

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт электронного обучения
Направление подготовки 200100 Приборостроение
Кафедра Физических методов и приборов контроля качества

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Сравнительный анализ методов и средств измерения и контроля для робототехнических систем и комплексов

УДК 621.865.8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1Б11	Кучмистов Тимофей Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Степанов Александр Борисович			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и
ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Юлия Владимировна	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Физических методов и приборов контроля качества	Суржиков Анатолий Петрович	доктор физико-математических наук, профессор		

Томск - 2016 г.

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
	<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для разработки, производства, отладки, настройки и аттестации средств приборостроения с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения	Требования ФГОС (ОК-14, ПК-1,6,7,8,10,11.12,13,17,23, 24,27), Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Участвовать в технологической подготовке производства, подбирать и внедрять необходимые средства приборостроения в производство, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов; принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа	Требования ФГОС (ОК-5, ПК-14,15,19,20,21,28,29,30,33) Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Эксплуатировать и обслуживать современные средств измерения и контроля на производстве, обеспечивать поверку приборов и прочее метрологическое сопровождение всех процессов производства и эксплуатации средств измерения и контроля; осуществлять технический контроль производства, включая внедрение систем менеджмента качества	Требования ФГОС (ОК-6, ПК-5,18,31,32), Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Использовать творческий подход для разработки новых оригинальных идей проектирования и производства при решении конкретных задач приборостроительного производства, с использованием передовых технологий; критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ОК-1,2,8,11,12, ПК-2,9), Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своему профилю с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе	Требования ФГОС (ПК-3,4,9,16,22,26), Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Использовать базовые знания в области проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; уметь делать экономическую оценку разрабатываемым приборам, консультировать по вопросам проектирования конкурентоспособной продукции	Требования ФГОС (ПК-33), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
	<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-28), Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты	Требования ФГОС (ОК-13), Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
	инженерной деятельности	международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду	Требования ФГОС (ОК-4,14,15, ПК-8) Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-9), Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт электронного обучения
Направление подготовки 200100 Приборостроение
Кафедра Физических методов и приборов контроля качества

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) Суржиков А.П.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-1Б11	Кучмистов Тимофей Александрович

Тема работы:

**Сравнительный анализ методов и средств измерения и контроля для
робототехнических систем и комплексов**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

От 25.01.2016 №317/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

23.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	Технические средства измерения и контроля для робототехнических систем и комплексов.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	Типы и виды датчиков используемых в робототехнических комплексах, их основные технические характеристики, исследование параметров ИК-дальномеров, температурных датчиков и датчиков тока.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна
Финансовый менеджмент	Конотопский Владимир Юрьевич
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.11.2015
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Степанов Александр Борисович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1Б11	Кучмистов Тимофей Александрович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 97 с., 37 рис., 14 таблиц.,
11 источников.

Ключевые слова: Измерения, датчики, робототехника, комплекс, анализ, метод, робот, мехатроника.

Объектом исследования являются Различные робототехнические комплексы, использующие систему датчиков производящие измерения различных величин в реальном времени, непосредственно для корректной работы всей системы в целом.

Цель работы - Произвести сравнительный анализ методов и средств измерения робототехнических комплексов и систем .

В процессе исследования проводились и анализировались методы и средства измерения датчиков и чувствительных элементов робототехнических комплексов.

В результате исследования получили представление о работе и методе получения информации датчиков робототехнических комплексов.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: обладают автономностью, не оказывают никакого отрицательного воздействия на человека и окружающую среду при их эксплуатации.

Степень внедрения: Используется в промышленности, машиностроении, авиации, технике и т.д.

Область применения: Промышленность, военная техника, авиация, офисная техника, медицина, контрольно-измерительные устройства и машины, космонавтика.

Экономическая эффективность/значимость работы: Экономическая эффективность имеет смысл, так как робототехнические комплексы способны заменить труд человека, особенно в условиях опасных для жизни и здоровья людей.

В будущем планируется внедрение, модернизация и разработка новых, усовершенствованных робототехнических комплексов.

Определения и сокращения

АЦП - аналогово-цифровой преобразователь.

ЭВМ - электронно-вычислительная машина.

НДС - налог на добавленную стоимость.

САПР - система автоматического проектирования.

CALS-технологии, или ИПИ (информационная поддержка процессов жизненного цикла изделий) - подход к проектированию и производству высокотехнологичной и наукоёмкой продукции, заключающийся в использовании компьютерной техники и информационных технологий на всех стадиях жизненного цикла изделия.

Модуль движения (МД) [1] - конструктивно и функционально самостоятельное изделие, в котором конструктивно объединены управляемый двигатель и механическое устройство.

Мехатронный модуль движения [1] (ММД) - конструктивно и функционально самостоятельное изделие, включающее в себя управляемый двигатель, механическое и информационное устройства.

Интеллектуальный мехатронный модуль [1] (ИММ) - конструктивно и функционально самостоятельное изделие, построенное путем синергетической интеграции двигательной механической, информационной, электронной и управляющей частей.

РТК - робототехнический комплекс.

АЭС - атомная электростанция.

ДКП - Датчики конечных и промежуточных положений перемещающегося объекта.

ВМЗ - выходное механическое звено.

МУ - механическое устройство.

ТТ - трансформаторы тока.

ЭДС - электродвижущая сила.

СТЗ - Системы технического зрения.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1. Методы и средства контроля физических величин для робототехнических систем	6
1.1 Понятие о мехатронике	6
1.2 Задачи мехатронных машин и систем.....	13
2 Расчеты и аналитика.....	17
2.1 Датчики мехатронного устройства.....	17
2.2 Датчики конечных и промежуточных дискретных положений подвижных звеньев мехатронного устройства	20
2.3 Датчики перемещений (пути)	24
2.4 Датчики скорости	34
2.5 Датчики ускорений (акселерометры).....	36
2.6 Датчики тока	38
2.7. Датчики температуры	42
2.8 Датчики внешнего воздействия на механическое устройство	43
2.9 Системы технического зрения (СТЗ)	46
2.10 Сравнение технических характеристик датчиков величин для робототехнических комплексов.....	46
2.10.1 Сравнение датчиков температуры.....	46
2.10.2 Сравнение инфракрасных дальномеров Sharp	49
2.10.3 Сравнение датчиков тока	55
3 Результаты проведенного исследования.....	Ошибка! Закладка не определена.
4 Финансовый менеджмент	57
4.1 Организация и планирование работ	57
4.1.1 Продолжительность этапов работ	58
4.1.2 Расчет накопления готовности проекта	63
4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта	64
4.2.1 Расчет затрат на материалы	64
4.2.2 Расчет основной заработной платы.....	66

4.2.3 Расчет отчислений в социальные фонды	67
4.3 Расчет затрат на электроэнергию	67
4.4 Расчет амортизационных расходов	68
4.3.1 Расчет прочих расходов	69
4.3.2 Расчет общей себестоимости разработки	69
4.3.3 Расчет прибыли	70
4.3.4 Расчет НДС	70
4.3.5 Цена разработки НИР	70
5. Социальная ответственность	Ошибка! Закладка не определена.
5.1 Производственная безопасность.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.1.1 Пониженная или повышенная температура и влажность воздуха рабочей зоны.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.1.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны	Ошибка! Закладка не определена.
5.1.3 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	Ошибка! Закладка не определена.
5.2 Экологическая безопасность.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Ошибка! Закладка не определена.
Заключение	Ошибка! Закладка не определена.
Список используемых источников	Ошибка! Закладка не определена.

Введение

Роботы - автоматизированные системы. Используются для воспроизведения физических и умственных функций людей. Отличаются универсальностью и возможностью адаптации на выполнение множества задач. Уже сейчас робототехника достигла большого развития в промышленности: десятки тысяч роботов используют на многих предприятиях мира, подводные операции выполняются с использованием манипуляторов подводных спасательных и исследовательских аппаратов, изучение космоса делает упор на масштабное применение роботов с разным уровнем интеллекта. Большое внимание отдается на автоматизацию тяжелых, монотонных, вредных и утомительных работ во многих отраслях с использованием роботов.

Но сейчас у специалистов робототехники возникают такие же трудности, как и у разработчиков ЭВМ 30 лет назад. Из-за того, что отсутствует общий стандарт и платформа, разработчикам роботов нужно начинать создание каждого нового робота с нуля.

Но все же не смотря на трудности, тем, кто работает в сфере робототехники, от студентов до профессоров, полны идей и энтузиазма, как во время создания Microsoft, тогда создатели пытались найти путь для развития технологий и хотели сделать, чтобы компьютеры стали доступны каждому. И уже сегодня исходя из тенденций развития робототехники, представим будущее, где роботы будут неотъемлемыми помощниками человека в его повседневной жизни.

Сейчас разработчики робототехнических комплексов могут оснастить свои творения различными системами детекторов и датчиков, в результате этого возможности современных роботов возрастают, а вмешательство человека в работу этого робота уменьшается.

Целью данной работы является определение методов и средств измерения и их сравнительный анализ для робототехнических систем.

1. Методы и средства контроля физических величин для робототехнических систем

Объектами исследования были взяты различные робототехнические комплексы, использующие систему датчиков производящие измерения различных величин.

1.1 Понятие о мехатронике

Обратимся к определению мехатроники, которое утверждено в действующем Государственном образовательном стандарте РФ по направлению "Мехатроника и робототехника". "Мехатроника [2, 3] - это область техники и науки, основанная на синергетическом соединении узлов точной механики с электротехническими, электронными и компьютерными элементами, обеспечивающая проектирование и создание качественно новых систем, модулей и машин с интеллектуальным контролем их функциональными движениями".

В этом определении сильно выделена триединая суть мехатронных систем, в базу конструирования которых основана идея большой взаимосвязи электронных, механических и компьютерных составляющих (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 - Взаимосвязь механических, электронных и компьютерных элементов

Цель мехатроники как науки заключается в слияние знаний из ранее обособленных дисциплин, как компьютерное управление, прецизионная механика и информационные технологии и микроэлектроника. На соприкосновении этих наук и появляются новые идеи мехатроники. Научно-техническое решение можно считать "истинно мехатронным", если элементы не просто взаимосвязаны друг с другом, но при этом образованная система имеет новые свойства, которые были не присущи составляющим ее частям.

Задача мехатроники как области науки и техники состоит в разработке качественно новых элементов движения, а на их базе - движущихся интеллектуальных машин и систем.

Предметом мехатроники являются процессы проектирования и производства модулей, машин и систем для реализации заданных функциональных движений.

Мехатронные технологии содержат в себе производственные, маркетинговые, технологические, проектно-конструкторские, и информационные процессы, которые осуществляют полный жизненный период мехатронных изделий. Открытие взаимосвязей и закономерностей, присущих для этих процессов, создает мехатронные элементы, системы,

машины и которые могут наиболее эффективно выполнять необходимые требования.

В настоящее время мехатронные элементы и системы широко применяются в следующих областях:

- станкостроение и оборудование для автоматизации, технологических процессов в машиностроении;
- промышленная и специальная робототехника;
- авиационная и космическая техника;
- военная техника, машины для полиции и спецслужб;
- электронное машиностроение и оборудование;
- автомобилестроение;
- нетрадиционные транспортные средства (электровелосипеды);
- офисная техника (копировальные и факсимильные аппараты);
- периферийные устройства компьютеров;
- медицинское и спортивное оборудование;
- бытовая техника;
- микромашины (средств связи и телекоммуникации);
- контрольно-измерительные устройства и машины;
- лифтовое и складское оборудование, автоматические двери;
- фото- и видеотехника;
- тренажеры для подготовки операторов сложных технических систем и пилотов;
- железнодорожный транспорт;
- интеллектуальные машины для пищевой промышленности;
- полиграфические машины;
- интеллектуальные устройства для шоу-индустрии, аттракционы.

Целевой задачей мехатроники является проектирование и производство качественно новых модулей и движущихся машин. Фундаментальное понятие "качество машины" было введено в трудах

основоположников отечественной школы технологии машиностроения - проф. Б.С. Балакшина, чл.-кор. РАН Ю.М. Соломенцева в МГТУ "СТАНКИН", проф. Э.А. Сатя в МВТУ им. Н.Э. Баумана и ряда других выдающихся ученых [4, 5, 6]. Качество машины оценивается совокупностью специально подобранных показателей (или критериев), выбор которых определяется ее служебным (функциональным) назначением.

К числу новых современных требований к функциональным и техническим показателям модулей и машин в первую очередь следует отнести:

- выполнение машинами и системами качественно новых служебных и функциональных задач;
- сверхвысокие скорости движения конечного звена машины - ее рабочего органа, что определяет новый уровень производительности технологических комплексов;
- ультрапрецизионные движения модулей с целью реализации новых прецизионных технологий вплоть до микро- и нанотехнологий;
- компактность модулей и движущихся систем, миниатюризация конструкций в микромашинах;
- новые кинематические структуры и конструктивные компоновки многокоординатных машин;
- интеллектуальное поведение систем, функционирующих в изменяющихся и неопределенных внешних средах;
- выполнение пространственных движений по криволинейным траекториям и реализация сложных законов перемещения во времени.

Обратимся к определению робототехники, которое также утверждено в Государственном образовательном стандарте РФ: "Робототехника [2, 3] - это область науки и техники, ориентированная на создание роботов и робототехнических систем, предназначенных для автоматизации сложных технологических процессов и операций, в том числе выполняемых в

недетерминированных условиях, для замены человека при выполнении тяжелых, утомительных и опасных работ".

Таким образом, анализируя приведенные выше определения, можно сделать вывод о том, что мехатроника и робототехника различаются по классификационным признакам. Мехатроника изучает новый методологический подход к созданию модулей и машин с качественно новыми характеристиками. Роботы же представляют собой один из современных классов машин с компьютерным управлением движением.

Мехатронный подход охватывает все основные фазы жизненного цикла машины (проектирование, производство, эксплуатация и т.д.) и может быть применен в системах различного назначения, в том числе в манипуляционной технике и робототехнических системах. С другой стороны, проектирование и производство роботов базируется не только на мехатронных принципах и технологиях, но требует привлечения и других методологических подходов: методов технической кибернетики и бионики, САПР и CALS-технологий.

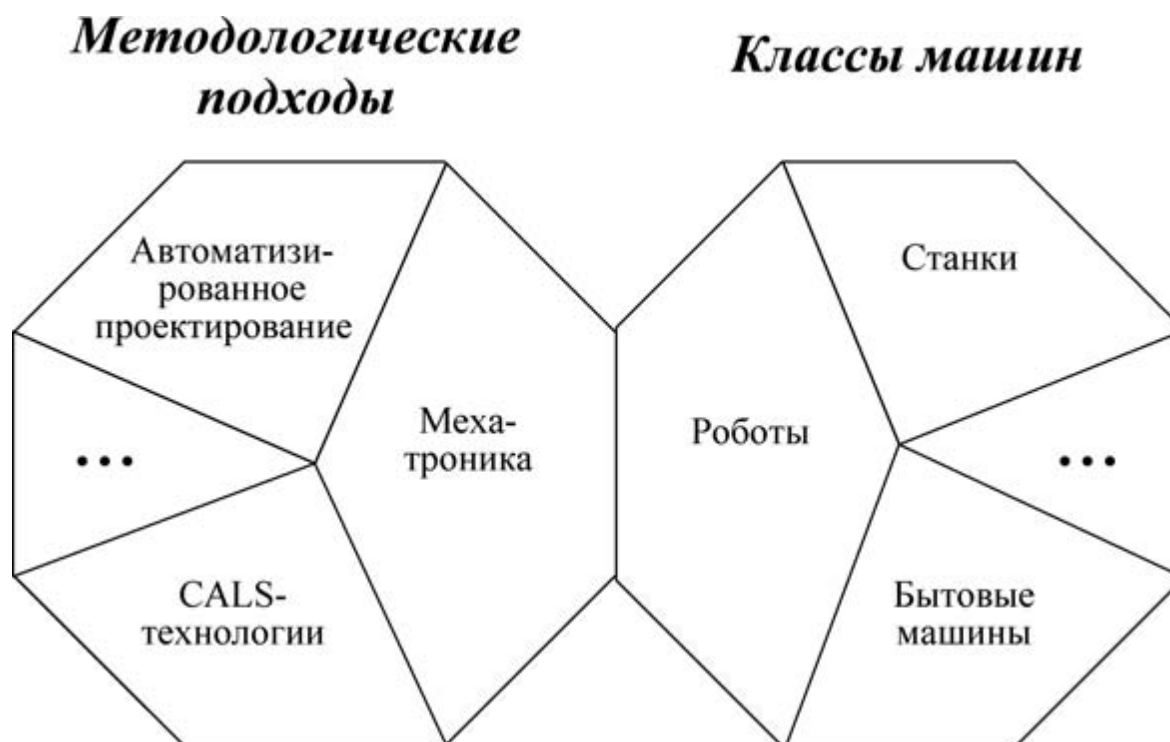


Рисунок 1.2 - Предметные области мехатроники и робототехники

Проектирование современных мехатронных систем основано на модульных принципах и технологиях.

Введем следующее понятие мехатронного модуля (ММ):

Мехатронный модуль [1] - это конструктивно и функционально самостоятельное изделие для выполнения движений с взаимопроникновением и синергетической аппаратно-программного вхождения в состав его устройств, которые имеют разную физическую природу.

Мехатронные модули по составу объединяемых устройств и элементов можно подразделить на три группы (рисунок 1.2):

- 1) модули движения;
- 2) мехатронные модули движения;
- 3) интеллектуальные мехатронные модули.

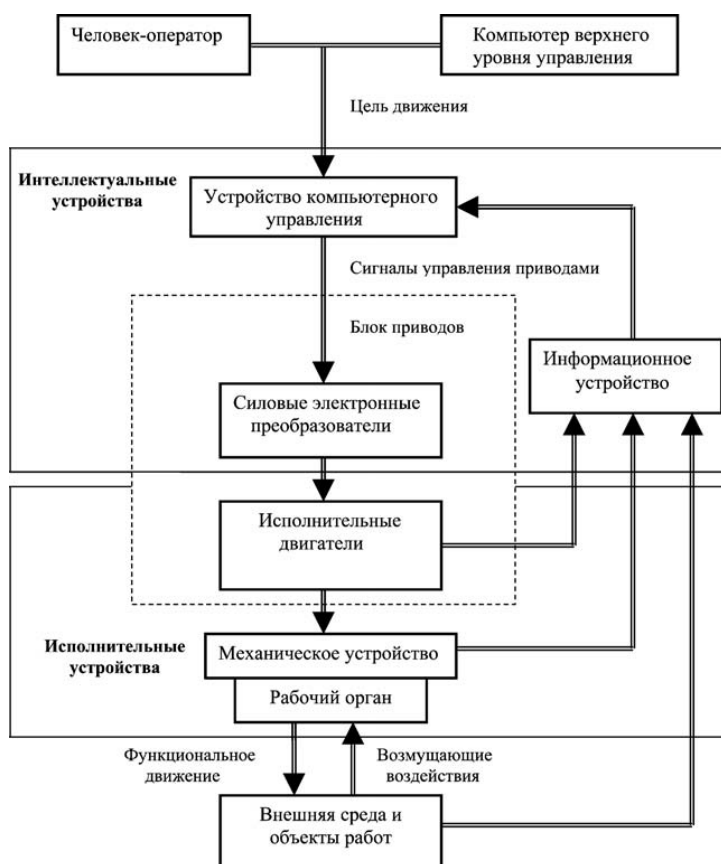


Рисунок 1.3 - Обобщенная структура мехатронных машин

Мехатронные машины - это интеллектуальные многомерные системы, построенные на мехатронных принципах и технологиях, которые способны эффективно выполнять программы функциональных движений в изменяющихся условиях внешней среды.

В состав мехатронной машины входят четыре основные части (рисунок 1.3):

Механическое устройство, последним звеном этого устройства является рабочий орган;

Блок приводов, в который входят исполнительные двигатели и силовые преобразователи;

Устройство компьютерного управления, на вход которого поступают команды ЭВМ верхнего уровня управления либо человека-оператора;

Информационное устройство, предназначенное для получения и передачи в устройство компьютерного управления данных о реальном движении машины и о фактическом состоянии ее подсистем.

Устройством компьютерного управления называется комплекс аппаратных и программных средств, посылающий сигналы управления для блока приводов машины. В его состав обычно входят задающие устройства (например, рукоятки и джойстики), периферийные устройства ввода-вывода информации, преобразующие и вычислительные устройства, пульт управления оператора.

Устройство компьютерного управления выполняет следующие основные функции:

1. Управление функциональными движениями мехатронной машины в реальном масштабе времени.

2. Координация управления механическим движением с сопутствующими внешними процессами.

3. Взаимодействие с человеком-оператором через человеко-машинный интерфейс в режимах программирования (режим off-line) и непосредственно в процессе движения (режим on-line).

4. Обмен данными с внешними устройствами (информационным устройством, блоком приводов, компьютером верхнего уровня, периферийными устройствами).

Согласно представленной блок-схеме в информационном устройстве можно выделить три группы сенсоров:

1) датчики информации о состоянии внешней среды и объектов работ (системы технического зрения, локационные датчики и дальномеры, т.д.);

2) датчики информации о движении механической части (датчики перемещений, скоростей, ускорений, сил и моментов);

3) датчики обратной связи блока приводов (дают информацию о текущих значениях электрических токов и напряжений в силовых преобразователях).

Механическое устройство мехатронной машины представляет собой многозвенный механизм, кинематическую цепь которого образуют движущиеся звенья, составляющие кинематические пары. Конечным звеном кинематической цепи является рабочий орган.

1.2 Задачи мехатронных машин и систем

Характерным примером выполнения мехатронной системой новых служебных функций может служить применение мобильных технологических роботов для инспекции и ремонта подземных трубопроводов (рисунок 1.2).

Использование мобильных роботов является характерным примером бестраншейных (или "антидиггерных") технологий, которые в принципе исключают операции раскопки трубопроводов. Причем в ряде случаев

(например, когда магистраль проходит под автомобильной или железной дорогой) бестраншейные методы ремонта являются единственно возможными. Схемы роботизированных операций в трубопроводе показаны на рисунке 1.4.

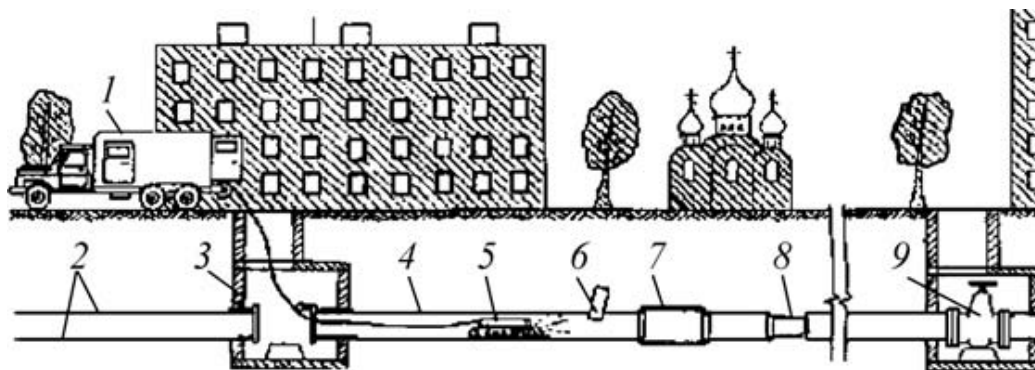


Рисунок 1.4 - Схема обследования внутреннего состояния подземного трубопровода мобильным роботом:

- 1 - передвижная (автомобильная) станция управления роботом;
- 2 - входной участок трубопровода; 3 - колодезь; 4 - обследуемый участок трубопровода; 5 - мобильный робот; 6 - врезка в трубопровод;
- 7 - участок трубопровода с увеличением диаметра; 8 - участок трубопровода с уменьшением диаметра; 9 - задвижка.

Особенное значение имеют мехатронные системы, функционирующие в условиях, несовместимых с жизнью человека либо опасных для его здоровья. К их числу следует отнести робототехнические комплексы (РТК), предназначенные для работы в средах радиоактивного загрязнения. Необходимость выполнения роботами операций в таких средах возникает при проведении аварийно-восстановительных и ремонтно-монтажных работ на АЭС, перевозках отработанного топлива, возникновении нештатных и аварийных ситуаций.

Сегодня, наверное, уже нет необходимости доказывать, что альтернативы робототехническим системам при выполнении таких задач нет.

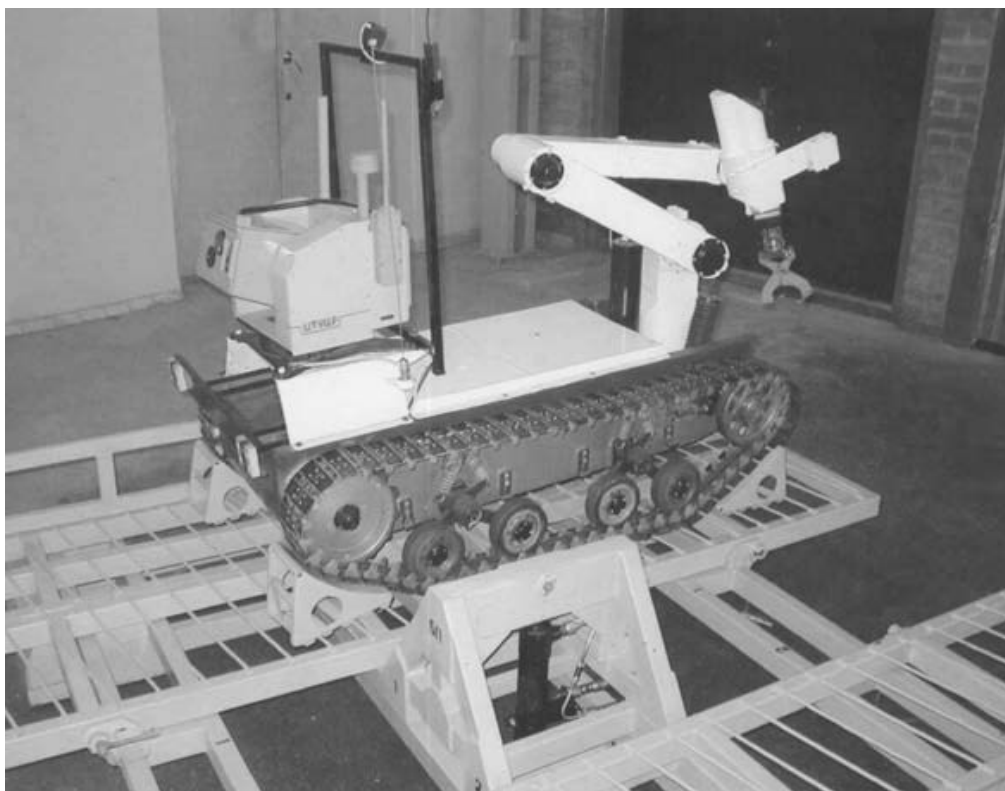


Рисунок 1.5 - Робот-разведчик Минатома РФ

Однако в дни Чернобыльской катастрофы 1986 года при выборе способа расчистки кровли зданий от радиоактивных обломков столкнулись две идеологии: дистанционный метод очистки по "безлюдной" технологии и сбор радиоактивных отходов вручную силами военнослужащих и гражданских лиц.

Трагедия на Чернобыльской АЭС остро поставила задачу разработки отечественных робототехнических систем, способных действовать в условиях высокой радиации. На рисунке 1.5 представлен робот-разведчик Минатома России. Этот мобильный робот предназначен для проведения разведки радиационной обстановки в зараженной зоне, поиска источников радиации, дезактивации помещений и оборудования, а также подавления радиоактивной пыли.

Манипулятор размещен на транспортном средстве, которое способно преодолевать лестничные пролеты, небольшие препятствия, траншеи, передвигаться по наклонным поверхностям. Манипулятор может быть

оснащен различными схватами для переноса объектов либо рабочим органом для нанесения дезактивирующего полимера. Обнаружение источников радиации ведется с помощью гамма-локатора, который имеет в своем составе ТВ-камеру, дальномер, гамма-детектор и фоновый дозиметр. Управление транспортным средством, манипулятором и гамма локатором осуществляется оператором по радиоканалу с поста управления.

Представленный робот-разведчик по своей структуре и выполняемым функциям относится к мехатронным системам с дистанционно-автоматическим управлением, принципы построения которых разработаны проф. В.С. Кулешовым [7, 8]. И это не единственный пример робототехнического комплекса способного заменить человека в условиях опасных для жизни и здоровья.

2 Расчеты и аналитика

2.1 Датчики мехатронного устройства

Датчик [9] - это элемент, преобразующий контролируемую величину x (температуру, давление, частоту, силу света, электрическое напряжение, ток и т. д.) в электрический сигнал, удобный для осуществления контроля и управления. Математическая модель датчика (функция преобразования): $y = (x)$. Датчик состоит из одного и более измерительного преобразователя и устройств сопряжения с входом приемника информации (нагрузкой датчика).

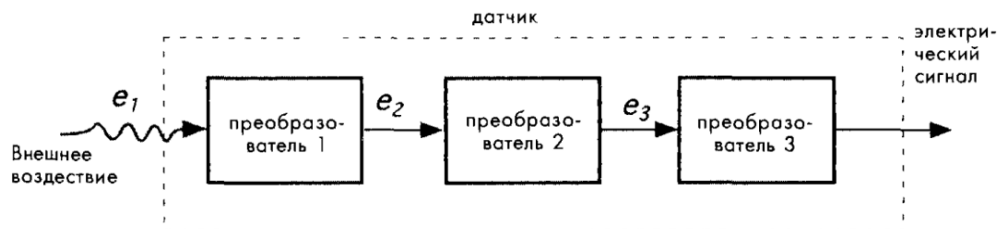


Рисунок 2.1 - Структурная схема датчика

Многообразие известных видов, конструктивных решений и торговых марок датчиков столь велико, что их подробная классификация в рамках данной книги практически невозможна. Поэтому ограничимся следующими ключами классификации.

1. По способу компоновки в механических устройствах (типовые, встраиваемые).
2. По типу измеряемой переменной и принципу действия.
3. По виду электрического выходного сигнала (аналоговый, модулированный, цифровой).
4. По величине погрешности измерения (грубого отсчета, точные, особо точные, прецизионные).
5. По типу статической характеристики преобразования (линейные, нелинейные).
6. По степени влияния паразитных параметров на точность датчика.

7. По степени влияния внешних воздействий на точность датчика.
8. По способу первичного преобразования: генераторные (преобразующие входную физическую величину непосредственно в электрический сигнал), параметрические (преобразующие входную физическую величину в изменение какого-либо параметра электрической цепи).
9. По исполнению.

Характеристики датчиков

Диапазон преобразований выходной:

$$D_x = x_k - x_n ,$$

где x_k - максимальная выходная величина;

x_n - минимальная выходная величина.

Диапазон преобразований выходной:

$$D_y = y_k - y_n ,$$

где y_k - максимальная выходная величина;

y_n - минимальная выходная величина.

Статическая характеристика датчика - установившаяся зависимость выходной величины датчика y от естественной измеряемой величины x , выраженная символьно, таблично или графически $y = f(x)$. Для линейных датчиков $y = Kx$, где K - коэффициент передачи (коэффициент преобразования, коэффициент усиления, градиент, коэффициент чувствительности).

Градуировочная (номинальная) статическая характеристика датчика - статическая характеристика $y = f_{ном}(x)$, полученная в нормальных условиях при аттестации датчика по установленным метрологическим нормативам. Нормальными условиями эксплуатации датчика являются: температура окружающей среды $25 \pm 10^\circ\text{C}$; атмосферное давление $10^5 \pm 40\,000$ Па; относительная влажность окружающего воздуха $65 \pm 15\%$;

отсутствие вибрации и полей, кроме гравитационного; иные установленные нормативами параметры.

Чувствительность статическая - отношение малых приращений выходной величины y к соответствующим малым приращениям входной величины Δx , найденным по статической характеристике $S_c = \Delta y / \Delta x$. Чувствительность датчика - это, как правило, величина с размерностью, зависящей от природы входной и выходной величин.

Чувствительность динамическая:

$$S_d = (dy/dt)/(dx/dt) = dy/dx.$$

Чувствительность средняя:

$$S_{cp} = D_y / D_x.$$

Порог чувствительности датчика - минимальное изменение измеряемой величины (входного сигнала), вызывающее изменение выходного сигнала x_n :

$$y = f(x_n) \neq 0.$$

Полный диапазон шкалы датчика:

$$D_d = x_{max} / x_n,$$

где x_{max} - естественный предел измерения.

Гистерезис датчика - неоднозначность $y = f(x)$ при увеличении и уменьшении x .

Гистерезис в точке измерения x_0 :

$$\Delta_r(x_0) = |y_r(x_0; x \rightarrow x_0 + 0) - y_r(x_0; x \rightarrow x_0 - 0)|.$$

Абсолютная погрешность датчика по выходу:

$$\Delta_y = f(x) - f_{ном}(x),$$

где x - эталонное значение входной величины.

Относительная погрешность датчика по выходу:

$$\delta_y = [f(x) / f_{ном}(x)] - 1.$$

Абсолютная погрешность датчика по входу:

$$\Delta_x = x - f_{\text{НОМ}}^{-1}(y),$$

где $f_{\text{НОМ}}^{-1}(y)$ - обратная функция преобразования.

Относительная погрешность датчика по входу:

$$\delta_x = [x/f_{\text{НОМ}}^{-1}(y)] - 1.$$

Основная погрешность датчика:

$$\delta = \delta_y 100\% / D_y.$$

Нормированные абсолютные погрешности датчика:

$$\gamma_x = \frac{\Delta_x}{x_N}, \gamma_y = \Delta_y / y_N,$$

где x_N и y_N - нормирующие значения входной и выходной величины, устанавливаемые ГОСТ 8.401:80.

Нормированные относительные погрешности датчика - значения погрешностей, вычисленные по установленным ГОСТ 8.401:80 правилам.

Класс точности датчика - нормируемый стандартом ГОСТ 8.401:80 индекс, определяемый абсолютными, относительными и приведенными (ко входу или к выходу) погрешностями датчика.

Динамические характеристики датчика в зависимости от проектных условий и задач могут выступать в форме систем дифференциальных уравнений, передаточных функций, частотных характеристик, характеристик переходных процессов.

Как элементы мехатронного устройства, датчики должны обеспечивать однозначную зависимость выходной величины от входной, требуемую стабильность характеристик; требуемую чувствительность, отсутствие обратного воздействия на контролируемый процесс.

2.2 Датчики конечных и промежуточных дискретных положений подвижных звеньев мехатронного устройства

Датчики конечных и промежуточных положений (ДКП) перемещающегося объекта (выходного механического звена ВМЗ) относятся

к датчикам положения и фиксируют его бинарное состояние «находится/не находится в данной точке пространства». Такие датчики являются неотъемлемой частью, например, роботов с цикловым управлением. Первичными преобразователями ДКП чаще всего выступают элементы прямого электрического контакта, микровыключатели, герконы, оптопары с открытым оптическим каналом, индуктивные датчики, емкостные датчики, датчики Холла и т. п.

При организации взаимодействия датчика с ВМЗ часто используют механизмы включения, пример одного из них показан на рисунке. 2.2.

ДКП на основе элементов прямого электрического контакта. Такие датчики состоят из двух контактных элементов, выполненных из металлов с высокой проводимостью и хорошей защищенностью контакта от окисления.

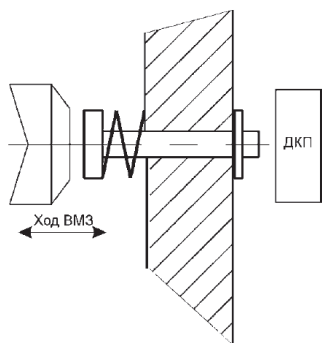


Рисунок. 2.2 – Механизм включения ДКП

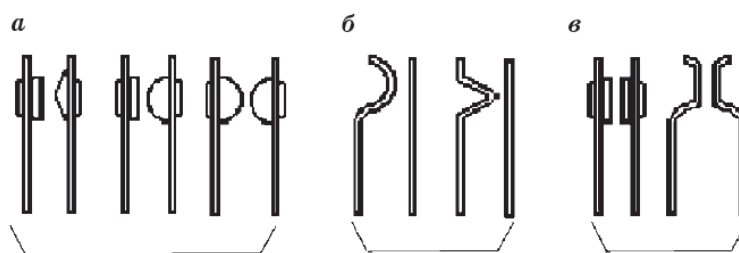


Рисунок 2.3 - Типы контактов:
а — точечные; б — линейные; в — плоскостные.

Один элемент устанавливается на подвижном объекте, второй - на другом подвижном или неподвижном объекте. При совпадении установленного положения объектов контакты замыкаются. Для надежности замыкания контакты устанавливают на упругих элементах, которые обеспечивают необходимую силу поджатия контактов. При проектировании датчиков прямого электрического контакта можно начинать с выбора конструкции и материалов контактов.

Точечные контакты (рисунок 2.3а) применяют при малой мощности нагрузки, присоединяя плоский контакт к отрицательному полюсу источника питания.

Линейные и плоскостные контакты (рисунок 2.3б, в) применяют для коммутации мощных сигналов. Требования к материалу контактов: высокая твердость и механическая прочность, устойчивость к окислению, высокая температура плавления и испарения, высокая тепло- и электропроводность. Наиболее употребительные материалы: медь, серебро, платино-иридиевые сплавы, вольфрам, платино-серебряные сплавы, серебро в сплаве с окисью кадмия. Основная задача проектирования контактов - это недопущение их перегрева, которое зависит от тока, протекающего через контакты, и переходного контактного сопротивления

$$R_k = A_0 / Q_k b,$$

где A_0 - постоянная контакта;

Q_k - контактное усилие;

b - постоянная формы контактов ($b = 0,5$ - точечные; $b = 0,5...0,7$ - линейные; $b = 1$ - плоскостные контакты).

Постоянная контакта A_0 зависит от материала, формы, размеров и качества обработки контактов.

Оптопары с открытым оптическим каналом. Датчики конечных положений на базе оптопар с открытым оптическим каналом состоят из отдельного источника света и отдельного светоприемника. Если между источником и приемником существует светопрозрачная среда, то на приемнике выделяется сигнал высокого уровня, который можно понимать как логическую единицу; если светопрозрачную среду перекрыть светонепрозрачной шторкой, то на приемнике снизится уровень сигнала, который можно понимать как логический ноль.

Индуктивные датчики

Индуктивные датчики используют свойства изменения реактивного сопротивления индуктивности при изменении параметров магнитной цепи,

например магнитного зазора. Индуктивные датчики конечного положения являются частным случаем использования индуктивных датчиков пути.

Емкостные датчики

Емкостные датчики используют свойства изменения реактивного сопротивления емкости при изменении ее параметров, например, типа диэлектрика в зазоре, расстояния между пластинами и т. п. Емкостные датчики конечного положения являются частным случаем использования емкостных датчиков пути.

Датчики Холла

Датчики Холла - это полупроводниковые приборы (пластинки или пленки), электрический потенциал на выходе которых $U_x = K_x I_x \cdot B$ является функцией индукции магнитного поля, в которое помещен датчик. Величина I_x - ток питания датчика Холла, определяемый условиями включения и выходной вольтамперной характеристикой; K_x - чувствительность типового датчика при номинальном токе питания, I_x , н; В - индукция магнитного поля. Датчик преобразует магнитную индукцию в выходное напряжение. Область применения: в качестве первичного измерительного преобразователя в приборах для измерения магнитной индукции и в устройствах для измерения линейных и угловых перемещений.

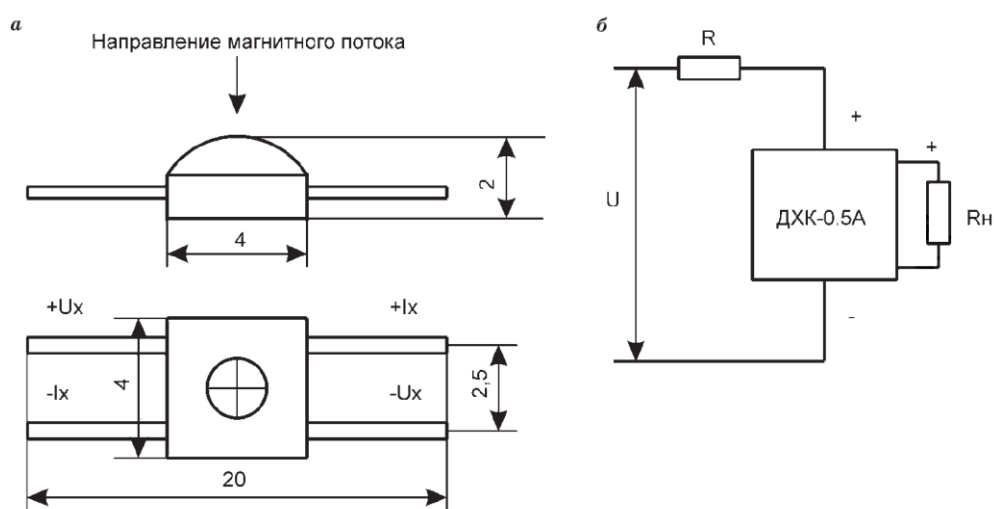


Рисунок 2.4 - Датчик Холла типа ДХК-0.5А:

а - общий вид; б - схема включения.

Датчики приближения

Датчики приближения формируют сигнал логической единицы при попадании подвижного звена в зону действия датчика. Форма зоны действия может быть разной, но должна учитывать число степеней свободы подвижного звена и их тип. Датчики приближения могут применяться как типовые, так и встраиваемые в конструкцию.

1. Индуктивные датчики приближения - твердотельные датчики, не включающие в свой состав трущихся механических частей. Они работают на высокой частоте магнитного поля для обнаружения преграды из ферромагнетика или цветного металла на расстоянии от единиц до десятков мм.

2. Емкостные датчики определяют преграды из электрически проводящих, непроводящих материалов, бумаги, порошков, жидкостей и т. д. Датчик срабатывает при приближении к объекту в зоне от единиц до десятков миллиметров.

3. Фотоэлектрические датчики приближения работают на принципе изменения получаемой световой энергии. Излучаемый поток световой энергии прерывается или отражается приближающимися предметами.

4. Ультразвуковые датчики приближения состоят из передатчика и приемника. Передатчик посылает ультразвуковой луч, а приемник принимает прямой или отраженный луч. Ослабление мощности звукового луча свидетельствует о наличии препятствия.

2.3 Датчики перемещений (пути)

Потенциометрические датчики перемещений

Различают потенциометрические датчики линейных и угловых перемещений. Применяют несколько схем включения потенциометров (рисунок 2.5). По типу материала и конструкции различают мастичные,

пленочные и проволочные потенциометры. Потенциометры как элементы имеют много недостатков: ограниченную шкалу, низкую разрешающую способность, большое компоновочное пространство, зависимость от стабильности питания, ошибку ступенчатости, существенное усилие трогания и трения, но есть области применения потенциометров, где недорогой альтернативы для них нет, например, в условиях радиоактивности.

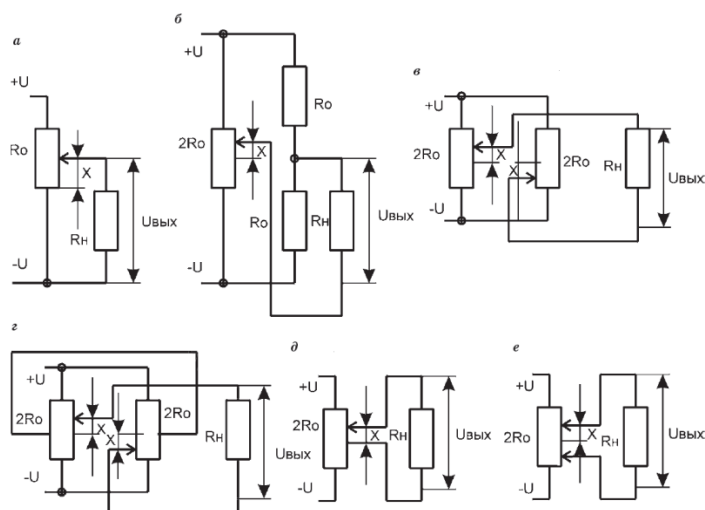


Рис. 2.5 - Схемы включения потенциометров:

а - типовое; б - мостовое с постоянными резисторами; в - мостовое с двумя потенциометрами; г - мостовое с двумя потенциометрами, с дополнительными выводами; д - типовое для потенциометра с дополнительным средним выводом; е - типовое для потенциометра с двумя связанными ползунками.

Импульсные (инкрементальные) цифровые датчики перемещений

Инкрементальные цифровые датчики отображают измеряемое положение количеством импульсов, которые затем подсчитываются с учетом направления перемещения.

Датчики этого типа мало подвержены дестабилизирующим факторам окружающей среды, имеют большую долговечность, очень высокую точность, но и относительно высокую стоимость. Их применение оправдывается там, где нужны точность и надежность.

Импульсные датчики перемещений формируют на своем выходе последовательности импульсов напряжения электрического тока, параметры которых (сумма импульсов, фазовый сдвиг, частота) или их комбинация позволяют оценить наблюдаемые переменные. Импульсы формируются за счет модуляции потоков энергии - световой, электромагнитной и т. п. - и преобразования сигналов приемников этой энергии в электрические импульсы. Импульсные датчики, как правило, имеют относительную шкалу отсчета, и при запуске привода с таким датчиком применяют алгоритмы базирования по сигналам датчиков конечных положений или референтным шкалам.

Примеры компоновочных решений типовых импульсных датчиков и способов их крепления приведены на рисунке 2.6.

На рисунке 2.5а приведена схема индуктивного импульсного датчика, состоящего из штока двигателя линейного перемещения 1, концентрических канавок 2 шириной δ_1 , заполненных диамагнетиком на поверхности ферромагнитного штока, электромагнитной головки 3 с рабочим зазором 1, источника питания переменного напряжения 4, мостовой схемы выделения сигнала 5, выпрямительного моста 6, усилителя-формирователя 7.

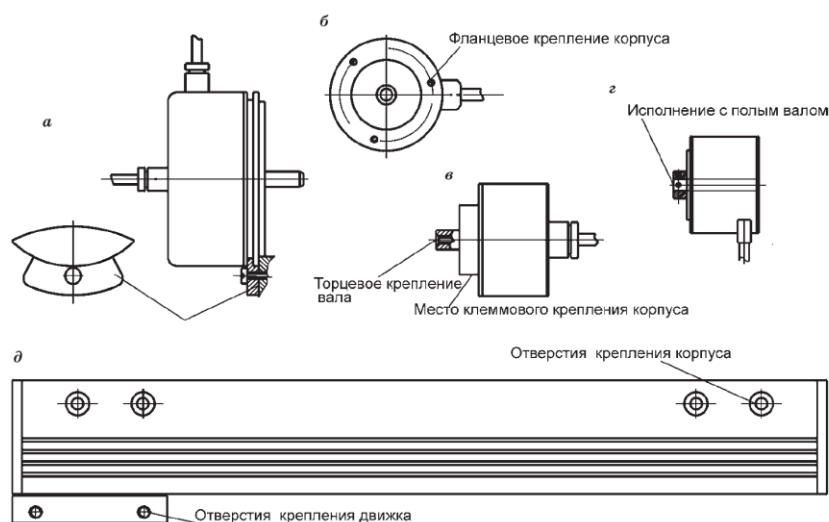


Рисунок 2.6 - Типовые импульсные датчики:

а, б, в, г - преобразователи углового перемещения; д - преобразователи линейного перемещения.

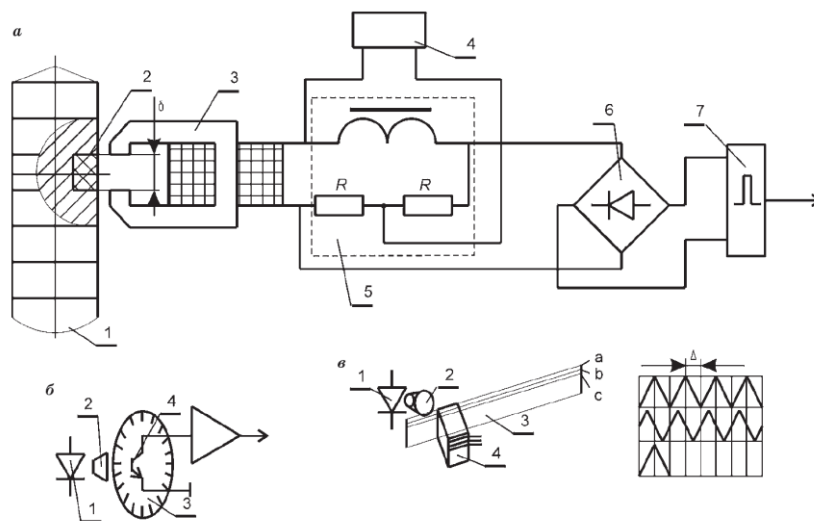


Рисунок 2.7 - Импульсные датчики перемещений:

а - индуктивный импульсный датчик; б - фотоимпульсный датчик; в - трехрастровый фотодатчик на тонкосетчатых штриховых растрах и диаграммы изменения сигналов на выходе фотодатчиков растров а, б, с.

Принцип действия устройства. Если рабочая щель головки полностью перекрыта ферромагнетиком, то обмотка головки обладает минимальным реактивным сопротивлением, которое равно реактивному сопротивлению дросселя моста, и на выходе измерительного моста формируется нулевое напряжение.

Если щель полностью перекрыта диамагнетиком, то обмотка головки обладает максимальным реактивным сопротивлением, которое не равно реактивному сопротивлению дросселя моста, и на выходе измерительного моста формируется напряжение с ненулевой амплитудой и частотой источника питания.

Напряжение с выхода измерительного моста выпрямляется и в виде пачки положительных импульсов поступает на схему усилителя-формирователя, на выходе которого появляется прямоугольный импульс.

На рисунке 2.7б приведена схема фотоимпульсного датчика, состоящего из светодиода 1, коллиматора 2, диска 3 с растром, фототранзистора 4. На рисунке 2.7в приведена схема фотоимпульсного

датчика, состоящего из источника света 1, конденсора 2, линейки 3 с тремя растрами a , b и c , трех фотоприемников 4.

Кодовые датчики импульсные (цифровые) датчики

Датчики этого типа формируют на выходе n -разрядный двоичный, параллельный или последовательный цифровой код, измеряющий перемещение входного звена преобразователя в абсолютной шкале отсчета.

Абсолютные цифровые датчики - это рейки для линейных перемещений или диски для угловых перемещений, разделенные на N равновеликих площадок (полос - в случае рейки, секторов - в случае диска), на которых записаны бинарные слова, соответствующие определенному положению. Поэтому при сбоях в работе, включении, прерывании питающих напряжений или предельной частоты работы на выходе датчика имеется точная позиция положения.

Шкала кодовых датчиков угла поворота не превышает 360° , и для измерения неограниченных углов поворота применяют алгоритмы счета прохождения полных шкал по сигналам датчиков конечных положений или референтным меткам.

Лазерные датчики перемещений

Лазерные датчики линейных перемещений - это относительно новый класс преобразователей, считающийся весьма перспективным. Лазерные датчики строятся по принципу измерения сдвига фаз излучаемого сигнала лазерного луча и сигнала лазерного луча, отраженного от мишени, расстояние до которой измеряется. Лазерные датчики линейных и угловых перемещений строятся также по принципу записи на подвижную относительно считывателя шкалу цифрового кода.

Индуктивные датчики перемещений

Индуктивные датчики перемещений в качестве активного элемента используют переменную индуктивность или взаимную индуктивность. Если подвижным элементом является ферромагнитный сердечник, то его перемещение проявляется в изменении коэффициента самоиндукции

катушки (переменная индуктивность) или в изменении коэффициента связи между первичной и вторичной обмотками трансформатора (дифференциальный трансформатор), что приводит к изменению вторичного напряжения.

В трансформаторе с переменной связью одна обмотка может вращаться относительно другой. Первичная обмотка образует индуктор, а вторичная обмотка с наведенным током дает напряжение в функции угла вращения. Индуктивные датчики подключаются в цепь, питаемую источником синусоидального напряжения с частотой нескольких кГц, и могут измерять непосредственно линейное или угловое перемещение.

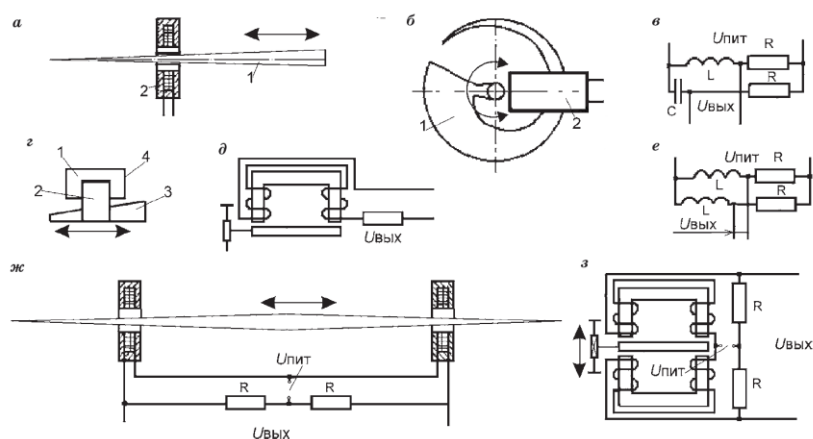


Рисунок 2.8 - Схемы индуктивных датчиков перемещений:

а - датчик линейных перемещений плунжерного типа: 1 - входной элемент (сердечник переменного сечения); 2 - катушка; б - датчик угловых перемещений плунжерного типа: 1 - входной элемент; 2 - катушка; в - мостовая схема выделения сигнала с реактивной емкостью; г - датчик линейных перемещений щелевого типа: 1 - обмотка; 2 - сердечник с щелью; 3 - входной элемент (подвижная вставка); 4 - защитная крышка обмотки; д - датчик линейных перемещений с плоско)параллельным зазором; е - мостовая схема выделения сигнала с реактивной индуктивностью; ж - дифференциальный двухтактный датчик с отдельными катушками; з - дифференциальный двухтактный датчик с отдельными магнитопроводами.

Датчики перемещений на элементах Холла

Для малых перемещений в зоне чувствительности элемент Холла имеет линейную характеристику и может с успехом применяться как датчик. При этом на датчике Холла (ДХ) можно организовать как аналоговый выход (рисунок 2.9а, б) на участках статической характеристики, близких к линейной, так и импульсный.

Датчики перемещений на магниторезисторах.

Принцип действия магниторезисторов основан на изменении электрического сопротивления под воздействием магнитного поля. Это позволяет строить на их базе датчики вращения и линейного перемещения, бесконтактные потенциометры приращений и абсолютных величин (рисунок 2.10).

Магниторезистор используют как часть мостовой резистивной схемы.

Напряжение холостого хода моста определяется выражением

$$U_m = K_0 UB,$$

где K_0 - чувствительность моста;

U - напряжение питания моста;

B - индукция в чувствительной зоне.

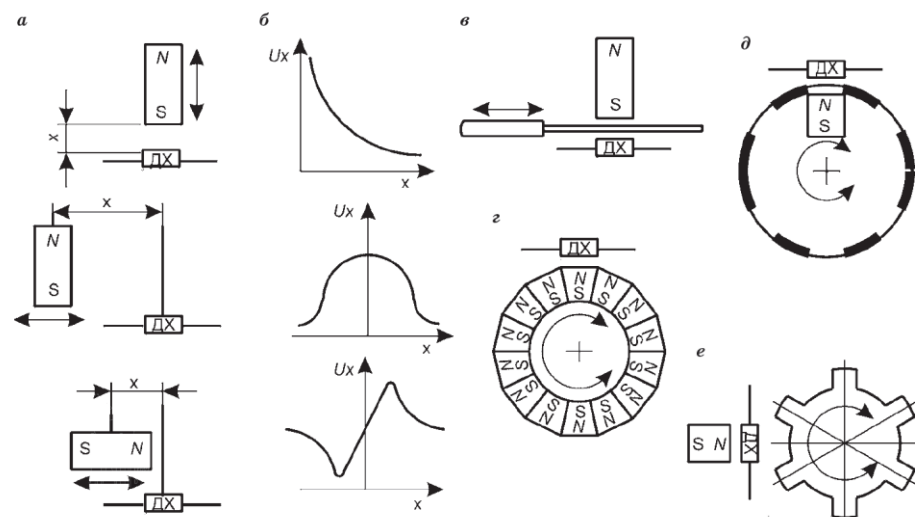


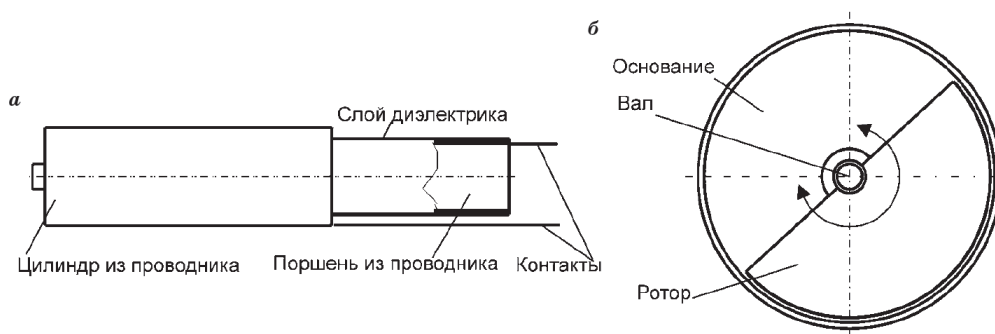
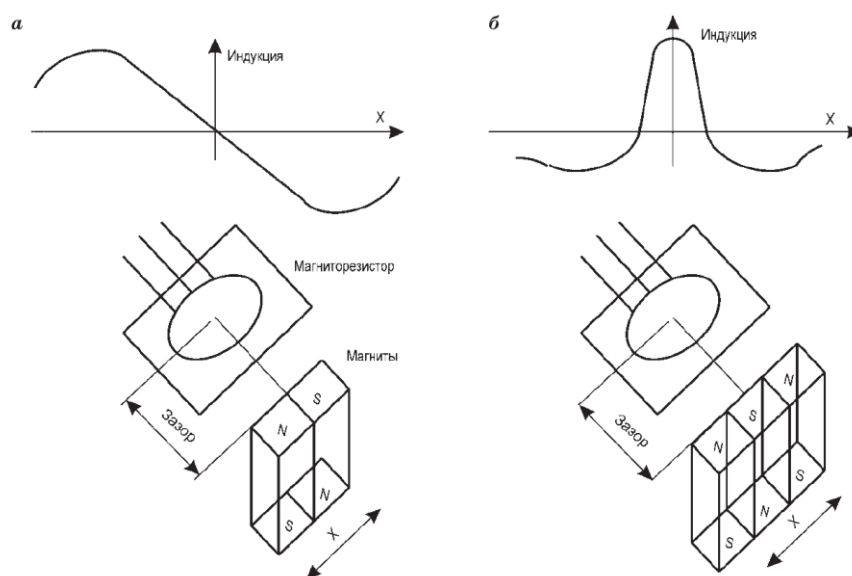
Рисунок 2.9 - Схемы применения элементов Холла в датчиках перемещения:

а - схемы размещения возбуждителя относительно ДХ; б - характеристики преобразователей; в...е - конструктивные схемы датчиков.

Емкостные датчики угловых и линейных перемещений

Емкостные датчики представляют собой плоский или цилиндрический конденсатор, одна из обкладок которого испытывает измеряемое перемещение, вызывая изменение емкости.

Диэлектриком обычно служит воздух, так что параметры конденсатора зависят только от геометрических характеристик и не зависят от свойств используемых материалов.



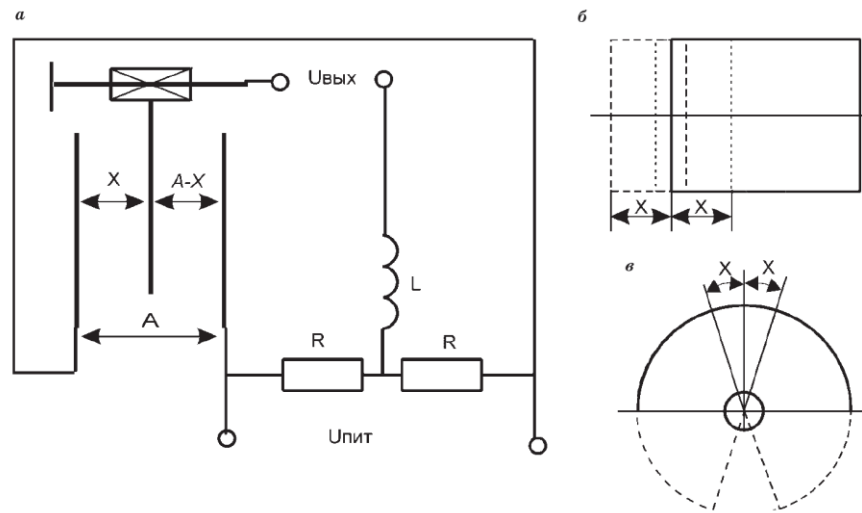


Рисунок 2.12 - Емкостные датчики:

а - пример схемы применения и включения; б - линейный датчик; в - датчик вращения.

Электростатические датчики перемещений построены на свойствах электростатических полей.

Электростатические датчики перемещений (ЭСД) характеризуются U - напряжением между пластинами;

$$q = UC - \text{зарядом,}$$

где $C = \epsilon S/d$ - емкость ЭСП,

$S = bx$ - площадь взаимодействия пластин,

b - ширина пластин,

x - длина перекрытия,

ϵ - абсолютная диэлектрическая проницаемость,

d - расстояние между пластинами;

$i = dq/dt$ - током; $W = qU/2 = CU^2/2$ - энергией.

Датчики наклона

Датчики наклона, в отличие от датчиков углового положения, измеряют отклонение в системе координат, связанной с землей, а точнее, с гравитационным полем земли. К таким датчикам относятся прежде всего гироскопические датчики и жидкостные инклинометры.

Гирскопические датчики

Гирскопический датчик угловых перемещений использует свойство гироскопа с тремя степенями свободы сохранять неизменным положение оси собственного вращения в пространстве. Гироскоп определяет углы отклонения в системе координат, связанной с гравитационным полем.

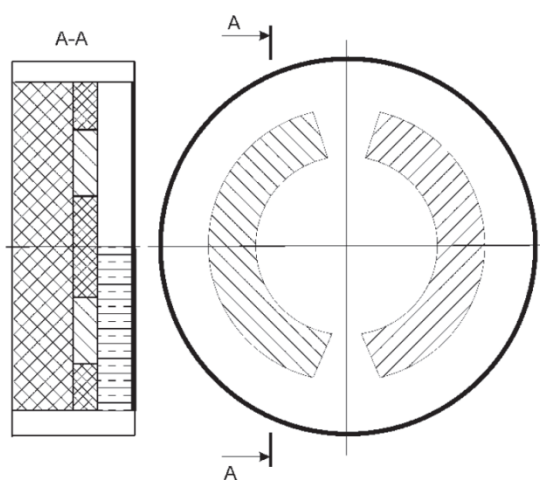
Пьезокерамические гироскопы

В большинстве пьезокерамических гироскопов используется вибрация пьезокерамических пластин, призм и тел другой формы. Поворачиваясь вокруг оси, такое тело начинает отклоняться в плоскости, поперечной плоскости вибрации, под действием кориолисовых сил. Измеренное отклонение служит мерой угла поворота.

Жидкостные инклинометры

Малогабаритные жидкостные инклинометры с электрическим выходным сигналом, пропорциональным углу наклона датчика, обладают рядом достоинств. Высокая точность, миниатюрные размеры, отсутствие подвижных механических узлов, простота крепления на объекте и низкая стоимость делают целесообразным использование инклинометров не только в качестве датчиков крена, но и как альтернативу датчикам малых угловых перемещений. Недостаток таких инклинометров - большая инерционность (постоянная времени 0,1...0,4 с), полоса частот до 3 Гц.

Инклинометр (рисунок 2.13) представляет собой дифференциальный



емкостный преобразователь наклона, включающий в себя чувствительный элемент в форме капсулы. Капсула состоит из подложки с двумя планарными электродами, покрытыми изолирующим слоем и герметично закрепленными на подложке корпусом. Внутренняя полость корпуса частично

Рисунок 2.13 - Схема инклинометра

заполнена проводящей жидкостью, которая является общим электродом чувствительного элемента. Общий электрод образует с планарными электродами дифференциальный конденсатор. Выходной сигнал датчика пропорционален величине емкости дифференциального конденсатора, которая линейно зависит от положения корпуса в вертикальной плоскости.

Инклинометр проектируют так, чтобы он имел линейную зависимость выходного сигнала от угла наклона в одной (рабочей) плоскости и практически не изменял показания в другой (нерабочей) плоскости.

2.4 Датчики скорости

Датчики скорости на базе измерителей сил вязкого трения. В таких датчиках используется зависимость сил вязкого трения между физическими телами от скорости их относительного перемещения. Напряжение на выходе датчика:

$$U = K_{\text{сп}} f(dX/dt),$$

где $K_{\text{сп}}$ - коэффициент передачи преобразователя усилия;

$f(dX/dt)$ - функция преобразования скорости в реакцию связи.

Для создания сил трения используют зазоры между плоскопараллельными, цилиндрическими или дисковыми поверхностями, заполненные жидкостями. К датчикам скорости этого типа условно относят индукционные датчики, измеряющие усилия между двумя телами из слабомагнитного или сильномагнитного материала, пронизываемого магнитным потоком. В этом случае между телами возникает силовое взаимодействие, являющееся функцией скорости.

Центробежные датчики используют измерение центробежной силы как функции угловой скорости вращения тела. Чувствительным элементом обычно служит подпружиненное тело, перемещающееся в радиальном канале вращающегося звена. Величина его перемещения является функцией угловой скорости. Источники погрешностей - потери на трение, нестабильность и

нелинейность упругих элементов, разрешающая способность измерителей перемещения. Способ преобразования выходного сигнала связан со способом измерения центробежной силы.

Гироскопические датчики в режиме измерения скорости могут оказаться эффективным средством измерения скорости. Квалификация и принцип действия гироскопов были рассмотрены ранее.

Электростатические датчики скорости используют зависимость зарядного тока конденсатора I от источника напряжения U и скорости V , изменения его емкости - $I = KUV$. Здесь K - конструктивный коэффициент. Если между обкладками конденсатора размещен электрет (диэлектрик с постоянной поляризацией), то датчик может работать без внешнего источника напряжения.

Датчики на базе тахогенераторов

Тахогенераторы вырабатывают сигнал, пропорциональный частоте вращения ротора.

Тахогенераторы постоянного тока являются коллекторными машинами с постоянным возбуждением и выходной характеристикой

$$U = R_n I_a (K\Phi\omega - U_{щ}) / [R_n + R_a] I_a + K\Phi_r \omega,$$

где R_n - сопротивление нагрузки;

R_a - сопротивление якоря;

I_a - ток якорной цепи;

K - конструктивный параметр;

Φ - магнитный поток статора;

Φ_r - магнитный поток реакции якоря;

$U_{щ}$ - падение напряжения на щеточноколлекторном узле; ω - частота вращения якоря.

Тахогенераторы переменного тока синхронные являются синхронными машинами с выходной характеристикой

$$U(t) = A(\omega) \sin(\omega t),$$

где ω - частота вращения якоря; $A(\omega)$ - амплитуда сигнала, зависящая от частоты. Обычно в таких тахогенераторах ротором служит явнополюсный постоянный магнит, а сигнал снимается с обмоток статора.

Тахогенераторы переменного тока асинхронные являются асинхронными машинами с разомкнутым якорем и с выходной характеристикой

$$U = U_1(\omega_2/\omega_1)K_{\text{ТР}}[A - (\omega_2/\omega_1)^2 B],$$

где U_1 - напряжение питания статора;

ω_1 - частота вращения магнитного поля статора;

ω_2 - частота вращения якоря; A, B - конструктивные коэффициенты (величины U, U_1, A, B - записаны в комплексной форме).

Коэффициент B определяет величину амплитудной и фазовой погрешности, при $B = 0$ асинхронный генератор приобретает идеальную характеристику $U = U_1\omega_2/A_1\omega_1$.

Эстиматоры скорости

Эстиматорами скорости называют технические средства, позволяющие оценить скорость некоторого объекта путем измерения интервала времени между двумя событиями на его пути.

2.5 Датчики ускорений (акселерометры)

Акселерометр - устройство для измерения ускорения, возникающего при движении объектов. Акселерометр определяет ускорение в системе координат гравитационного поля.

Классификация акселерометров.

1. По типу движения (поступательное, вращательное).
2. По принципу действия (механический, механоэлектрический).
3. По способу измерения (непрерывный, пороговый).
4. По количеству осей (компонентов) съема информации (одно-, двух-, трехкоординатные (компонентные)).

5. По виду выходного сигнала (аналоговый, цифровой).
6. По диапазону измерений (низкочастотные, высокочастотные).
7. По количеству дополнительных функций (измерение угла отклонения от вертикали, измерение статического ускорения (гравитации), измерение угловой скорости вращения, измерение частоты вибраций и силы ударов).
8. По исполнению (монокорпусные, одноплатные, многокорпусные).

В электромеханическом акселерометре маятникового или пружинного типа подвижная масса m , в том числе и являющаяся неотъемлемым элементом конструкции, отклоняется от положения равновесия, созданного силой веса или пружиной. Это отклонение измеряется датчиком перемещения не которой точки, жестко связанной с массой, на величину X , и вводится в систему управления движением. Преобразователем перемещения может быть любой датчик перемещений, рассмотренный выше.

В пьезоэлектрическом акселерометре выходное электрическое напряжение возникает при механическом сжатии пьезоэлемента под действием сил инерции. При этом роль упругого стержня или пружины играют сами пьезоэлементы с высокими показателями упругости и механической прочности, например пьезокерамические пластины.

Пьезоэлектрические акселерометры предназначены для измерения параметров вибрации в широких диапазонах частот, амплитуд, температур.

В молекулярно-электронных акселерометрах происходит преобразование механических колебаний в электрический сигнал на основе электрокинетического эффекта. Акселерометр представляет собой заполненный рабочей жидкостью корпус, внутри которого расположены пористая преобразующая диафрагма с токосъемниками - электродами и упругий элемент - сильфон с укрепленной на нем инерционной массой. При воздействии на акселерометр механических колебаний происходит сжатие или растяжение сильфона, а через преобразующую диафрагму происходит

истечение рабочей жидкости, приводящее к появлению на электродах заряда, пропорционального ускорению.

В микромеханических датчиках подвижная механическая часть приводится в высокочастотные колебания посредством электростатического привода гребенчатого вида. Управление электростатическим приводом осуществляется генератором, работающим в автоматическом режиме. Для съема информации в виде напряжений, пропорциональных проекциям абсолютной угловой скорости и линейного ускорения, используется емкостный датчик, образуемый элементами конструкции подвижной и неподвижной механической части.

2.6 Датчики тока

Датчики тока предназначены для организации цепей обратной связи по току, мониторинга и диагностики цепей, определения разбаланса токов, запуска схем защиты, обнаружения отказов и аварийных ситуаций.

В практике проектирования чаще всего используют следующие методы измерения токов: резистивный (сериесные сопротивления, прецизионные резисторы, включаемые в токовую цепь), метод на основе эффекта Холла, трансформаторный (трансформаторы тока, магнитные модуляторы).

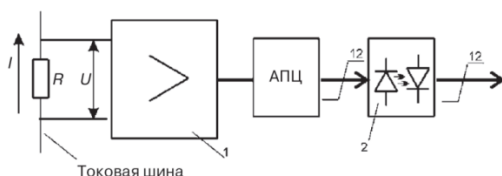


Рисунок 2.14 - Пример реализации резистивного датчика тока на операционном усилителе с гальванической развязкой:

1 - усилитель; 2 - оптопара.

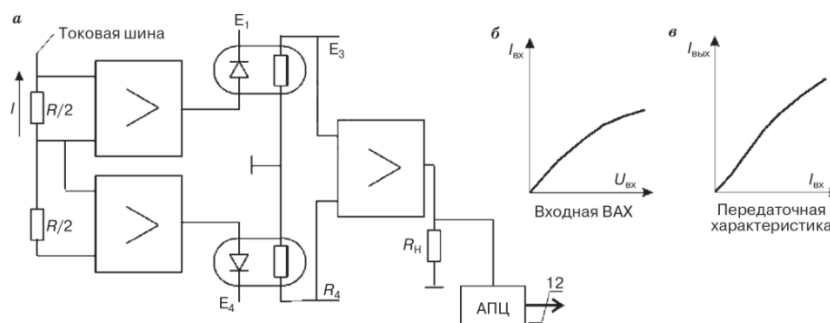


Рисунок 2.15 - Датчик тока на фоторезисторах, включенных по двухтактной схеме:

а - структурная схема датчика; б - входная ВАХ фоторезистора; в - передаточная характеристика фоторезистора.

Сериесные сопротивления являются простым и эффективным способом реализации датчика тока, но при их проектировании возникает ряд проблем: выделение активной мощности на сериесном резисторе (потери мощности $P = I^2 R_d$), малый диапазон измеряемых токов, гальваническая развязка силового каскада и слаботочных цепей. Решение первой проблемы - применение термостойких резисторов, теплоотвод. Вторая проблема ограничивает применение резистивных датчиков в системах малой и средней мощности. Третья проблема решается организацией гальванической развязки во вторичных цепях измерения тока (рисунок 2.14).

В качестве первичного преобразователя использован прецизионный сериесный резистор R , падение напряжения на котором является входом операционного усилителя 1. Выходное напряжение усилителя преобразуется в параллельный 12-разрядный цифровой код с помощью АЦП. Между цифровым выходом АЦП и параллельным портом цифрового контроллера включен регистр оптронной развязки. Вместо активных могут применяться фоторезистивные сопротивления, например, по схеме, представленной на рисунок 2.15.

Трансформаторы тока (ТТ) - это простейшие одно- или двухтактные магнитные усилители. ТТ используют дроссели насыщения, выполненные в

виде катушек, намотанных на сердечниках из ферромагнитных пластин (Ш- или П-образных) или кольцевых сердечниках из ленты (тороидах).

Статическая характеристика ТТ (рисунок 2.16в) имеет зону линейности, ограниченную зоной насыщения I_s , зоной холостого тока I_0 , минимальным $I_{y, \min}$ и максимальным $I_{y, \max}$ током управления.

В измерительных ТТ на тороидах обмоткой управления служит шина (отрезок провода), коаксиально проходящая через центр тора. Этот отрезок считается одним витком, и тогда $I_{H, \text{cp}} \approx I_y / \omega_p$, где ω_p - число витков рабочей обмотки.

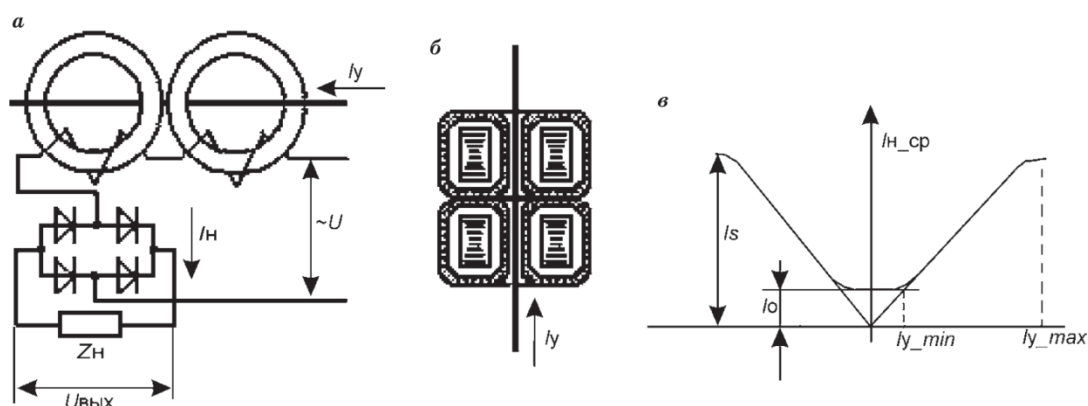


Рисунок 2.16 - Трансформаторы тока:

а - схема измерительного трансформатора тока с выходом в виде постоянного напряжения; б - конструкция трансформатора тока на тороидальных сердечниках и с обмоткой управления в виде коаксиальной шины; в - статическая характеристика однотактного трансформатора тока.

Для преобразования сигнала на выходе выпрямителя датчика тока обычно используют АЦП. На рисунок 2.17 приведен один из вариантов схемы датчика тока.

Магнитные модуляторы (рисунок 2.18) также работают по принципу насыщаемых дросселей и могут рассчитываться в рамках общей теории магнитных усилителей.

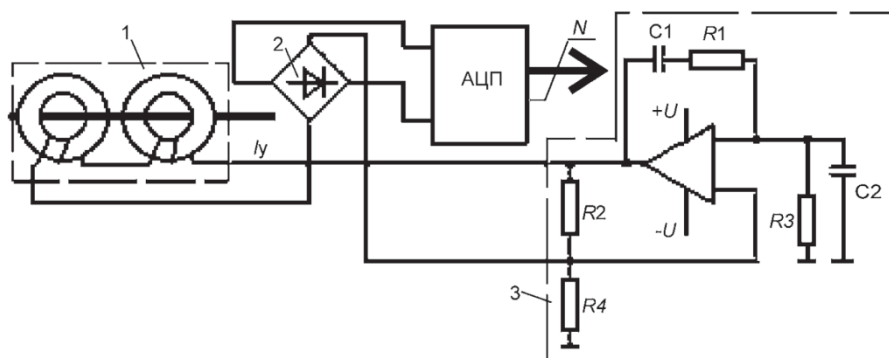


Рисунок 2.17 - Схема датчика тока на ТТ:

1 - трансформатор тока (ТТ); 2 - выпрямительный мост; 3 - генератор синусоидального напряжения питания датчика; АЦП - N -разрядный аналогово,цифровой преобразователь.

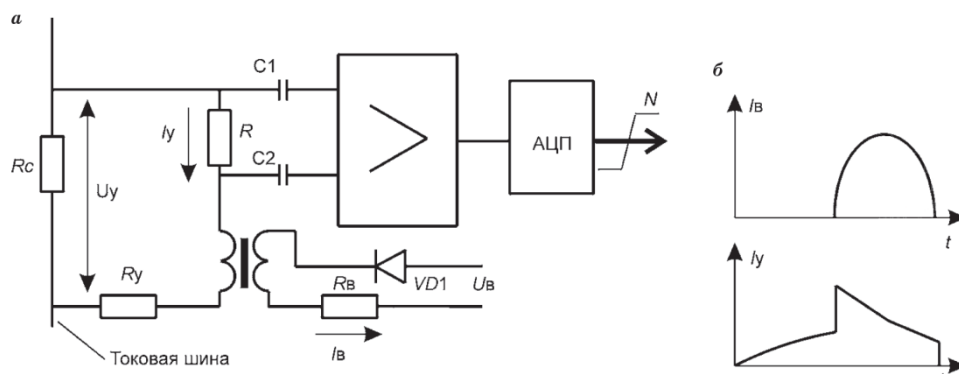


Рисунок 2.18 - Датчик тока на магнитном модуляторе с взаимно, перпендикулярными полями:

а - схема: 1 - трансформатор; 2 - усилитель; б - эюры тока управления, I_y , и тока возбуждения, I_b .

В качестве первичного преобразователя использован магнитный модулятор с взаимно-перпендикулярными полями I , питаемый от генератора переменного синусоидального напряжения. Диаграммы токов в обмотке управления I_y и обмотке возбуждения I_b показаны на рисунок 2.18б.

Линейные токовые датчики на элементах Холла

Токовые датчики с аналоговым выходом могут быть реализованы с использованием линейных элементов Холла. Токовый датчик содержит

кольцо из феррита или кремнистой стали и микросхему датчика Холла, которые объединены в единый корпус (рисунок 2.19).

Ток, проходящий через проводник, генерирует магнитное поле. Магнитное кольцо концентрирует магнитный поток в области микросхемы датчика Холла. Линейная зависимость и изолированность от измеряемого тока делает линейный токовый датчик такого типа весьма перспективным элементом.

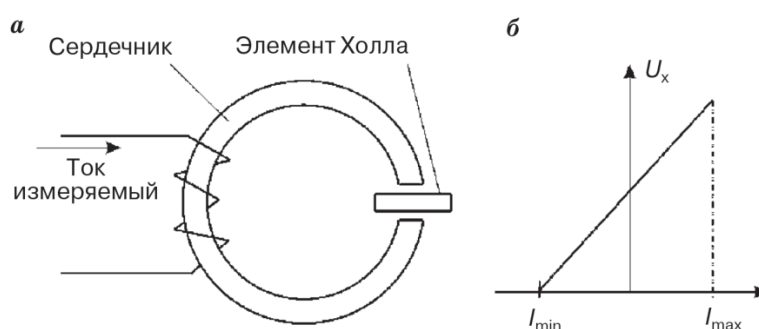


Рисунок 2.19 - Датчик тока на элементах Холла:

а - схема; б - характеристика.

2.7. Датчики температуры

Термодатчики разделяют на термопары, термометры сопротивления, термисторы и полупроводниковые датчики (ПП-датчики), биметаллические пластины, манометрические термометры, пирометры (последние три вида мы не рассматриваем).

Термопары - маленькие, прочные и сравнительно недорогие устройства, которые работают в самом широком диапазоне температур. Термопары незаменимы при измерении высоких температур (до 2300С) и в агрессивных средах. Они вырабатывают на выходе термоЭДС в диапазоне от микровольт до милливольт, однако требуют стабильного усиления для последующей обработки.

Термометры сопротивления обычно выполнены в виде металлического или пленочного резистора. Они точны, компактны, но используются обычно в мостовых схемах. Наиболее точны платиновые термометры, которые могут использоваться в качестве эталонов.

Термисторы - это полупроводниковые резисторы, в которых используется зависимость электрического сопротивления полупроводника от температуры.

Различают термисторы прямого и косвенного подогрева. Последние имеют дополнительный источник тепла - подогреватель (конструктивно выполненный в виде нити подогрева или обмотки на изоляционной трубке). К термисторам прямого подогрева относят также и полупроводниковые болометры. Эти устройства состоят, как правило, из двух пленочных термисторов и предназначены для бесконтактного измерения температур.

Полупроводниковые датчики (ПП-датчики) температуры характеризуются высокой точностью и линейностью в диапазоне температур $-55...+150^{\circ}\text{C}$. Встроенные усилители позволяют подобрать усиление и смещение так, чтобы выходной сигнал имел заранее заданную температурную зависимость.

2.8 Датчики внешнего воздействия на механическое устройство

Этот тип датчиков ориентирован на регистрацию состояний внешнего мира в зоне его действия и/или оценки влияния внешнего мира на состояние мехатронного устройства. В технической литературе, этот тип датчиков иногда принято называть сенсорами.

Классификация сенсоров

А. По типу регистрируемой физической переменной.

А.1. Световых потоков.

А.1.1. Инфракрасного спектра.

А.1.2. Видимого спектра.

А.1.3. Ультрафиолетового спектра; монохромного и полихромного цветов; когерентного и некогерентного излучения.

А.2. Радиоволн.

А.2.1. Низких частот (НЧ).

А.2.2. Средних частот (СЧ).

А.2.3. Высоких частот (ВЧ).

А.2.4. Ультравысоких частот (УВЧ).

А.2.5. Сверхвысоких частот (СВЧ).

А.3. Радиоактивного излучения.

А.3.1. α -частиц.

А.3.2. β -частиц.

А.3.3. γ -частиц.

А.3.4. Прочих потоков.

А.4. Звука.

А.4.1. Инфразвука.

А.4.2. Звуков, доступных органам слуха человека.

А.4.3. Ультразвука.

А.4.4. Прочих частот.

А.5. Тепловых потоков.

А.5.1. Излучения.

А.5.2. Конвекции.

А.5.3. Теплопроводности.

А.5.4. Прочих способов.

А.6. Давления со стороны тел внешнего мира на мехатронное устройство.

А.6.1. Локальное.

А.6.2. Атмосферы зоны функционирования.

А.6.3. Гидросферы зоны функционирования.

А.6.4. Прочие.

А.7. Электромагнитных полей.

- А.7.1. Электростатических.
- А.7.2. Электровихревых.
- А.7.3. Магнитных стационарных.
- А.7.4. Магнитных нестационарных.
- А.7.5. Электромагнитных.
- А.7.6. Прочих разновидностей.
- А.8. Прочие.
- Б. По служебному назначению.
 - Б.1. Определение расстояний до объектов внешнего мира от МУ.
 - Б.2. Измерение скоростей и ускорений сближения объектов внешнего мира с МУ (Б.2. j - подклассы, j = 1, 2, ...).
 - Б.3. Наблюдение за взаимным размещением и перемещением объектов внешнего мира (наблюдение сцен) (Б.3. j - подклассы, j = 1, 2, ...).
 - Б.4. Обнаружение новых объектов внешнего мира, их идентификация.
 - Б.5. Измерение интенсивности воздействия со стороны объектов внешнего мира на МУ и другие объекты (Б.5. j - подклассы, j = 1, 2, ...).
 - Б.6. Прочие функции (Б.6. j - подклассы, j = 1, 2, ...).
- В. По способу взаимодействия с внешним миром.
 - В.1. Пассивные (воспринимают активное воздействие).
 - В.2. Активные (воздействуют на объекты внешнего мира).
- Г. По способу преобразования входного потока в выходной сигнал.
 - Г.1. Детекторы (регистрируют факт появления входного потока).
 - Г.2. Измерители уровня (дают оценку установленных параметров).
 - Г.3. Наблюдатели сцен (формируют представление о входном потоке в виде установленных образов, например, видеосцен).
- Д. Прочие классы и подклассы.

2.9 Системы технического зрения (СТЗ)

Этот подкласс сенсоров широко представлен в современном спектре сенсоров мехатронных устройств и особенно в изделиях робототехники. Имеется обширная библиография по методам расчета СТЗ, например, задачам робототехники посвящены работы В. И. Мошкина и А. А. Потапова [10, 11].

Последовательность получения цифрового образа исходного объекта наблюдения.

1. Видеосъемка - преобразование оптического образа объекта наблюдения в образ, представленный в цифровой памяти двоичными кодами (цифровой образ) и сохраняемый в ней установленное время.

2. Предварительная обработка цифрового образа, например повторная запись для повышения достоверности; удаление помех (шумов); повышение контрастности; масштабирование.

3. Сегментация - разделение сцены на части или объекты.

4. Описание - выделение характерных параметров, например точки, линии, границы смены цвета или степени серого; локальные области изображения.

5. Распознавание (детектирование) - выделение определенной комбинации точек.

6. Решение основной задачи СТЗ - формирования закодированного образа.

2.10 Сравнение технических характеристик датчиков величин для робототехнических комплексов

2.10.1 Сравнение датчиков температуры

Датчики температуры используются везде, где рабочие параметры системы так или иначе зависят от температурных факторов. Сегодня

выпускаются различные виды датчиков температуры: термопары, термисторы, терморезистивные датчики с линейной зависимостью выходного сигнала, а также полупроводниковые датчики с цифровым выходом. Виды температурных датчиков более детально были рассмотрены ранее.

Датчики температуры различаются по материалу исполнения чувствительного элемента и типу корпусирования: датчики с полупроводниковым чувствительным элементом, датчики с платиновым чувствительным элементом, корпусированные датчики. Измеряемая температура преобразовывается в сопротивление со стабильной линейной зависимостью. Датчики гарантируют стабильный линейный выходной сигнал (сопротивление или напряжение) с малым временем отклика.

Сравнение датчиков температуры

Способность выдерживать высокие температурные нагрузки, отличная устойчивость к химическим воздействиям, биологическая инертность и высокая стабильность делают платину уникальным материалом для терморезистивных измерительных элементов, нагревателей и электродов. В связи с особыми свойствами платины, температурные резисторы 1, 2 и 10 кОм имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными полупроводниковыми датчиками и термисторами.

- высокая точность
- низкий дрейф
- долгий срок службы
- высокая линейность выходных характеристик
- малое время отклика
- высокая стойкость к температурным перегрузкам
- широкий диапазон измеряемых температур (-196...+1000°C)

Электрическое сопротивление платиновых терморезисторов зависит от длины токопроводящей дорожки. Выпускается два типа датчиков: базовые элементы и специализированные датчики по спецификации заказчика.

Таблица 2.1 - Сравнение технических характеристик температурных датчиков

Металлооксидные термисторы	Полупроводниковые датчики	Термопары	Платиновые терморезисторы на керамической подложке
Диапазон температуры измерения - 100...300°C, некоторые модели до 500 °C	Диапазон температуры измерения -55...300°C	Диапазон температуры измерения - 200...1800°C	Диапазон температуры измерения - 196...1000°C
Нелинейные выходные характеристики Отсутствие их международных стандартов	Более линейные характеристики, чем у NTC термисторов, погрешность не менее 0.6°C	Наличие международного стандарта типов термопар	Высокая линейность характеристик, установленная стандартом DIN EN 60751
Диапазон измерений зависит от типа термистора, стандартный диапазон 200 К	Диапазон измерений 200 К, стандарт: - 55...+150°C	Диапазон измерений - 40...1700°C (зависит от типа термопары), требуется компенсация холодного спая	Диапазон измерений стандартный: - 70...+500°C, высокий: -40...1000°C
Дрейф сопротивления: 0.35% через 100 ч при температуре 150°C	Дрейф сопротивления: 0.45% через 1250 ч при температуре 150°C	Зависит от строения термопары	Дрейф сопротивления: 0.04% через 1000 ч при температуре 500°C
Точность сопротивления $\pm 1\%$, $\pm 0.2^\circ\text{C}$ в узком диапазоне температур	Точность сопротивления $\pm 5\%$, максимальная точность $\pm 0.5\%$	Точность соответствует классу 2, зависит от типа термопары	Точность соответствует DIN EN 60751, класс B: $\pm 0.21\%$ при $+100^\circ\text{C}$ $\pm 0.33\%$ при $+500^\circ\text{C}$
Высокая чувствительность для узких температурных диапазонов,	Высокая чувствительность, около 15 ohm/K	Диапазон чувствительности от мкВ/К до мВ/К, зависит от типа	Чувствительность стабильна во всем диапазоне температур, напр., менее 4 Ом/К

значительное изменение сопротивления на градус Кельвина, чем у платиновых и полупроводниковых датчиков		термопары	для датчика 1000 Ом
Типы: эпоксидная или стеклянная изоляция; в корпусах DO-35, SMD модели, для автоматической сборки	Типы: стеклянный корпус, SMD и DO-35 корпуса	Типы: Термопары с неогранической изоляцией, голые проводники	Типы: базовые элементы с проводами, SMD, SOT223 и TO92 корпуса

2.10.2 Сравнение инфракрасных датчиков Sharp



Рисунок 2.20 - Внешний вид инфракрасных датчиков Sharp

Принципы работы инфракрасных датчиков

Представленная линейка GP2DXX датчиков Sharp, была разработана не только для обнаружения объектов на дальних расстояниях, но и для предоставления данных о расстоянии, в случае с моделями GP2D12, GP2D120 и GP2DY0A ('0A'). Эти модели работают намного лучше, так как используются новый метод измерения.

Для определения расстояния либо просто наличия объекта в поле зрения сенсора используется метод триангуляции и малая линейная CCD матрица.

Основная идея в следующем. Импульсы ИК излучения испускаются излучателем. Это излучение распространяется и отражается от объектов находящихся в поле зрения сенсора. Отраженное излучение возвращается на приемник. Испускаемый и отраженный лучи образуют треугольник «излучатель - объект отражения - приемник».

Угол отражения напрямую зависит от расстояния до объекта. Полученные отраженные импульсы собираются высококачественной линзой и передаются на линейную CCD матрицу. По засветке определенного участка CCD матрицы определяется угол отражения и высчитывается расстояние до объекта.

Этот метод более защищен от эффектов интерференции излучения и разной отражающей способности поверхностей, выполненных из различных материалов и окрашенных в различные цвета. Например, стало возможно определение черной стены при ярком освещении.

Выбор дальномера

Серия дальномеров GP2XX включает несколько типов. Они различаются минимальными и максимальными значениями дальности измерения, а также форматом возвращаемого сигнала (есть модели, имеющие аналоговый выход - они возвращают расстояние до объекта; также есть модели, имеющие цифровой выход и возвращающие лишь булево значение - есть объект в поле зрения датчика или нет).

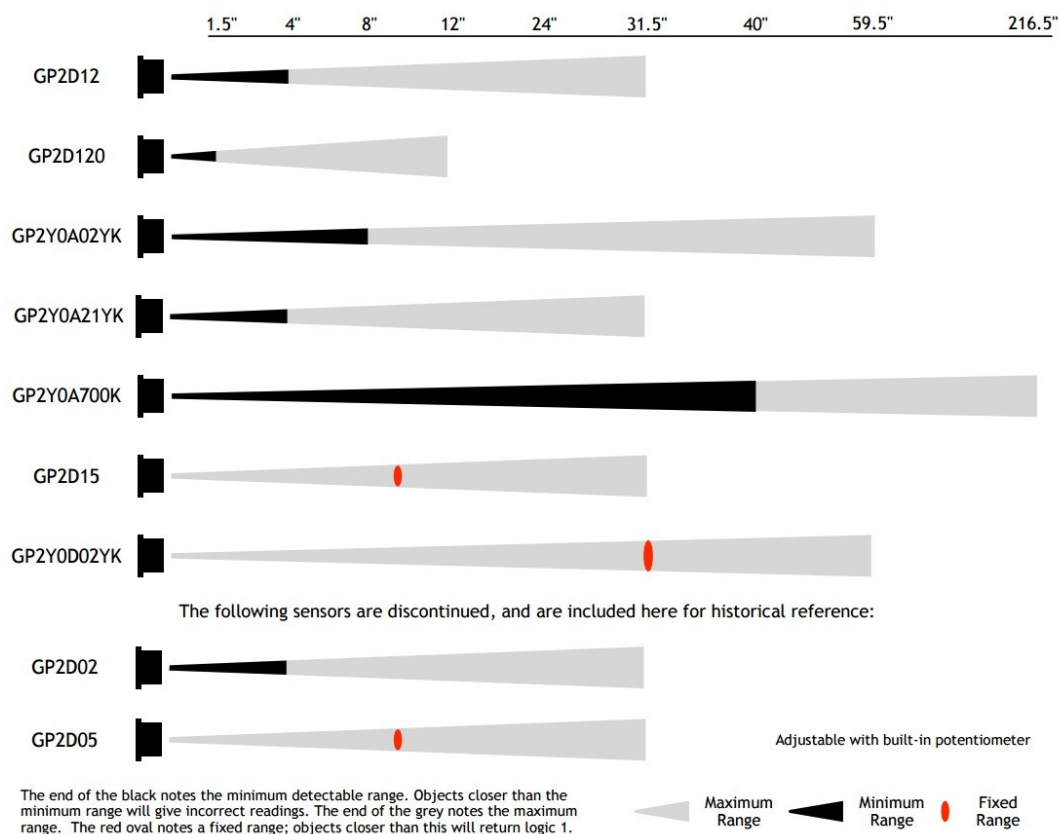


Рисунок 2.21 - Сравнительные характеристики датчиков Sharp

Модели с красной меткой на диапазоне - цифровые (определяют только есть ли препятствие в интервале расстояний до метки или нет), остальные модели - аналоговые (определяют расстояние в указанном диапазоне).

Ни одному из датчиков не требуется внешний синхросигнал. Вместо этого они излучают постоянно, потребляя примерно 25mA.

0A700 поставляется в специальном корпусе, который намного больше, чем другие дальномеры. Это видно на картинке ниже. Увеличение размера связано с увеличением линзы, что позволило увеличить максимальный диапазон до 5.5 метров.



Рисунок 2.22 - Внешний вид инфракрасного датчика-дальномера Sharp 0A700

Выбор дальномера зависит от ваших потребностей, возможностей «Мозга» робота (наличие АЦП), и т. д. и т. п. Надеемся, что приведенная в этом разделе информация поможет вам сделать правильный выбор.

Нелинейный выход

Выходная характеристика детекторов нелинейно (рисунок 2.23) зависит от измеренного расстояния.

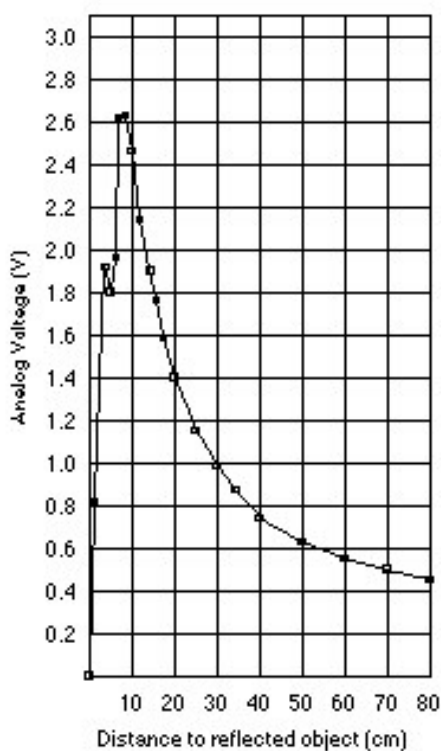


Рисунок 2.23 - Выходная характеристика датчиков-дальномеров Sharp

График изображает типичную (например, для GP2Y0A21YK и GP2D12) выходную характеристику датчиков Sharp.

Следует обратить внимание на две вещи:

Выходная характеристика датчика (дистанция 10 см - 80см) нелинейна и близка к логарифмической. Эта кривая незначительно отличается от датчика к датчику, поэтому можно «нормализовать» характеристику с помощью таблицы или функции. В этом случае, вы можете калибровать каждый датчик, получая в результате линейную характеристику, независимую от датчика к датчику.

В случае если дистанция меньше минимально измеряемой (на графике это 10 см) характеристика падает очень быстро и возникает впечатление что измерено далекое расстояние. Это может ввести в заблуждение и даже повредить робота, если он движется с высокой скоростью. Простейший способ этого избежать - устанавливать датчик на робота с учетом длины робота.

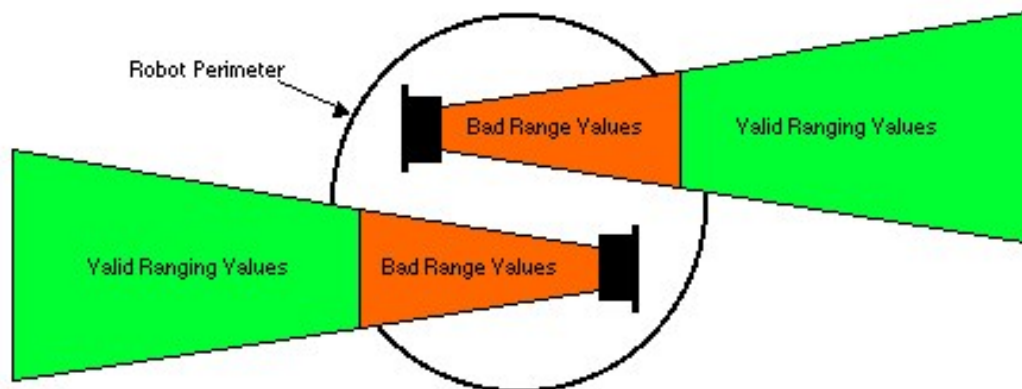


Рисунок 2.24 - Пример перекрестной установки датчика для компенсации минимального ограничения измерения

Диаграмма направленности

Диаграмма направленности для всех моделей датчиков Sharp довольно схожа. В основном, диапазон измерений колеблется от 10 см до 80 см, а «угол зрения» таков, что его можно представить примерно в виде конуса с диаметром в средней его части около 16 см (по другим документам

6см для GP2D12 и 12см для GP2Y0A21). В связи с тем, что диаграмма направленности достаточно узкая, рекомендуется установка датчика на вращающуюся платформу с сервомашинками для сканирования окрестностей. Это позволяет расширить угол обзора и исследовать пространство более детально. Датчик будет вращаться на манер радара, сообщая о наличии объектов в определенном секторе на определенном удалении от платформы.

При использовании датчиков в роли бампера необходим наиболее широкий луч излучения для охвата наибольшей зоны перед роботом. Типовое решение - это применение 2х датчиков, установленных перекрестно (рисунок 2.27). Наиболее часто применяется для этой цели GP2D15.

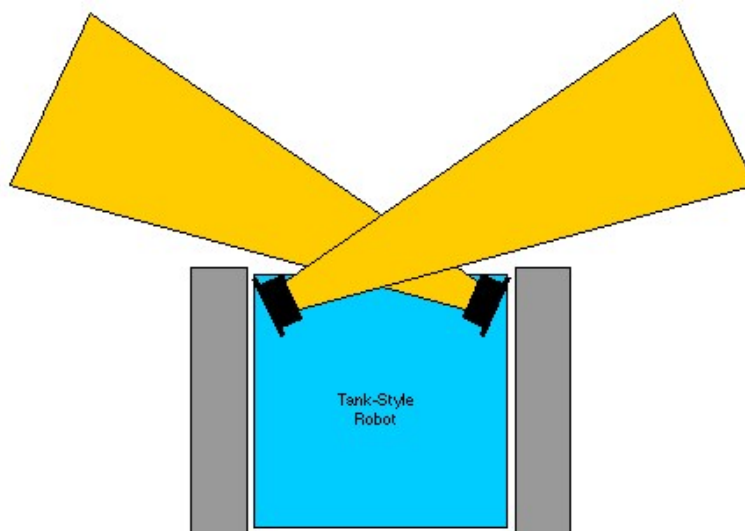


Рисунок 2.27 - Диаграмма направленности датчика Sharp

Подключение датчиков

GP2D12, GP2D120, GP2Y0A02, GP2D15, GP2Y0D02, GP2Y0A21 оснащены одинаковым разъемом для подключения. Он называется Japan Solderless Terminal (JST). Разъем имеет 3 контакта: ground, vcc и output.

Так как датчик излучает непрерывно, нет необходимости в синхронизации для инициации чтения, что упрощает взаимодействие, но увеличивает энергопотребление (примерно 25 mА).

GP2Y0A700 поставляется в специальном корпусе и оснащен 5 контактными JST разъемом. Распиновка следующая: ground, vcc, output, ground, vcc. Как и другие дальномеры GP2Y0A700 излучает постоянно.

GP2Y0D340K поставляется в специальном корпусе и оснащен 5 контактами (без разъема, впаивается) Vcc, LED_FB, Vo, ground, REG и два боковых контакта Shield. Пиковый ток 35 mA постоянный 28 mA.

GP2D02, GP2D05 (модели снятые с производства) используют JST с 4мя контактами: ground, vcc, clock и output.

2.10.3 Сравнение датчиков тока

Описание методов получения информации датчиков тока были описаны ранее. Сравнительные характеристики этих методов приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Сравнительные характеристики методов измерения
ТОКОВ

Первичный преобразователь	Цепь тока	Шкала, А	Гальваническая развязка	Потери	Внешний источник	Полоса частот, кГц	Погрешность, %
Резистор	DC, AC	< 40	Нет	Есть	Нет	< 100	< 1
Ячейка Холла	DC, AC	< 1000	Есть	Нет	Есть	< 500	< 10
Трансформатор	AC	< 1000	Есть	Есть	Нет	< 10	< 5

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-1Б11	Кучмистов Тимофею Александровичу

Институт	ИК	Кафедра	ФМПК
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	200100 Приборостроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	<i>Расчет затрат на разработку НИРС</i>
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	<i>НДС – 18%, зачисления на заработную плату – 30%</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	
2. Разработка устава научно-технического проекта	
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НТИ
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
8. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1Б11	Кучмистов Тимофей Александрович		

4 Финансовый менеджмент

В данном разделе мы опишем и проанализируем финансово-экономические аспекты выполненной работы. Произведем оценку денежных затрат на исследование. Получим оценку экономической целесообразности осуществления работы.

4.1 Организация и планирование работ

Определим занятость каждого из участников исследования и сроки проведения работ. Определим исполнителей, и перечень проводимых работ.

Таблица 4.1 - Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач	НР	НР - 100%
Подбор и изучение литературы	НР, И	НР - 100% И - 20%
Изучение области исследования по тематике	НР, И	НР - 40% И - 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР - 100% И - 20%
Проведение сравнительного анализа существующих методов измерения	НР, И	НР - 40% И - 100%

Выбор структурной схемы устройства	НР, И	НР - 100% И - 60%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И - 100%
Оформление графического материала	И	И - 100%
Подведение итогов	НР, И	НР - 70% И - 100%

4.1.1 Продолжительность этапов работ

Произведем расчет продолжительности этапов опытно-статическим методом экспертным способом.

$$t_{ож} = \frac{t_{min} + 4 \cdot t_{prob} + t_{max}}{6}$$

где t_{min} - минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} - максимальная продолжительность работы, дн.;

t_{prob} - наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

$t_{ож}$ - продолжительность работы, дн.;

$t_{max} = 100$;

$t_{min} = 35$;

$t_{prob} = 75$;

получаем $t_{ож} = 72,5$.

Для выполнения перечисленных в таблице 4.1 работ требуются специалисты:

- инженер - в его роли действует исполнитель НИР (ВКР);
- научный руководитель.

- Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}; \quad T_{РД} = 87$$

$K_{ВН}$ - коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{ВН} = 1$;

$K_{Д}$ - коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{Д} = 1-1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К},$$

$$T_{КД} = 104,835$$

где $T_{КД}$ - продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$ - коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле:

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}$$

где $T_{КАЛ}$ - календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ - выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ - праздничные дни ($T_{ПД} = 10$).

$$T_{К} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

В таблице 4.2 приведена продолжительность этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах (3–5) реализован экспертный способ по формуле (5.1-а). Столбцы 6 и 7 содержат

величины трудоемкости этапа для каждого из двух участников проекта (научный руководитель и инженер) с учетом коэффициента $K_d = 1,2$. Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{ож} * K_d$. Столбцы 8 и 9 содержат те же трудоемкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на T_k (здесь оно равно 1,212). Итог по столбцу 5 дает общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 8 и 9 - общие трудоемкости для каждого из участников проекта. Две последних величины далее будут использованы для определения затрат на оплату труда участников и прочие затраты. Величины трудоемкости этапов по исполнителям T_{kd} (данные столбцов 8 и 9 кроме итогов) позволяют построить линейный график осуществления проекта - пример в таблице 4.3.

Таблица 4.2 - Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.-дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Постановка целей и задач	НР	2	7	6,8	8,16	-	9,8328	-
Подбор и изучение литературы	НР, И	2	8	6,4	7,68	1,536	9,2544	1,85088
Изучение области исследования по тематике	НР, И	7	17	11,1	5,328	13,32	6,42024	16,0506
Разработка календарного плана	НР, И	2	7	6,8	8,16	1,632	9,8328	1,96656
Проведение сравнительного анализа существующих методов измерения	НР, И	6	17	6,9	3,312	8,28	3,99096	9,9774
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	5	13	10,8	12,96	7,776	15,6168	9,37008
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	5	13	8,2	-	9,84	-	11,8572
Оформление графического материала	И	3	9	7,3	-	8,76	-	10,5558
Подведение итогов	НР, И	3	9	8,2	6,888	9,84	8,30004	11,8572
Итого:				72,5	52,488	60,984	63,24804	73,48572

Таблица 4.3 - Линейный график работ

Этап	НР	И	Март			Апрель			Май			Июнь	
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
1	9,8328	-											
2	9,2544	1,85088											
3	6,42024	16,0506											
4	9,8328	1,96656											
5	3,99096	9,9774											
6	15,6168	9,37008											
7	-	11,8572											
8	-	10,5558											
9	8,30004	11,8572											

НР –  ; И –  ;

4.1.2 Расчет накопления готовности проекта

Цель данного пункта - оценка текущих состояний (результатов) работы над проектом. Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов по окончании текущего (*i*-го) этапа выполнен общий объем работ по проекту в целом.

Рассчитаем величину завершенности работы на каждом из этапов. Для этого воспользуемся следующей формулой:

$$H_i = \frac{t_{H_i}}{t_0} \cdot 100\%$$

где t_{H_i} - нарастающая трудоемкость с момента начала работы *i*-го этапа;
 t_0 - общая трудоемкость, вычисляемая по формуле:

$$t_o = \sum_{i=1}^n t_{ож_i}$$

где $t_{ож_i}$ - ожидаемая продолжительность *i*-го этапа.

Удельный вес каждого этапа Y_i определяется по формуле:

$$Y_i = \frac{t_{ож_i}}{t_o} \cdot 100\%$$

Таблица 4.4 - Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	H_i , %	Y_i , %
Постановка целей и задач	9,38	9,38
Подбор и изучение литературы	8,83	18,21
Изучение области исследования по тематике	15,31	33,52
Разработка календарного плана	9,38	42,9

Проведение сравнительного анализа существующих методов измерения	9,52	52,41
Выбор структурной схемы устройства	14,9	67,31
Оформление расчетно-пояснительной записки	11,31	78,62
Оформление графического материала	10,07	88,69
Подведение итогов	11,31	100

4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

Расчет сметной стоимости на выполнение данной разработки производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- основная заработная плата;
- отчисления в социальные фонды;
- расходы на электроэнергию;
- амортизационные отчисления;
- прочие расходы.

4.2.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье относятся стоимость покупных материалов, используемых при разработке. Таблица 4.5 сметой расходов на покупные материалы, включающая цену за единицу материала, количество и общую сумму.

Таблица 4.5 - Расходные материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Блок управления	2450	1 шт.	2450
Блок передачи-приема	2270	1 шт.	2270
Блок вращения колес	1560	1 шт.	1560
Датчик препятствий	680	1 шт.	680
Датчик высоты	590	1 шт.	590
Аккумулятор	1150	1 шт.	1150
Запоминающее устройство	1050	1 шт.	1050
Пылесборник	305	1 шт.	305
Соединительные клеммы	150	1 шт.	150
Зарядная станция	820	1 шт.	820
Метало-пластиковый корпус	730	1 шт.	730
Персональный компьютер	21200	1 шт.	21200
Монитор	9950	1 шт.	9950
Итого:			42905

Транспортные расходы составляют 5%

$$C_{\text{МАТ}} = 42905 \cdot 1,05 = 45050,25$$

Общая цена на расходные материалы составили $C_{\text{МАТ}} = 45050,25$ рублей.

4.2.2 Расчет основной заработной платы

Следующая статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, выполняющего разработку. Расчет основной заработной платы основывается на трудоемкости выполнения каждого из этапов и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$\text{Дневная з/п} = \frac{\text{Месячный оклад}}{25,17 \text{ дней}}$$

Так как в году 302 рабочих дня, следовательно, в месяце 25,17 рабочих дней. Затраты на выполнение работы по каждому исполнителю отображены в таблице 4.6. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{ПР}} = 1,1$; $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$; $K_{\text{р}} = 1,8$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{\text{и}} = 1,1 * 1,188 * 1,8 = 2,352$. Вышеуказанное значение $K_{\text{доп.ЗП}}$ применяется при шестидневной рабочей неделе, при пятидневной оно равно 1,113, соответственно в этом случае $K_{\text{и}} = 1,62$.

Таблица 4.6 - Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	16751,29	665,53	53	1,699	59929
И	14584,32	579,43	61	1,62	57259,27
Итого:					117188,27

Таким образом затраты на основную заработную плату составили $C_{зп} = 117188,27$ руб.

4.2.3 Расчет отчислений в социальные фонды

Отчисления по данной статье определяются по следующей формуле:

$$C_{соц} = K_{соц} \cdot C_{осн},$$

где $K_{соц}$ - коэффициент, учитывающий размер отчислений. Следующий коэффициент составляет 30% от затрат на заработную плату и включает в себя:

- 1) отчисления в пенсионный фонд;
- 2) на социальное страхование;
- 3) на медицинское страхование.

Таким образом, отчисления от заработной платы составляют

$$C_{соц} = 0,3 \cdot 117188,27 = 35156,481.$$

4.3 Расчет затрат на электроэнергию

Данная статья расходов включает в себя затраты на электроэнергию, затраченную при работе необходимого для разработки оборудования и освещения. Затраты на электроэнергию при работе оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_{эл.об} = P_{об} \cdot Ц_{э} \cdot t_{об},$$

где $Э_{об}$ - затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием, руб.;

$P_{об}$ - мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{э}$ - тарифная цена за 1 кВт час, $Ц_{э} = 5,257$ руб/кВт час;

$t_{об}$ - время оборудования, час.

Время работы оборудования вычислим на основе данных таблицы 4.3 из расчета того, что продолжительность рабочего дня длится 8 часов.

Затраты на электроэнергию необходимые для разработки и выполнения проекта приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 - Затраты на электроэнергию для домашних целей

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$, кВт	Затраты $\Delta_{\text{ОБ}}$, руб.
Робот-пылесос	488*0,6	0,025	38,48
Персональный компьютер	328*0,6	0,1	103,46
Итого:			141,94

4.4 Расчет амортизационных расходов

Амортизационные отчисления рассчитываются на время использования по формуле:

$$C_{\text{АМ}} = \frac{H_{\text{А}} \cdot \Delta_{\text{ОБ}}}{F_{\text{Д}}} \cdot t_{\text{ВТ}} \cdot n$$

где $H_{\text{А}}$ - годовая норма амортизации, $H_{\text{А}} = 33\%$;

$\Delta_{\text{ОБ}}$ - цена оборудования, $\Delta_{\text{ОБ}} = 45050,25$ руб.;

$F_{\text{Д}}$ - действительный годовой фонд рабочего времени, $F_{\text{Д}} = 2384$ часов;

$t_{\text{ВТ}}$ - время работы при создании прибора, $t_{\text{ВТ}} = 488$ часа;

Таким образом, затраты на амортизационные отчисления составили:

$$C_{\text{АМ}} = \frac{0,33 \cdot 45050,25 \cdot 488}{2384} = 3043,16 \text{ руб.}$$

4.3.1 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на разработку проекта, которые не учтены в предыдущих статьях.

Прочие расходы составляют 10% от единовременных затрат на выполнение технического продукта и проводятся по формуле:

$$C_{\text{ПРОЧ}} = (C_{\text{МАТ}} + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{СОЦ}} + C_{\text{ЭЛ.ОБ}} + C_{\text{АМ}}) \cdot 0,1 \quad (4.15)$$

$$C_{\text{проч}} = (45050,25 + 117188,27 + 35156,481 + 141,94 + 3043,16) \cdot 0,1 = 20058,01.$$

4.3.2 Расчет общей себестоимости разработки

После проведения расчета затрат на разработку можно рассчитать себестоимость разработки подхода к идентификации.

Таблица 4.8 - Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
1 Материалы и покупные изделия	$C_{\text{МАТ}}$	45050,25
2 Основная заработная плата	$C_{\text{ЗП}}$	117188,27
3 Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{СОЦ}}$	35156,481
4 Расходы на электроэнергию	$C_{\text{ЭЛ.ОБ}}$	141,94
5 Амортизационные отчисления	$C_{\text{АМ}}$	3043,16

6	Работы, выполняемые сторонними организациями	$C_{\text{СТОР}}$	-
7	Прочие расходы	$C_{\text{ПРОЧ}}$	20058,01
Итого:			220638,11

Общие расходы на разработку составили $C = 220638,11$ рублей.

4.3.3 Расчет прибыли

Расчитаем прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может определяться различными способами. Если исполнитель работы не располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль следует принять в размере $5 \div 20 \%$ от полной себестоимости проекта. В данной работе она составляет 44127,62 руб. (20 %) от расходов на разработку проекта.

4.3.4 Расчет НДС

НДС составляет 18% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это $(220638,11 + 44127,62) * 0,18 = 47657,83$ руб.

4.3.5 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае $C_{\text{НИР(КР)}} = 220638,11 + 44127,62 + 47657,83 = 312423,56$ руб.

Поскольку выпускная квалификационная работа несет только научно-исследовательский характер, то оценка ее экономического эффективности некорректна.