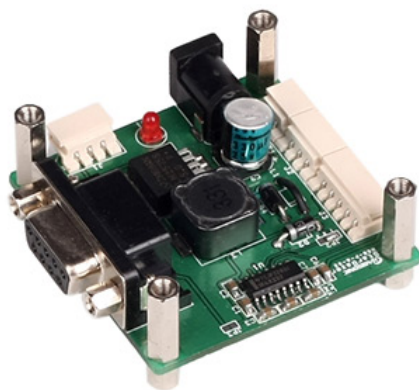


Рисунок 44. Система локализации

Внутренняя система локализации может использовать несколько маяков для триангуляции (определение взаимного расположения точек на поверхности) положения робота в помещении, в то время как другие используют камеру и ориентиры.

Преимущества: отлично подходит для абсолютного позиционирования.

Недостатки: требуется сложное программирование и использование маркеров.

— GPS

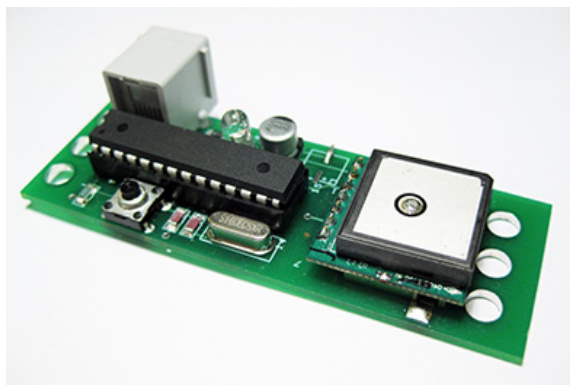


Рисунок 45. Устройство GPS

GPS использует сигналы от нескольких спутников, вращающихся вокруг планеты, чтобы определить их географические координаты.

Устройства GPS могут обеспечить географическое позиционирование с точностью до 5 метров, в то время как более сложные системы, включающие обработку данных и исправление ошибок, благодаря использованию других единиц GPS или ИДУ, могут иметь точность до нескольких сантиметров.

Преимущества: не требует маркеров или других ссылок.

Недостатки: могут работать только на открытом пространстве.

5.4 Датчики вращения

— Потенциометр

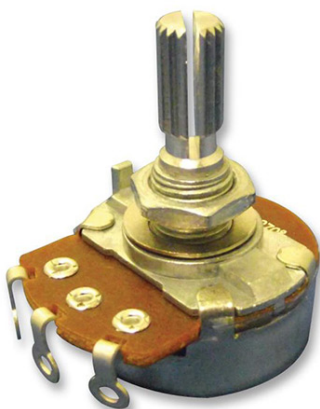


Рисунок 46. Поворотный потенциометр

Поворотный потенциометр – это делитель напряжения, который обеспечивает аналоговое напряжение, соответствующее углу поворота ручки.

Преимущества: простой в использовании, недорогой, достаточно точный, обеспечивает абсолютные показания.

Недостатки: большинство из них ограничены 300 градусами вращения.



Рисунок 47. Гироскоп

Электронный гироскоп измеряет скорость углового ускорения и подает соответствующий сигнал (аналоговый сигнал напряжения, последовательный канал связи, с I2C и т.д.). В электронном гироскопе используются пьезопластины.

Преимущества: отсутствие «механических» компонентов.

Недостатки: датчик всегда подвергается угловому ускорению, тогда как микроконтроллер не всегда может принимать непрерывный входной сигнал, то есть значения теряются, что приводит к "дрейфу" значений.

— Энкодер

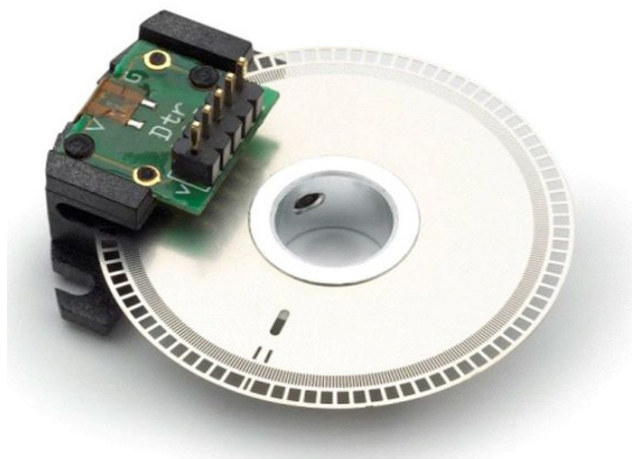


Рисунок 48. Энкодер

Оптические энкодеры используют мини — инфракрасные пары передатчика / приемника. Количество разрывов инфракрасного пучка соответствует полному углу, пройденному колесом.

Механический энкодер использует очень тонко обработанный диск с достаточным количеством отверстий, чтобы читать определенные углы. Поэтому механические датчики могут использоваться как для абсолютного, так и для относительного вращения.

Преимущества: точность.

Недостатки: у оптических энкодеров угол поворота является относительным (не абсолютным) от исходного положения.

5.5 Датчики роботов, реагирующие на условия окружающей среды

— Датчик света



Рисунок 49. Датчик света

Датчик света может использоваться для измерения интенсивности источника света, будь то естественным или искусственным. Обычно его сопротивление пропорционально интенсивности света.

Преимущества: низкая цена.

Недостатки: не могут различать источник или тип света.

— Датчик звука

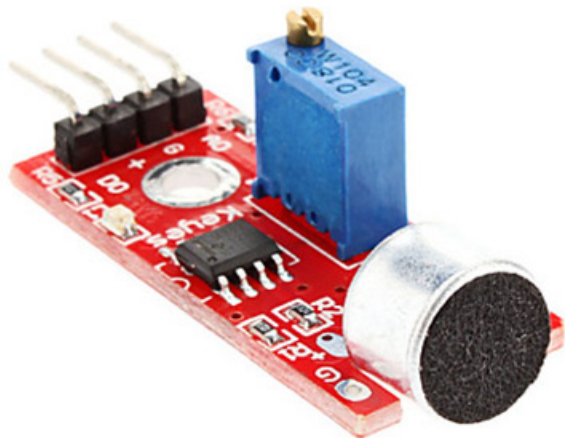


Рисунок 50. Датчик звука

Датчик звука — это, по сути, микрофон, который возвращает напряжение, пропорциональное уровню окружающего шума. Более сложные платы могут использовать данные из микрофона для распознавания речи.

Преимущества: дешевый и надежный датчик.

Недостатки: для того, чтобы расшифровать важную информацию требуется сложное программное обеспечение.

— Температурный датчик



Рисунок 51. Температурный датчик

Температурные датчики могут использоваться для измерения температуры окружающей среды или в сложных условиях, например в нагревательных элементах, печах и т.д.

Преимущества: могут быть высокоточными.

Недостатки: более сложные и точные датчики могут быть более сложными в использовании.

— *Тепловизионная камера*



Рисунок 52. Тепловизионный датчик (камера)

Тепловизионный датчик (камера) инфракрасного или теплового изображения позволяет получить полное 2D-тепловое изображение всего, что находится перед камерой тепловизора. Таким образом, можно определить температуру объекта.

Преимущества: можно выборочно на расстоянии измерять тепловую активность объектов.

Недостатки: высокая стоимость.

— *Датчик измерения влажности*

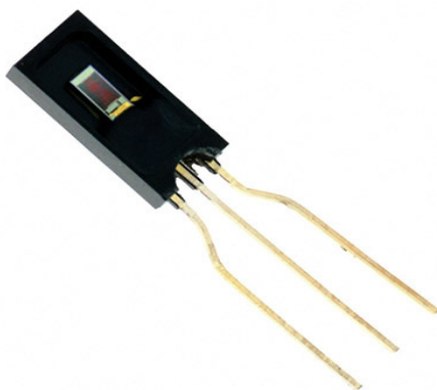


Рисунок 53. Датчик влажности

Датчики влажности определяют процентное содержание воды в воздухе и часто соединяются с датчиками температуры.

— *Барометрический датчик давления*

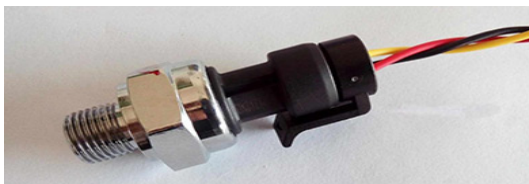


Рисунок 54. Датчик давления

Датчик давления (который также может быть барометрическим датчиком) может использоваться для измерения атмосферного давления. Следовательно, может дать представление о высоте БПЛА (беспилотный летательный аппарат).

— *Датчик газа*



Рисунок 55. Датчик газа

Датчики газа используются для определения наличия и концентрации различных газов. Однако они нужны только специализированных робототехнических комплексов.

Преимущества: это единственные датчики роботов, которые могут быть использованы для точного обнаружения газа.

Недостатки: недорогие датчики могут давать ложные срабатывания или несколько неточны и поэтому не должны использоваться для критически важных задач.

— *Магнитометр*



Рисунок 56. Магнитометр

Магнитометры могут быть использованы для обнаружения магнитов и магнитных полей. Также может определить полярность.

Преимущества: помогает обнаружить ферромагнитные металлы.

Недостатки: в некоторых случаях датчики могут быть повреждены сильными магнитами.

5.6 Датчики, использующие вращение

— *Компас*



Рисунок 57. Цифровой компас

Цифровой компас способен использовать магнитное поле Земли для определения его ориентации относительно магнитных полюсов. Наклон компаса компенсируется и учитывает тот факт, что робот не может передвигаться строго горизонтально.

Преимущества: обеспечивает абсолютную навигации.

Недостатки: более высокая точность увеличивает цену.

— *Акселерометр*

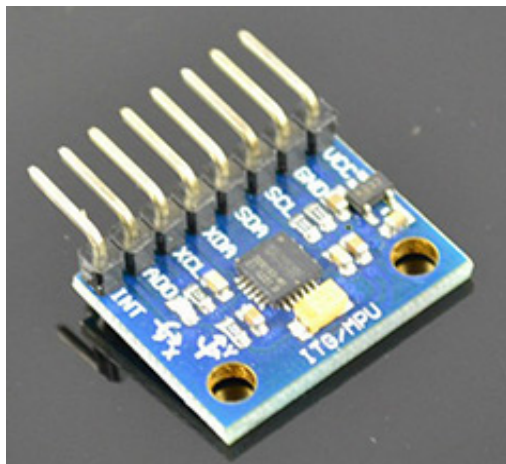


Рисунок 58. Акселерометр

Акселерометры измеряют линейное ускорение, гравитационное ускорение или любое другое ускорение, которое испытывает робот.

Это может быть хорошим вариантом для приблизительной оценки расстояния.

Акселерометры могут измерять ускорение вдоль одной, двух или трех осей. Трехосевой акселерометр позволяет измерять все углы наклона сенсора в пространстве.

Преимущества: они не требуют никаких внешних ссылок или маркеров для функционирования, и может обеспечить абсолютную ориентацию по отношению к гравитационному полю Земли или определить относительную ориентацию.

Недостатки: они только приблизительно оценивают пройденное расстояние и не могут точно определить его.

— Инерциальный измерительный блок (ИИБ)



Рисунок 59. Инерциальный измерительный блок

Инерциальный измерительный блок сочетает в себе мультиосевой акселерометр с мультиосевым гироскопом и иногда мультиосевым магнитометром для того, чтобы более точно измерить крен. Такие датчики роботов достаточно сложные.

Преимущества: это очень надежный способ измерения без использования внешних ссылок (кроме магнитного поля Земли)

Недостатки: может быть очень дорогим и сложным в использовании.

И другие датчики

— Датчики тока и напряжения

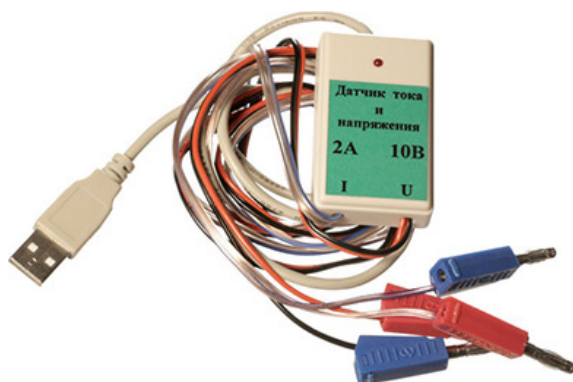


Рисунок 60. Датчик тока и напряжения

Датчики тока и напряжения измеряют ток и/или напряжение конкретной электрической цепи. Это может быть очень полезно для определения того, сколько робот сможет работать (измерять напряжение аккумуляторной батареи или ток).

Преимущества: сравнительно низкая стоимость и возможностью измерять как переменный, так и постоянный ток.

Недостатки: могут вносить изменения в измеряемое напряжение или ток. Иногда требуется изменить измеряемую электрическую цепь.

— *Магнитные датчики*



Рисунок 61. Магнитные датчики

Магнитные датчики и магнитометры способны обнаружить магнитные предметы и могут требовать контакта с объектом, или должны быть расположены относительно близко к объекту.

Такие датчики роботов могут использоваться на автономной газонокосилке для обнаружения провода, проложенного по газону или для поиска скрытой проводки в квартире.

Преимущества: сравнительно недорогие.

Недостатки: должны располагаться относительно близко к объекту, и к сожалению, не могут обнаруживать немагнитные металлы.

— Датчики вибрации



Рисунок 62. Датчик вибрации

Датчики вибрации предназначены для обнаружения вибрации объекта с помощью пьезоэлектрических или других технологий.

— Технологии RFID

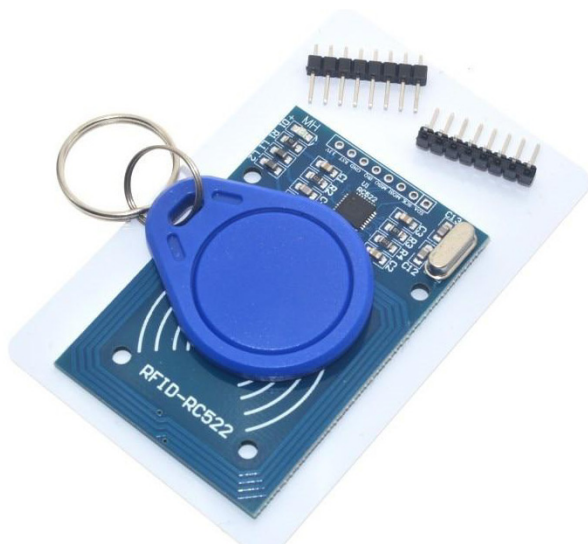


Рисунок 63. RFID метка

Технология RFID – это технология беспроводного обмена данными посредством радиосигнала между электронной меткой, которая помещается на

объект и специальным радиоэлектронным устройством, которое считывает сигнал метки.

Устройства радиочастотной идентификации могут использовать как активные (с питанием), так и пассивные (без питания) RFID-метки обычно имеющие размер и форму кредитной карты, небольшой плоский диск или дополнение к брелочку (другие формы также возможны).

Когда метка RFID находится на определенном расстоянии от считывателя RFID, создается сигнал с идентификатором тега.

Преимущества: RFID-метки обычно имеют очень низкую стоимость и могут определяться индивидуально.

Недостатки: бесполезно для измерения расстояния, кроме случаев, когда метка находится в пределах диапазона.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение понятию «датчик».
2. Перечислите виды датчиков.
3. Контактные датчики: дать определение, перечислить виды, преимущества и недостатки.
4. Дистанционные датчики: дать определение, перечислить виды, преимущества и недостатки.
5. Датчики позиционирования: дать определение, перечислить виды, преимущества и недостатки.
6. Датчики вращения: дать определение, перечислить виды, преимущества и недостатки.
7. Датчики, реагирующие на условия окружающей среды: дать определение, перечислить виды, преимущества и недостатки.
8. Датчики, использующие вращение: дать определение, перечислить виды, преимущества и недостатки.

РАЗДЕЛ 6 НАВИГАЦИЯ РОБОТОВ

6.1 Системы обеспечения навигации

Робототехника – область науки и техники, ориентированная на создание роботов и робототехнических систем, предназначенных для автоматизации сложных технологических процессов и операций, в том числе, выполняемых в неопределённых условиях, для замены человека при выполнении тяжелых, утомительных и опасных работ.

В настоящее время в большинстве случаев управление роботом на уровне движений осуществляет человек-оператор, при этом от человека требуется непрерывное наблюдение за роботом и оперативное управление его действиями. Такой подход определяется неспособностью робота принимать самостоятельные решения и имеет ряд недостатков. К ним можно отнести необходимость организации и постоянной поддержки канала связи с человеком-оператором (кабельная связь или радиосвязь), что существенно ограничивает область применения робота.

Первые системы обеспечения навигации роботов создавались на основе сканирующих датчиков, в том числе телевидения, локационных и стереодальномеров. Специальная вычислительная схема робота в конечном итоге сводила электрические сигналы к аналогам различных препятствий и делала вывод о целесообразности того или иного движения. Стандартными признаками препятствий, воспринимаемых роботом, стали стена, навес, яма - обрыв, наклон и другие упрощенные или укрупненные детали сцены.

Обычно задачу технического зрения робота при навигации разбивают на три уровня, соответствующих дальней, средней и ближней навигации.

Система дальней навигации предназначена для планирования основного маршрута движения робота. Главной функцией машинного зрения при этом является распознавание ориентиров. Оптико-электронная схема, обеспечивающая решение данной задачи, состоит из объектива с переменным фокусным расстоянием (трансфокатора), электронного блока, управляющего камерой, механизма, реализующего наклон или поворот камеры, а также системы распознавания ориентира. Входные сигналы определяются картой видимости, визуальными моделями ориентиров, картой местности и описанием задачи. Представления о внешней среде базируются на карте областей видимости (проходимости робота), местоположении робота, последовательности расположения областей, через которые проходит маршрут движения.

Система промежуточной (средней) навигации содержит карту, которая является подмножеством карты системы дальней навигации с более подробным содержанием. Задача навигации состоит в обеспечении движения в пределах однородной видимости, т.е. робот проходит коридоры свободного пространства (прямой полосы местности, где не требуется маневрирования). Система промежуточной навигации предполагает чередование таких коридоров и их последовательную корректировку путем увеличения ширины и разбиения маршрута на более мелкие участки. Входные сигналы этой системы основаны на карте дальней навигации, моделях известных препятствий и явных ориентиров местности, маршруте, спланированном на базе системы дальней навигации. Система промежуточной навигации обеспечивает общий анализ изображений для последующей сегментации и распознавания, качественное определение расстояний, накопление ориентиров и планирование маршрута. Представление о внешнем мире даст карта коридоров свободного пространства, на которой отмечены основные характерные признаки препятствий и местности.

Система ближней навигации предназначена для непосредственного измерения расстояний в сочетании с многоаспектным определением подпространства промежуточной безопасной зоны, в пределах которой перемещается робот, а также анализа структуры местности. Входными данными служат информация, поступающая от модулей счисления пройденного пути и курса, сведения о свободном пространстве. Система должна измерять расстояния, оценивать структуру местности, определять безопасный обход препятствий и планировать прохождение по определенным трассам.

Отдельной задачей системы ближней навигации является следование по дорогам. В ее состав входят планирование последовательности осязаемых изменений дороги, преодоление пересеченных и искривленных участков, крутых спусков и подъемов дороги, а также, обеспечение навигации при наличии другого робота. Таким образом, эта задача, являясь частной для всей навигации робота, была связана с первыми этапами разработки навигационных систем роботов.

Основной процесс управления при навигации робота состоит в передаче задач от уровней с большей степенью абстракции к уровням с меньшей ее степенью, а информация о состоянии робота проходит в обратном направлении. При этом каждый уровень навигации хранит карту своей рабочей зоны робота и имеет специальные видеодатчики с соответствующими визуальными возможностями.

Навигация мобильного робота охватывает большой диапазон различных технологий и применений. Она опирается как на очень старые технологии, так и на самые продвинутые достижения науки и техники.

В робототехнике выделяют три навигационные системы:

а) глобальная – определение абсолютных координат устройства при движении по длинным маршрутам;

б) локальная – определение координат устройства по отношению к некоторой (обычно стартовой) точке. Эта схема востребована разработчиками тактических беспилотных самолетов и наземных роботов, выполняющих миссии в пределах заранее известной области;

в) персональная – позиционирование роботом частей своего тела и взаимодействие с близлежащими предметами, что актуально для устройств, снабженных манипуляторами.

Чем крупнее аппарат, тем выше для него важность глобальной навигации и ниже – персональной. У небольших роботов все наоборот.

Системы навигации классифицируются также по признаку: они могут быть пассивными и активными. *Пассивная система* навигации подразумевает прием информации о собственных координатах и других характеристиках своего движения от внешних источников, а *активная* рассчитана на определение местоположения только своими силами. Как правило, все глобальные схемы навигации пассивные, локальные бывают и теми и другими, а персональные схемы – всегда активные.

6.2 Способы организации движения робота

Первые модели роботов с автономной навигацией, созданные в 60-е годы, передвигались по маршруту, жестко заданному с помощью электрических кабелей. На роботах устанавливались устройства приема электромагнитного излучения кабеля, позволявшие определять направление перемещения. Аппараты могли двигаться по различным маршрутам благодаря тому, что по нескольким кабелям передавался сигнал с разной частотой. Но такая схема была дорогой и негибкой.

С появлением первых систем машинного зрения удалось отказаться от кабелей и перейти к навигации по ярко нарисованным (или флуоресцентным) линиям на полу. Робот с помощью камеры следил за такой линией и самостоятельно двигался вдоль нее. Но, линии часто стирались, нередко загорались другими аппаратами и людьми, а на перекрестках, где

сходилось несколько маршрутных линий, роботы обычно терялись и останавливались, не в силах понять, куда же двигаться дальше.

Испытывались и другие похожие концепции. По маршруту движения на определенной высоте размещались предметы-маркеры заданной формы, которые робот с помощью датчиков фиксировал, определяя тем самым свое местонахождение. Но такая схема навигации основана на нежелательном физически активном контакте машины с окружающим миром, что может привести к разрушительным последствиям. Кроме того, роботы не всегда могли правильно идентифицировать маркеры.

Постепенно модели *маркерной навигации* были оснащены более совершенными аналоговыми датчиками, научившимися измерять силу реакции контакта и определять форму маркера, сейчас в этих целях применяются цифровые матричные датчики, способные получать от маркеров подробные данные об окружающей среде.

Следующий способ навигации – это использование *лазерных дальномеров и ультразвуковых генераторов* (сонаров). Однако лазерный луч поможет получить образ среды только в зоне прямой видимости. Кроме того, на пути луча часто возникают мелкие помехи, вносящие погрешность в такой образ. А ультразвуковые датчики характеризуются большим временем отклика (если робот находится на большом и открытом пространстве), порядка десятых долей секунды, что не позволяет роботу перемещаться быстро. Скорость звука в разных условиях также может "плавать", влияя на точность оценки расстояния, в результате в системе управления робота искажается общая картина окружающей среды. Создание трехмерных карт с помощью лазеров в масштабе реального времени еще более затруднительно и требует существенных вычислительных мощностей, которые пока не удастся воплотить в виде компактных бортовых плат. По этим причинам ценность информации, поступающей от бортовых датчиков, невелика. Роботу необходимо перевести ее в формальное и структурированное текстовое описание мира (задача распознавания).

Одним из способов организации движения робота в заранее не определённой среде может быть использование алгоритмов системы управления движением робота, снабжённого оптронной линейкой – датчиком слежения за полосой, нанесённой на поверхность полигона. Существует метод организации движения робота на оснащённом системой маяков полигоне, основанный на построении виртуальной полосы, которая формируется в бортовом компьютере робота с таким расчётом, чтобы она огибала включённые маяки и обеспечивала прохождение заданной трассы. Автономное определение

на борту робота его обобщённых координат позволяет сформировать «виртуальную оптронную линейку», сигнал с которой пропорционален отклонению робота от виртуальной полосы.

Сегодня, большинство роботов, ориентирующихся на местности, полагаются на одометрию (odometry – измерение пройденного пути) как на основу навигационной системы. Обычный одометрический измеритель включает в себя оптические кодировщики, спаренные с вращающимися осями.

В современной робототехнике используются следующие вращательные сенсоры, измеряющие перемещение и скорость:

- а) кодеры со щеточными контактами;
- б) потенциометры;
- в) оптические кодеры;
- г) магнитные кодеры;
- д) индуктивные кодеры;
- е) емкостные кодеры.

Наиболее популярные вращательные кодеры – инкрементальный или абсолютный оптические кодеры.

В основе современных оптических сенсоров лежит уменьшенный сенсор, определяющий близость по прерыванию луча. В нем сфокусированный и направленный на определенный фотодетектор луч света периодически прерывается диском со специальными прорезями, вращающимся на валу. Развитие этой схемы кодирования – выходные данные, которые по сути своей цифровые, собираются в недорогой и надежной «упаковке» с хорошей помехоустойчивостью. Существует два основных вида оптических кодеров:

- а) инкрементный – измеряет скорость вращения и может определить относительное положение;
- б) абсолютный – измеряет точное угловое положение и может определить скорость.

Одноканальный тахометр – простейший вид инкрементного кодера. В основе механики – дискретный источник света, пульсирующий определенное количество раз за один оборот вала. Увеличение количества импульсов за оборот увеличивает разрешение кодера (и его стоимость). Это устройство хорошо подходит как измеритель скорости с обратной связью в средне и высокоскоростных системах управления. Но у них появляются проблемы с помехами и стабильностью на малых скоростях из-за ошибок дискретизации. К этим проблемам добавляется то, что одноканальный тахометр не способен определить направление вращения и, как следствие, не может быть использован как позиционирующий сенсор.

Абсолютные оптические кодеры обычно используются в приложениях с медленным вращением, для которых не допустима потеря информации о положении из-за временной потери питания. Лучше всего подходит для систем с медленным и/или нечастым вращением, в которых кодируется угол поворота (противоположность вычислениям, связанным с продолжительным высокоскоростным вращением, требуемые для вычисления перемещения по пути следования).

Потенциальное неудобство абсолютного кодера – параллелизм выходных данных, который требует более сложный интерфейс из-за большого количества проводов.

Одометрия дает хорошую кратковременную точность, недорогая и обладает очень большой частотой дискретизации.

Альтернативный метод одометрии – инерционная навигация. Принцип работы включает непрерывное считывание даже малейшего ускорения по каждой из трех осей направлений и перемещение во времени, чтобы вычислить положение. Платформа сенсора стабилизируется гироскопом, это необходимо для сохранения строгой ориентации трех акселерометров на протяжении всего процесса.

Хотя концепция метода проста, специфика реализации весьма требовательна. Главным образом это вызвано ошибками, причиной которых является стабильность (ее отсутствие), для обеспечения которой, чтобы гарантировать корректность вычисления положения, используются гироскопы.

Одним из преимуществ инерционной навигации является возможность обеспечивать быстрые, низколатентные динамические измерения.

Однако главным недостатком является то, что угловые и скоростные данные должны быть включены один и два раза (соответственно) для определения ориентации и линейного позиционирования (соответственно).

Другой вид *навигации с помощью ориентиров*. Существуют естественные и искусственные ориентиры.

Главная проблема навигации по природным ориентирам заключается в определении и сопоставлении характерных особенностей с данными, полученными от сенсоров. Такие сенсоры представляют собой машинное зрение. Большинство систем машинного зрения основаны на определении длинных отрезков прямых, например как в дверных проемах или точек соединения стен и потолка.

В системе позиционирования по природным ориентирам выделяют следующие базовые компоненты:

а) сенсор (обычно зрительный) детектирующий и выделяющий ориентиры на сцене;

б) метод сравнения, полученных в результате наблюдения, особенностей с картой известных ориентиров;

в) метод вычисления местоположения и локализации ошибок от сравнений.

Намного легче детектировать искусственные ориентиры, так как они разрабатываются с оптимальным контрастом. Вдобавок, для искусственного ориентира заранее известны точные размеры и форма. Многие системы позиционирования по искусственным ориентирам основаны на машинном зрении, а в качестве ориентиров чаще всего используются черный прямоугольник с белыми точками по углам, сфера с вертикальными и горизонтальными окружностями для калибровки, что позволяет определить пространственное (трехмерное) положение по одному изображению.

Существуют также ориентиры, которые используются не визуальными сенсорами. Наиболее часто используемые – штрих-код отражатель для лазерных сканеров.

Ещё один, используемый вид навигации по ориентирам, – это *линейная навигация*. Она может рассматриваться как навигация по непрерывным ориентирам, а из-за того, что в большинстве случаев сенсор, используемый в системе, должен находиться очень близко к линии, габариты устройства ограничены тем, что оно должно находиться в непосредственной близости от линии. Основные реализации линейной навигации:

- а) электромагнитное управление;
- б) управление отражающей или оптической лентой;
- в) ферритовое управление, где используется феррито магнитная пыль;
- г) управление по термальным маркерам.

Основные особенности навигации по ориентирам:

а) навигация по природным маякам требовательна к постоянству окружающей обстановки;

б) навигация по искусственным маякам – недорогая и может обладать дополнительными информационными кодерами;

в) максимальное расстояние между роботом и ориентиром значительно меньше, чем в системах с активными маяками;

г) точность позиционирования зависит от расстояния и угла между роботом и ориентиром;

д) необходима большая вычислительная мощность, чем в системах с активными маяками;

е) внешние условия (такие как освещенность) могут быть причиной ошибок таких как: ориентир не может быть распознан, или некоторый объект ошибочно принят за ориентир;

ж) в навигации по ориентирам требуется, что бы робот «знал» свое примерное начальное положение для того, чтобы он «понимал», где искать ориентиры. Если это требование не выполнено, то, очень часто, в систему включают функцию «всеохватного» поиска;

з) база данных маяков и их расположения в пространстве должна все время поддерживаться.

Существует *навигация по карте*. Картографическое позиционирование (также известное как «карто соответствующая» или "map matching") – это технология, по которой робот использует сенсоры для построения локальной карты местности. Эта локальная карта потом сравнивается с глобальной, предварительно сохраненной в памяти. После нахождения совпадений робот вычисляет свое текущее положение и ориентацию на местности. В качестве предварительно записанной карты может выступать САПР модель местности, или она может быть построена по предварительно полученным от сенсоров данным.

Основные преимущества картографического позиционирования:

а) используется на местности со структурой типичной для помещения и получает информацию о положении в окружении, не изменяя его;

б) может быть использована для создания и обновления карты местности;

в) позволяет роботу изучить новую местность и повышает точность позиционирования при ее (местности) исследовании.

Недостатки картографической навигации связаны со следующими требованиями:

а) на местности должно быть достаточное количество стационарных, хорошо различимых деталей, по которым будет производиться сопоставление, сенсоров должно быть ровно столько, сколько необходимо (в зависимости от поставленной задачи);

б) должна быть доступна значительная чувствительная и вычислительная мощность.

В картографическом позиционировании выделяют два общих способа представления карт: геометрическое и топологическое. На геометрической карте объекты представляются в соответствии с их абсолютными геометрическими отношениями. Это может быть сеточная карта или более абстрактная линейная или полигональная карта. С другой стороны – топологический подход, он больше базируется на протоколировании геометрических отношений между отслеженными особенностями, чем на их абсолютное положение в координатах относительно некоторой системы отсчета. В отличие от геометрических карт, топологические карты могут строиться и поддерживаться без знания о расположении робота.

Навигация роботов является актуальной задачей современной робототехники. При этом процесс навигации включает в себя следующие этапы:

- а) составление карты среды;
- б) коррекция траектории движения робота;
- в) планирование маршрута (выбор оптимального пути, ведущего к цели);
- г) управление локальными перемещениями;
- д) обход роботом опасных участков трассы.

Алгоритмическое решение этих задач должно опираться на информацию о рельефе поверхности, которая может быть известна, дополняться в процессе перемещения робота. Для прокладки маршрута используется глобальная информация о районе перемещения, например, в виде матрицы рельефа, каждый элемент которой соответствует определенному участку поверхности. Индексы отдельного элемента матрицы определяют линейные координаты участка местности, а значение элемента – относительную высоту этого участка.

Управление локальными перемещениями по известному маршруту осуществляется на основании информации о характере поверхности в ближней окрестности робота.

Если определить маршрут движения как последовательность опорных пунктов (подцелей) движения, включающую исходное и конечное (целевое) положения робота, то задача прокладки маршрута включает формирование некоторого множества подцелей и последующий выбор такого его подмножества, которое оптимизирует движение робота.

Процессу прокладки маршрута движения робота предшествует составление карты среды. С локальными перемещениями робота связаны задачи коррекции траектории движения и обхода опасных участков поверхности.

Система управления роботом должна решать следующие задачи:

- а) обработка сенсорных данных (в т.ч. данных от интерфейса с оператором) с целью сбора информации о роботе и внешней среде вокруг него;
- б) планирование мероприятий по уяснению целевого задания и планирование последовательности подзадач, необходимых для выполнения этого задания;
- в) формирование таких программных траекторий движения, которые бы приводили к выполнению роботом локальной подзадачи (например, прибытие к целевой точке в среде с препятствиями);
- г) формирование таких задающих воздействий на исполнительные механизмы робота, которые бы приводили к максимально точному и быстрому выполнению ими программной траектории движения.

6.3 Особенности построения системы управления интеллектуального робота

Одной из особенностей построения системы управления интеллектуального робота является то, что она строится по иерархическому многоуровневому принципу, согласно которому с повышением иерархического ранга подсистемы повышается ее степень интеллектуальности.

Самым верхним звеном этой иерархии является система управления поведением, далее следует система управления движением, а система управления исполнительными механизмами является самым нижним звеном этой иерархии. Кроме перечисленных подсистем в структуре имеется информационно-измерительная система, которая также должна обладать некоторыми интеллектуальными возможностями, и интерфейс с оператором.

Система управления поведением (стратегический уровень) предназначена для формирования целесообразного поведения робота для выполнения задачи, поставленной перед ним. На выходе эта система формирует целеуказание для системы управления движением: целевая точка пути, требуемое состояние приводов робота, команды управления режимами работы информационно-измерительной системы.

Система управления движением (тактический уровень) предназначена для планирования таких программных траекторий движения робота, которые бы приводили робота в указанное целевое состояние в среде с препятствиями, учитывая динамические характеристики робота. Целевое состояние для этой системы формирует система управления поведением. На выходе данная система формирует требуемое командное значение скоростей линейного движения и поворота робота.

Система управления исполнительными механизмами (приводной уровень системы управления) решает задачи управления исполнительными механизмами робота. Эта система реализует интерфейс с аппаратной частью робота (электрические и механические устройства, необходимые для работы робота).

Информационно-измерительная система предназначена для сбора, обработки и преобразования сенсорной информации в сигналы, удобные для использования в системе управления робота. Видеоизображение, полученное с телекамеры, преобразуется в набор параметров, на основе которых другие подсистемы принимают те или иные решения.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение понятию «робототехника».
2. На какой основе создавались первые системы обеспечения навигации роботов?
3. Для чего предназначена система дальней навигации роботов?
4. Что обеспечивает система промежуточной навигации роботов?
5. В чем состоит основной процесс управления при навигации роботов?
6. Какие навигационные системы существуют в робототехнике? Дайте краткую характеристику этих навигационных систем.
7. В чем состоит главная проблема навигации по природным ориентирам?
8. Какие задачи должна решать система управления роботами?

РАЗДЕЛ 7 ЭКЗОТИЧЕСКИЕ РОБОТЫ В ОБРАЗОВАНИИ

Робототехника – область науки и техники, ориентированная на создание роботов и робототехнических систем, построенных на базе мехатронных модулей (информационно-сенсорных, исполнительных и управляющих). Роботы и робототехнические системы предназначены для выполнения рабочих операций от микро- до макроразмерностей, в том числе с заменой человека на тяжелых, утомительных и опасных работах.

Традиционно как промышленные, так и любые другие роботы, выполнены, как правило, по схеме управления из центрального процессора по некоторому алгоритму, сохраненного в виде программы в памяти микропроцессора или контроллера. Этот вид роботов целесообразно использовать там, где условия работы являются повторяемыми и предсказуемыми.

В последние годы робототехника вышла за рамки устоявшихся традиций, связанных с применением её в промышленности и науке. Одним из приоритетных современных направлений в использовании робототехники стала образовательная робототехника.

Образовательная робототехника – это новое междисциплинарное направление работы с обучающимися, интегрирующее знания о физике, мехатронике, технологии, математике, кибернетике и ИКТ, позволяющее вовлечь в процесс инновационного научно-технического творчества участников разного возраста. Она направлена на популяризацию научно-технического творчества и повышение престижа инженерных профессий среди молодежи, развитие у молодежи навыков практического решения актуальных инженерно-технических задач и работы с техникой.

Однако на пути широкого внедрения робототехники в образование существует ряд организационно-методических препятствий:

- В связи с междисциплинарностью образовательной робототехники, наблюдается дефицит преподавателей, обладающих глубокими знаниями в области физики, мехатроники, технологии, математики, кибернетики, программировании.
- Для конструирования даже простого робота требуются дорогостоящие комплектующие. Несмотря на широкое распространение различных образовательных робототехнических наборов (в первую очередь LEGO и VEX), они остаются достаточно дорогими. Использование в образовательной робототехнике других платформ (например, Arduino или Raspberry Pi) по факту оказывается не дешевле.

- Разработка и построение робота – долгий и трудоемкий процесс, требующий испытаний, проверок и переделок даже для простых робототехнических конструкций.
- Поскольку программирование является обязательным для каждого действия роботов, это чрезвычайно сложный процесс, который накладывает определенные ограничения в учебном процессе на обучающихся (возрастные, интеллектуальные).

В данном разделе рассмотрим конструирование роботов, не имеющие в основе своей схемы управления центрального процессорного устройства. Подобные роботы названы Марком Тилденом ВЕАМ роботами, особенностью которых является функционирование, основанное на нейронных сетях, то есть действует на императивах стимул – реакция. Используемые в ВЕАМ роботах стимульно-реактивные схемы, еще называют поведенчески ориентированными, схемами нервной организации, нейронными сетями, либо схемами предикативной архитектуры.

Современные подходы совершенствования аналоговых робототехнических систем, таких как: частичная замена аналоговых устройств цифровыми, а также использование современных средств аналоговой электроники, в том числе аналоговых нейронных цепей, являются актуальной темой исследований современной науке.

В начале в 90-х годах XX века Марк Тильден предложил инновационный подход к конструированию роботов. Он разработал концепцию ВЕАМ роботов, позволяющую даже маленьким детям войти в увлекательный мир образовательной робототехники. ВЕАМ является аббревиатурой от английских слов Biology, Electronics, Aesthetics, Mechanics (биология, электроника, эстетика, механика). Что связывает эти четыре, казалось бы, несвязанные понятия?

- **БИОЛОГИЯ.** Многие аспекты дизайна и функций ВЕАМ роботов заимствуются из живой природы, в них, как правило, не используются такие механические изобретения, как подшипники, колеса.
- **ЭЛЕКТРОНИКА.** Используются простые аналоговые схемы, которые позволяют определять их поведение.
- **ЭСТЕТИКА.** Робот должен презентабельно выглядеть.
- **МЕХАНИКА.** Механика необходима для перемещения робота.

7.1 Концепция ВЕАМ роботов

Основной отличительной особенностью концепции, предложенной Марком Тильденом, было создание роботов, способных независимо от человека, «жить самостоятельной жизнью».

В ВЕАМ роботах не используются микропроцессоры, а используются простые аналоговые цепи. Их не надо программировать, что позволяет снизить потребность в энергии и сводит к минимуму возможность отказа. Эти роботы просты в дизайне, стоимость робототехнических конструкций низкая.

ВЕАМ роботы часто имитируют поведение живых существ: насекомых, рептилий, простых млекопитающих. Идея Тильдена состояла в том, чтобы создать механических животных, способных жить без помощи человека, ищущих для своего существования источники энергии, как это делают живые существа, когда ищут пищу.

Марк Тильден предложил три закона для ВЕАМ роботов:

1. Робот должен защищать свое существование любой ценой.

Многие типы ВЕАМ роботов имеют различные датчики, что позволяет им обнаруживать различные препятствия. Например, такие датчики могут быть выполнены в виде механические усов (как у насекомых или небольших млекопитающих), чтобы предотвратить столкновение робота с препятствием и позволить его обойти.

2. Робот должен получить доступ к источникам энергии и поддерживать свою работоспособность.

В одних случаях, традиционное оснащение современных роботов аккумуляторной батареей очень неэффективно, потому что это увеличивает в несколько раз его массу. В других, часто используемых конструкциях роботов, применяют более мощные двигатели, что усложняет и удорожает проекты. Это противоречит концепции ВЕАМ, согласно которой система должна быть как можно более простой и дешевой. Именно поэтому ВЕАМ роботы часто оснащаются фотоэлектрическими модулями (солнечными батареями), которые обеспечивают независимый и надежный источник питания, позволяющий им длительное время автономно работать.

3. Робот должен находить эффективный источник энергии.

Функция поиска источника энергии в робототехнических конструкциях проектируется по аналогии с поведением простых живых существ, постоянно стремящихся к улучшению условия их собственного существования. В работе используются фотоэлементы для обнаружения света и уровня освещенности, что позволяет управлять роботом и направлять его в сторону наибольшей

освещенности, где он сможет получить больше энергии для своей системы питания.

Кроме того, по мнению Марка Тильдена, разработчики BEAM роботов, должны придерживаться трех принципов:

- Использовать минимальное количество компонентов в робототехнической конструкции и стремиться к упрощению модели.
- Использовать элементы из бывшего в употреблении оборудования, что удешевляет конструкцию (например, в качестве солнечных батарей, можно использовать части от старых ненужных калькуляторов).
- Использовать возобновляемые источники энергии для питания робототехнических конструкций (например, можно использовать солнечную энергию).

7.2 Искусственные нейроны и нейронные сети

Принципы BEAM роботов базируются на способности конструкционной модели реагировать на внешние стимулы. Механизм симуляции поведения робота с помощью искусственных нейронов был изобретён Марком Тильденом, нейронная цепь Тильдена – система управления движением роботов. Для управления BEAM роботами вместо микропроцессора, используется искусственная «нервная сеть». Такая сеть состоит из множества искусственных нейронов. В своей простейшей форме BEAM нейрон является цепью задержки импульса и состоит из резистора, конденсатора, и инвертора (прибор, в котором высокий уровень входного напряжения преобразуется в низкий, и наоборот) (см. рис. 64).

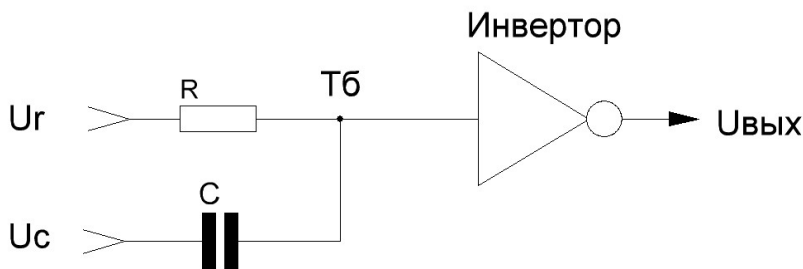


Рисунок 64. BEAM нейрон

BEAM нейрон изменяет состояние выходного напряжения на противоположное входному, в зависимости от величины сигналов U_c и U_r .

Задержка в изменении состояния $U_{вых}$ зависит от времени ожидания T (т.е. длительности выходных импульсов), значение которого зависит от сопротивления резистора, емкости конденсатора и порога инвертора. Эта система чувствительна к помехам на входе инвертора и колебаниям напряжения питания, что влияет на T . Это описывается следующим уравнением:

$$T = RC \log_e(1/((U_{th} - U_{min})/(U_{max} - U_{min})) \quad (1), \text{ где:}$$

T – время задержки сигнала или таймаут (длительность выходных импульсов), с

R – сопротивление, МОм

C – емкость, мФ

U_{th} – пороговое значение напряжения переключения инвертора, В

U_{max} – максимальное напряжение, В

U_{min} – минимальное напряжение, В

Также, возможно использовать более простую формулу:

$$T = RC \quad (2)$$

М. Тильден определил два типа нейронов:

- N_v нейрон («возбуждающий», М. Тильден назвал его «нерв»), используется для управления двигателями, может конструироваться по схеме N_{v+} и N_{v-} .
- N_u нейрон («тормозящий»), используется для обработки сигналов от датчиков, может конструироваться по схеме N_{u+} и N_{u-} .

Краткое описание возможных конфигураций системы с сигналами напряжения в выбранных точках, представлено на рисунках 65, 66, 67, 68.

1. Нейрон Nv-

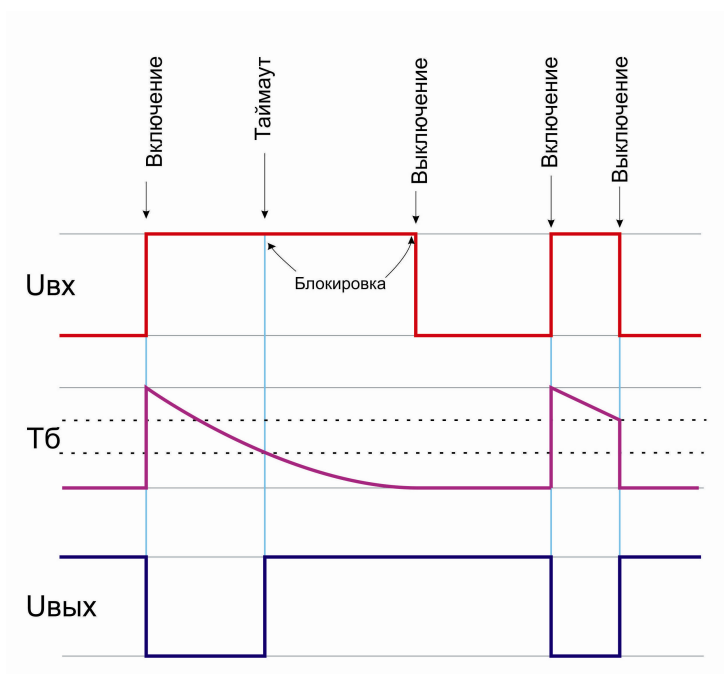
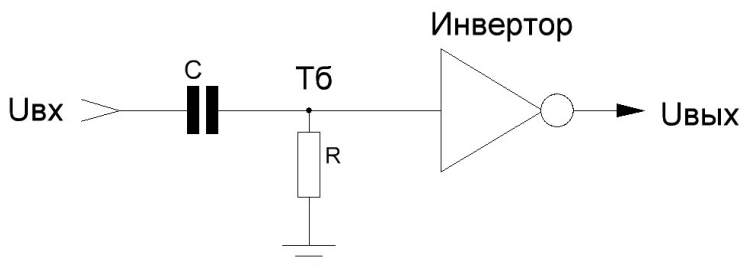


Рисунок 65. Нейрон Nv-

При подаче положительного напряжения на вход, происходит мгновенная активация устройства, и на выходе получается 0 (земля). Для сброса необходимо перестать подавать положительный сигнал на вход, происходит мгновенная деактивация устройства и на выходе получается положительный сигнал.

2. Нейрон $Nv+$

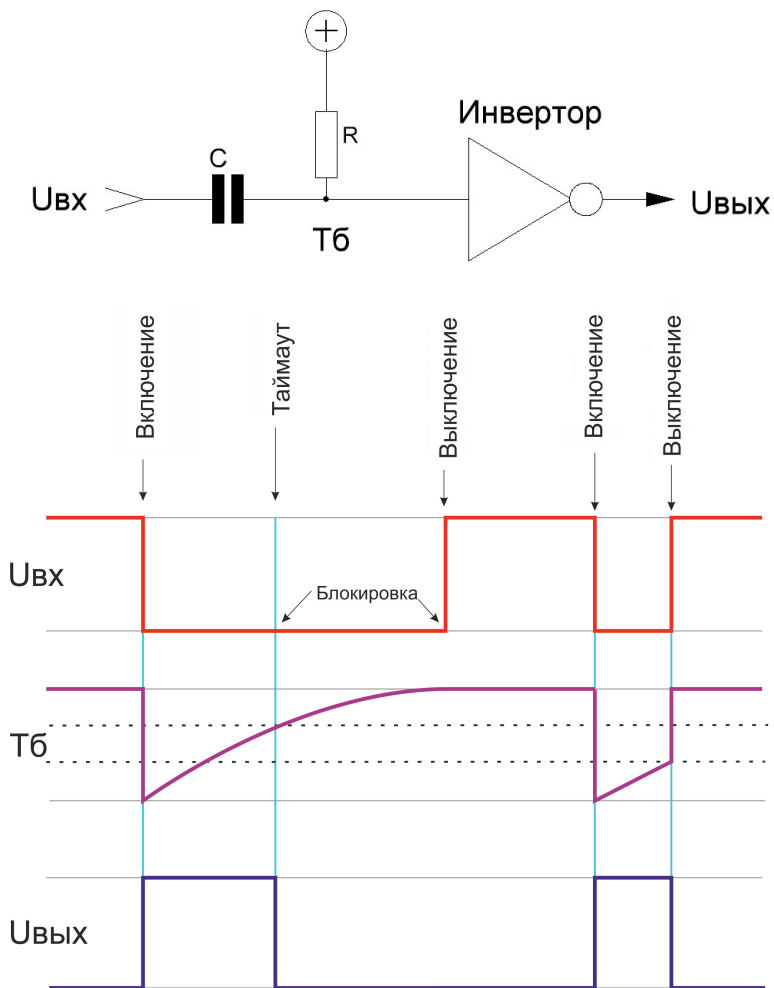


Рисунок 66. Нейрон $Nv+$

3. Нейрон $Nu-$

Nu нейрон («тормозящий») – нейрон реагирует на входные изменения после некоторой задержки сигнала и переключает выход после задержки сигнала.

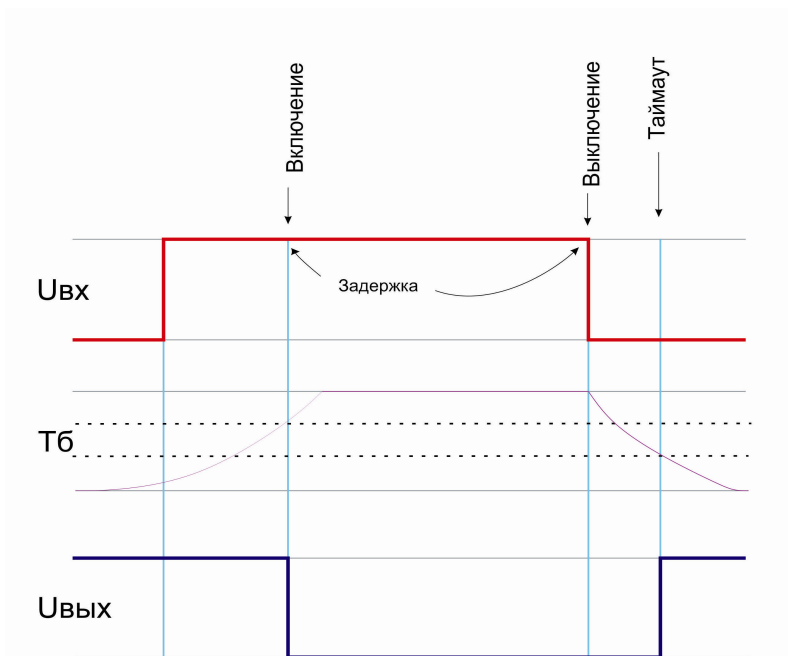
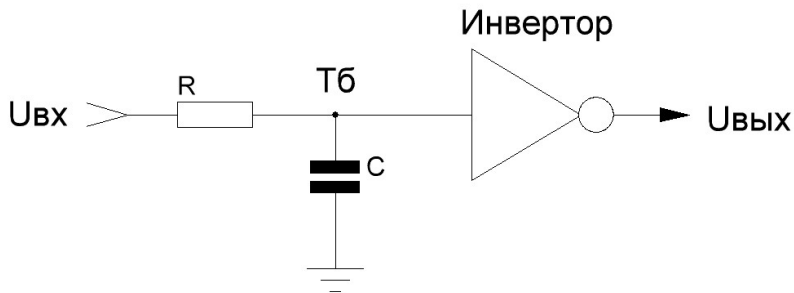


Рисунок 67. Нейрон $Nu-$

Схема состоит из интегрирующей RC цепи (удлиняющей импульс) и инвертора. В данном случае выходным напряжением $U_{вых}$ является напряжение на конденсаторе C . При ненасыщенном конденсаторе C выходное напряжение $U_{вых}$ будет равно нулю. При повышении входного

напряжения $U_{вх}$ конденсатор C начнет насыщаться, что будет происходить по экспоненте, в этом случае, и напряжение будет повышаться от нуля до максимума по экспоненте.

4. Нейрон $Nu+$

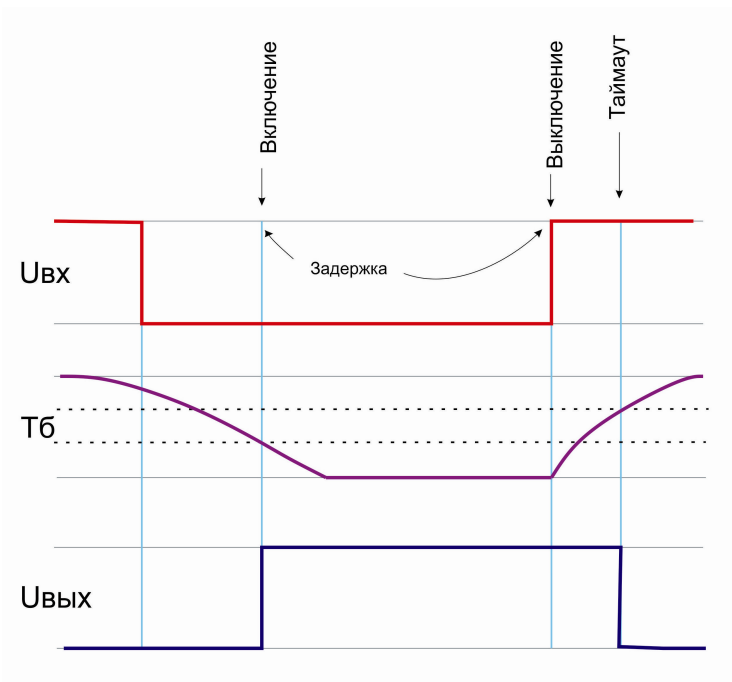
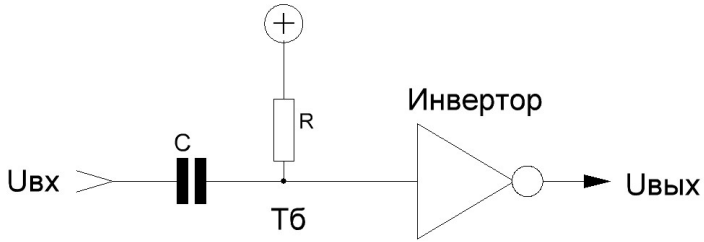


Рисунок 68. Нейрон $Nu+$

Одна из «классических» схем нейронной сети это последовательное соединение нейронов Nv -:

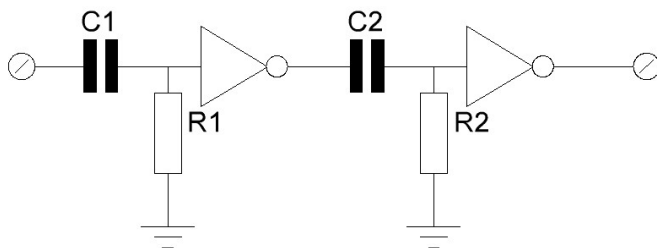


Рисунок 69. Последовательное соединение нейронов NvR

Если на вход нейронной сети подать напряжение от 0 до U вольт (в зависимости от параметров применяемых деталей), то на выходе первого нейрона получается падение напряжения до 0 вольт (этот нейрон находится в состоянии «включен»). Далее это падение напряжения разрядит конденсатор второго нейрона, после некоторой задержки на выходе получится U вольт (второй нейрон перейдет в состояние «выключен»).

Если входное напряжение снизить до 0 вольт, то конденсатор первого нейрона разрядится (после небольшой задержки сигнала) и на выходе первого нейрона получится U вольт (первый нейрон перейдет в состояние «выключен»). Это напряжение зарядит конденсатор второго нейрона (после небольшой задержки) и на выходе второго нейрона получится 0 вольт (второй нейрон перейдет в состояние «включен»).

Можно сохранить эту последовательность, добавляя нейрон к нейрону и, в итоге, соединить выход последнего нейрона с входом первого. Это кольцо нейронов Nv – один из простейших типов сети Nv , несмотря на то, что более сложные нейронные сети уже созданы.

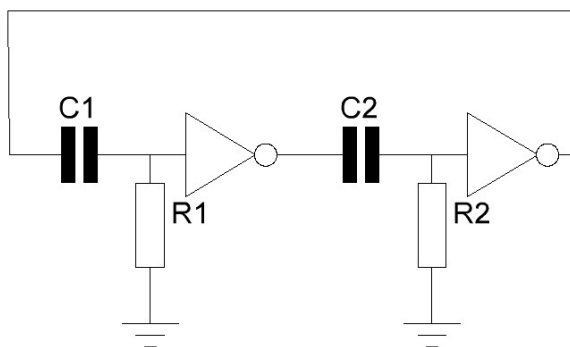


Рисунок 70. Базовая, «простая» двуядерная сеть NvR

Таким образом, получаем базовую, «простую» двуядерную сеть Nv-. Резисторы обоих нейронов соединены с основной, «заземляющей» шиной, а называется данная сеть – заземленная двуядерная сеть. Благодаря двум инверторам эта двуядерная сеть будет генерировать импульсы (сигнал на выходе каждого из инверторов будет противоположным) без подачи дополнительного импульса.

7.3 Построение простейшего аналогового робота

На сегодняшний день у всех преподавателей курса «Робототехника» сформировался единый подход: от базовых теоретических вопросов программирования (в течение нескольких вводных занятий) к моделированию реальных робототехнических конструкций. Где одно из первых практических заданий связано с разработкой конструкции, которая будет способна самостоятельно перемещаться по определенной траектории, называемой «черной линией».

При моделировании робота, например, на базе конструктора Lego, требуется достаточно высокий уровень подготовки обучающихся в области программирования микроконтроллера (работа с моторами, датчиками, калибровка уровня освещенности и т.д.).

Предлагаем создать робототехнические проекты без программирования, а через конструирование аналоговых роботов, используя ВЕАМ концепцию.

Далее рассмотрим один из примеров создания такого робота:

1 этап:

Для того, чтобы собрать робота, предварительно нужно приобрести:
Микросхема L272M – 1 шт.

Инфракрасный датчик TCRT5000 – 2 шт.

Резисторы: 510 Ом – 2 шт, 1 кОм – 3 шт, 10 кОм – 2 шт.

Переменные резисторы: 10 кОм – 2 шт.

Конденсатор элетролитический: 470 мкФ – 1 шт.

Светодиоды: красный – 1 шт, зеленый – 2 шт.

Выключатель – 1 шт.

Монтажная плата пластиковая на 170 точек (размеры 45мм x 35 мм),
можно использовать монтажную плату из стеклотекстолита – 1 шт.

Монтажную плату из стеклотекстолита для датчиков линии (размеры
15мм x 30 мм) – 2 шт.

Держатель для четырех батареек типа AA – 1 шт.

Двигатель с колесом – 2шт.

Любая площадка из фанеры или пластика для крепления к ней двигателей
(снизу) и остальных компонентов конструкции (размеры 60мм x 60 мм).

Провода, крепеж.

2 этап:

Смонтировать все комплектующие по схеме (см. рис. 71).

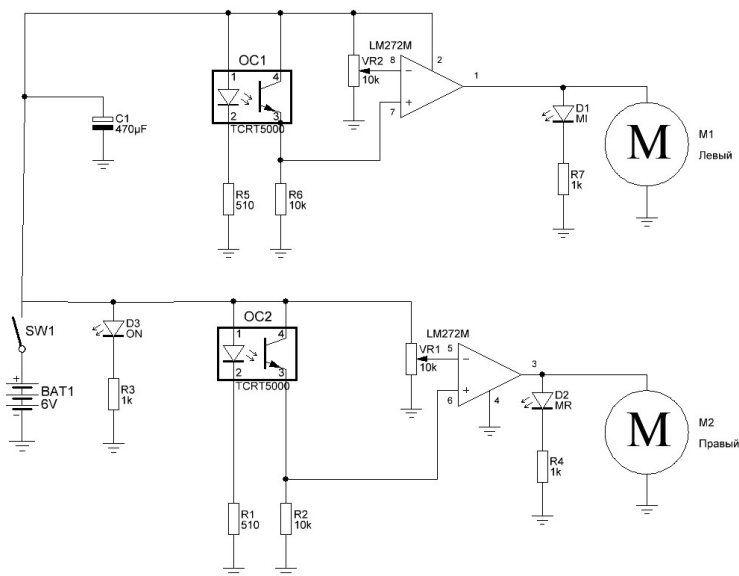


Рисунок 71. Схема аналогового робота следующего вдоль «чёрной
линии»

Нейросеть, представленная на рисунке 68, собрана на микросхеме LM272M. Прямой вход (+) каждой части микросхемы подключается к инфракрасному отражателю ОС, который используется как детектор «черной линии». Инверсный вход (-) связан с переменными резисторами VR1, VR2, которые используются для настройки чувствительности датчиков ОС1 и ОС2. Инфракрасный датчик TCRT5000 работает на принципе отражения света. Этот датчик отражения объединяет в одном корпусе инфракрасный передатчик (IR светодиод 950нм) и приемник (фототранзистор), которые разделены перегородкой (см. рис. 72). Этот прибор излучает свет в инфракрасном спектре и принимает отражение этого инфракрасного сигнала от поверхности. В зависимости от типа и цвета поверхности меняется интенсивность отраженного сигнала.

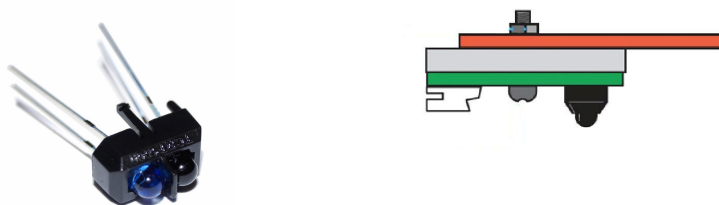


Рисунок 72. Инфракрасный датчик TCRT5000 и его монтаж

Когда напряжение на прямом входе больше, чем на инвертирующем входе, выходное напряжение на микросхеме примерно равно напряжению питания. Светодиод горит, мотор работает. Если напряжение, поступающее с датчика ОС на прямой вход ниже, чем опорное напряжение на инверсном входе (которое устанавливается с помощью переменных резисторов VR1 или VR2), двигатель постоянного тока на выходе останавливается, светодиод не горит.

Таким образом, эта схема работает как компаратор напряжения для управления работой двигателями, используя работу датчиков отслеживания линии, чтобы установить условия движения.

Компаратор – это операционный усилитель без обратной связи с большим коэффициентом усиления. Поэтому, если подать на один его вход (например, инверсный) какой-то постоянный уровень опорного напряжения, а на другой вход (прямой) изменяющийся сигнал – выходное напряжение у него изменится скачком, от минимального до максимального в тот момент, когда уровень входного сигнала превысит уровень сигнала опорного напряжения, установленного на другом входе, и наоборот. Компараторы имеют два входа,

прямой и инверсный, и в зависимости от желаемого результата, опорное и сравниваемое напряжения, могут подключаться к любому входу.

Если входное напряжение на прямом входе, превысит напряжение инверсного входа, выходной транзистор компаратора открывается, если станет ниже – закрывается. То есть компаратор сравнивает напряжения. Суть назначения компаратора – сравнивать между собой два напряжения (сигнала), и выдавать на выходе напряжение (сигнал) в том случае, когда сигнал на одном входе, стал больше или меньше уровня, установленного опорным напряжением другого входа.

Эта схема управляет двумя двигателями постоянного тока. Возможно использовать недорогие двигатели постоянного тока с передаточным отношением 87:1, которые могут питаться от меняющегося в широком диапазоне напряжения питания от +3 до + 9В (см.рис. 73). В качестве источника питания использовались четыре батареи типа АА.



Рисунок 73. Двигатель постоянного тока и его монтаж

Схему возможно смонтировать на печатной плате, платформе для робота, используя САД-программу и распечатать на 3D принтере.

3 этап:

Подготовить поле с «черной линией».

4 этап:

Провести калибровку датчиков освещенности с помощью переменных резисторов. Запустить робота.

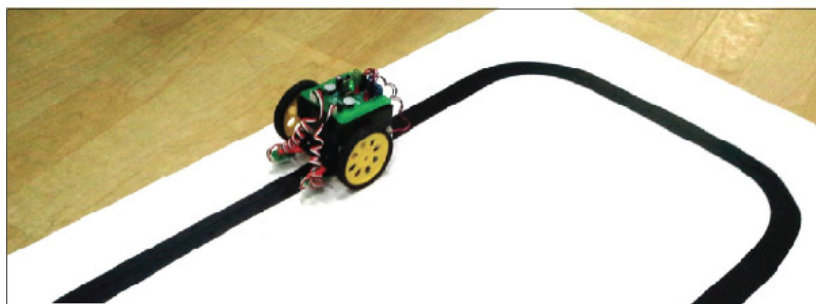


Рисунок 74. Робот, следующий вдоль линии

Рассмотрим, как это работает.

Случай 1: левый и правый датчики, отслеживающие черную линию обнаруживают белый пол (см. рис. 75).

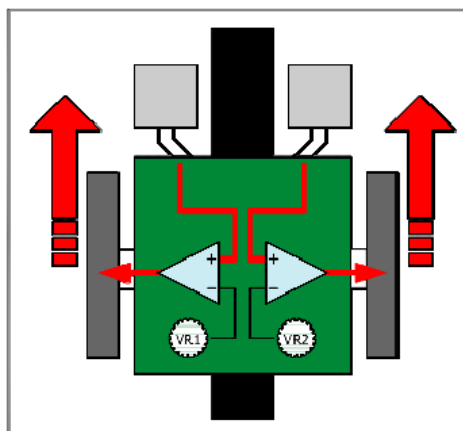


Рисунок 75. Движение работа вперед

Это значит, что робот находится над черной линией. Оба датчики выдают высокий уровень напряжения (близкое к напряжению питания). В этом случае напряжение на прямых входах обеих частей компаратора высокое и оба двигателя работают, т.е. робот будет двигаться вперед.

Случай 2: левый датчик обнаружил черную линию. Всякий раз, когда левый датчик обнаруживает черную линию, а правый датчик обнаруживает белую поверхность, левый датчик выдает низкое напряжение (ниже опорного). Это приводит к тому, что часть компаратора выдает нулевое напряжение на выходе, левый электродвигатель прекращает работу, а второй двигатель

продолжает работать, т.к. правый датчик все ещё обнаруживает белую поверхность. Робот повернется влево (см.рис. 76).

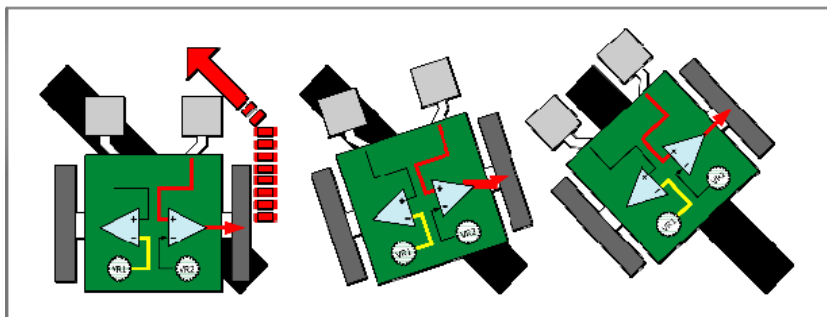


Рисунок 76. Поворот робота перемещающегося вдоль линии влево

Случай 3: левый датчик обнаруживает белую поверхность, а правый датчик обнаруживает черную линию. Правый датчик посылает низкое напряжение на выход. Двигатель с правой стороны будет остановлен, пока второй двигатель все еще работает, потому что левый датчик ещё обнаруживает белую поверхность. Робот повернется вправо (см. рис. 77).

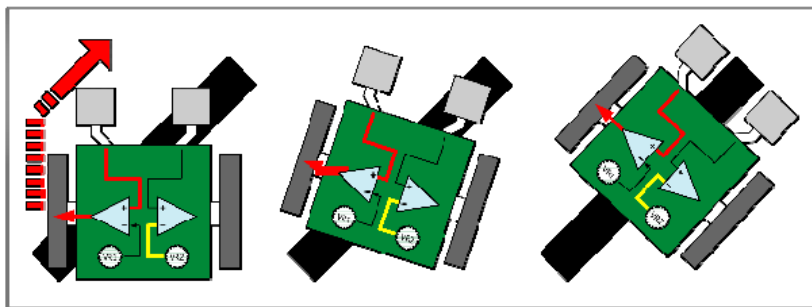


Рисунок 77. Поворот робота перемещающегося вдоль линии вправо

Случай 4: если оба датчика отслеживания линии обнаруживают черную линию. Робот остановится.

До недавнего времени вопросами робототехники занимались инженеры, ученые, специалисты различных производств, где использовались робототехнические конструкции. Сегодня подрастающее поколение, уже с раннего детского возраста знакомо и активно применяет в повседневной жизни различные робототехнические модели (например, роботы-пылесосы, квадрокоптеры, программируемые игрушки и пр.). Соответственно,

современные условия жизни выдвигают новые требования к подготовке молодежи, которое необходимо обучать профессиональному использованию и конструированию робототехнических моделей. Миссия такой подготовки возложена на образовательную робототехнику. Но, основные проблемы для развития образовательной робототехники: высокая цена комплектующих для учебного процесса; отсутствие педагогов, владеющих глубокими междисциплинарными знаниями по физике, математике, мехатронике, программированию.

Используя ВЕАМ концепцию, робототехнический проект будет иметь ряд преимуществ: с одной стороны, он может быть реализован с обучающимися, имеющими любой уровень базовой подготовки (например, обучающиеся могут не уметь программировать). С другой стороны, проект прост в конструировании, имеет низкую стоимость на все комплектующие, обладает более высоким уровнем надежности и меньшим энергопотреблением, по сравнению с программируемыми роботами.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение понятию «робототехника».
2. Что такое «образовательная робототехника»?
3. Какие организационно-методические препятствия существуют для широкого внедрения робототехники в образование?
4. В чем состоит суть концепции ВЕАМ роботов?
5. Каких принципов должен придерживаться разработчик ВЕАМ роботов, по мнению Марка Тильдена?
6. На чем базируются принципы ВЕАМ роботов?
7. Создать и представить проект ВЕАМ робота.

Этап 1. Сделать чертеж проекта ВЕАМ робота.

Этап 2. Составить перечень комплектующих для проекта ВЕАМ робота.

Этап 3. Приобрести комплектующие для проекта ВЕАМ робота.

Этап 4. Смонтировать все комплектующие по схеме.

Этап 5. Подготовить поле с «черной линией».

Этап 6. Провести калибровку датчиков освещенности с помощью переменных резисторов.

Этап 7. Провести презентацию проекта ВЕАМ робота.

Список литературы:

1. Гончарова В. А., Голова Е.В., Гушин И.А., Сабиров Ф.С. Построение твердотельных моделей геометрических фигур с использованием графического пакета T-FLEX CAD // Техническое творчество молодежи. 2017. № 3 (103). С. 20-24.
2. Жолондиевский Э. Р. Поведенчески ориентированные схемы BEAM роботов, введение понятий N_v и N_u нейронов в зависимости от типа входных цепей // Технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. LVI междунар. науч.-практ. конф. № 3 (51). Новосибирск: СибАК, 2016. С. 130-142.
3. Карпенко О.М., Фокина В.Н., Широкова М.Е., Дегтярева О.А. Роботизация как образовательный тренд//Дистанционное и виртуальное обучение. 2017. № 5.
4. Приказ Минобрнауки РФ от 09.11.2009 N 545 (ред. от 31.05.2011) «Об утверждении и введении в действие федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки 221000 Мехатроника и робототехника (квалификация (степень) «бакалавр»)» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 16.12.2009 N 15631)
5. Рудинский И.Д., Личнаровская Д.В. Организационные и методические основы преподавания робототехники как фактора мотивации детей к получению профильного ИТ-образования//Инновации в образовании. 2017. № 2.
6. Свертилов Н. В. Аналоговая робототехника: прошлое или будущее? // Тезисы докладов XIV всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение», Москва, 15 марта 2016г. М: Московский государственный психолого-педагогический университет, 2016.
7. Ступин А.А., Ступина Е.Е. Инженерное проектирование в образовательной робототехнике // Инновации в образовании. 2018. № 3. С. 167-180.
8. Ступин А.А., Ступина Е.Е. Аналоговая робототехника в образовании: BEAM концепция, нейросети, практическая реализация // Техническое творчество молодежи. 2018. № 1 (107). С. 11-19.
9. Ступин А.А., Ступина Е.Е. Педагогический конструкционизм в образовательной робототехнике // Техническое творчество молодежи. 2017. № 3 (103). С. 10-12.

10. Ступин А.А., Ступина Е.Е. Построение простого аналогового робота, управляемого двигателем Миллера // В сборнике: Образовательная робототехника: состояние, проблемы, перспективы Сборник статей Международной научно-практической конференции. Под редакцией А.А. Ступина. 2017. С. 50-60.
11. Ступин А.А., Ступина Е.Е. Дистанционная коллективная деятельность - современная форма активизации обучающихся в образовательной робототехнике // Дистанционное и виртуальное обучение. 2018. № 2 (122). С. 83-93.
12. Тузикова И. В. Изучение робототехники - путь к инженерным специальностям // Школа и производство. 2013. № 5. С. 45-47.

ВВЕДЕНИЕ	3
РАЗДЕЛ 1 ВВЕДЕНИЕ В ОСНОВЫ РОБОТОТЕХНИКИ	4
1.1 Определение роботов	4
1.2 Типы роботов	6
РАЗДЕЛ 2 ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	10
2.1 Области знаний для робототехнического проектирования	10
2.2 Теоретические основы проектирования мехатронных систем	12
2.3 Системы проектирования	19
2.4 Средства моделирования в САПР	32
2.5 Инструменты, материалы и оборудование	44
2.5.1 Механические инструменты	44
2.5.2 Электрические инструменты	44
2.5.3 Электронное оборудование	46
2.5.4 Электронные компоненты	50
2.5.5 Механические компоненты и двигатели	54
2.5.6 Конструкционные материалы	65
2.6 Программное обеспечение	69
РАЗДЕЛ 3 ЭЛЕМЕНТЫ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ	77
3.1 Системы питания роботов	77
3.2 Исполнительные устройства	93
3.3 Захватные устройства	95
3.4 Сенсорные системы	97
РАЗДЕЛ 4 УПРАВЛЕНИЕ РОБОТОМ	101
4.1 Типы управления робототехнических систем	101
4.2 Архитектура управления роботом	102
4.3 Автономные и полуавтономные роботы	103
Полуавтономные роботы	103
4.4 Управление по кабелю	103
4.5 Управление роботом при помощи кабеля и встроенного микроконтроллера	104
4.6 Управление по Ethernet	104
4.7 Управление при помощи ИК-пульта	105
4.8 Радиоуправление	105
4.9 Управление по Bluetooth	106
4.10 Управление по Wi-Fi	107
4.11 Управление при помощи сотового телефона	107

4.12 Автономное управление роботом.....	107
РАЗДЕЛ 5. ДАТЧИКИ.....	110
5.1 Контактные датчики.....	110
5.2 Дистанционные датчики.....	111
5.3 Датчики позиционирования.....	116
5.4 Датчики вращения.....	117
5.5 Датчики роботов, реагирующие на условия окружающей среды.....	119
5.6 Датчики, использующие вращение.....	123
РАЗДЕЛ 6 НАВИГАЦИЯ РОБОТОВ.....	129
6.1 Системы обеспечения навигации.....	129
6.2 Способы организации движения робота.....	131
6.3 Особенности построения системы управления интеллектуального робота.....	138
РАЗДЕЛ 7 ЭКЗОТИЧЕСКИЕ РОБОТЫ В ОБРАЗОВАНИИ.....	140
7.1 Концепция ВЕАМ роботов.....	142
7.2 Искусственные нейроны и нейронные сети.....	143
7.3 Построение простейшего аналогового робота.....	150
Список литературы:.....	157

Ступина Е.Е., Ступин А.А., Чупин Д.Ю., Каменев Р.В.

ОСНОВЫ РОБОТОТЕХНИКИ

Учебное пособие

Подписано в печать 08.02.2019. Формат 60*84/16. Бумага офсетная.
Тираж 150 экз. Уч.-изд. л. 8,2. Усл. печ. л. 9,3. Печать цифровая.
Заказ № 0208/2019

Отпечатано в типографии ООО Издательство «Сибпринт»
630099, г. Новосибирск, ул. М. Горького, д. 39
тел. +7 (383) 218-00-36, e-mail: izdat-nsk@list.ru
www.ifb.ru
книг.рус